

TECHNICAL UNIVERSITY OF DELFT  
CIVIL ENGINEERING TRANSPORT & PLANNING

MASTER THESIS

# Het meten en schatten van de prestaties van een stedelijk wegennetwerk

---

Toepassing op Den Haag



Auteur: W.A.H.J. Schijns  
16-06-2017

Afstudeercommissie:

Prof.dr.ir.	S. P. Hoogendoorn	TU Delft Civil Engineering and Geosciences
Dr.	V.L. Knoop	TU Delft Civil Engineering and Geosciences
Ir.	J. Vries	Gemeente Den Haag Dienst Stadsbeheer
Dr.	M.E. Warnier	TU Delft Systems Engineering, Policy Analysis & Management



## Voorwoord

Dit afstudeeronderzoek is het slotstuk van een mooie studietijd aan de TU Delft. Eerst is een brede basis gelegd door de bachelor civiele techniek af te ronden. Vervolgens ben ik de Master studie Transport & Planning gaan doen. Allerlei aspecten van transport, verkeer en vervoer kwamen langs in de vakken over openbaar vervoer, verkeersstromen, logistiek, netwerken, dynamisch verkeersmanagement en innovaties. Met de opgedane kennis heb ik de mooie kans gekregen om mijn afstudeeronderzoek te doen binnen de afdeling Bereik en VerkeersManagement bij de gemeente Den Haag. In overeenstemming tussen de gemeente Den Haag, de TU Delft en mijzelf is dit onderzoek tot stand gekomen. Twee uitdagende vraagstukken, die theoretische kennis combineren met ervaringen uit de beroepspraktijk. Ik vind het prettig om na het opdoen van al de tijdens de studie opgedane theoretische kennis, ook een vertaalslag te kunnen maken naar de praktijk. Zo vertalen Big Data, Datafusie, Verkeersstroomtheorie en het ontwerp van (stedelijke) wegennetwerken zich in een praktische manier om de verkeersstromen door de stad beter in beeld te kunnen brengen. Ik heb dit onderzoek met erg veel plezier uitgevoerd onder begeleiding van Dr. Victor L. Knoop namens de TU Delft en Ir. Jasper Vries namens de gemeente Den Haag. Ik wil mijn gehele examencommissie, maar met name mijn begeleider daarom ook hartelijk bedanken voor de tijd, energie en inspiratie die zij in mijn afstudeeronderzoek hebben gestoken.





## Samenvatting

De gemeente Den Haag verzamelt, net als andere wegbeheerders, verkeersdata aan de hand van verschillende databronnen. Door technologische ontwikkelingen zijn er steeds meer en uitgebreidere manieren om deze verkeersdata te verzamelen. Daarmee wordt het echter ook steeds complexer en tijdrovender om een overzichtelijk beeld te krijgen van de beschikbare data en om deze data te verwerken tot bruikbare informatie. Naast het gebrek aan overzicht beperkt de beschikbare informatie zich ook nog vaak tot de hoofdstructuur van het wegennetwerk. Dit gebrek aan inzicht over het totaal van het netwerk belemmert het doelgericht toepassen van dynamisch verkeersmanagement. Zo worden er binnen de gemeente Den Haag onder andere intensiteiten en reistijden op de hoofdstructuur van het wegennetwerk gemeten. Op de rest van het netwerk ontbreekt er echter informatie over reistijden en in een aantal gedeelten ook informatie over intensiteiten. De gemeente Den Haag wilde daarom graag meer informatie hebben over intensiteiten en reistijden op trajecten waar deze niet direct gemeten worden.

Als gevolg van technologische ontwikkelingen groeien de mogelijkheden voor het bepalen van de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken. Van netwerk tot netwerk verschilt hierdoor welke informatie over de verkeerskundige prestaties wordt verzameld. Samen met het gebrek aan een overzichtelijk en compleet totaaloverzicht van informatie over het hele wegennetwerk leidt dit ertoe, dat er binnen de beroepspraktijk vele verschillende indicatoren worden gebruikt om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk of bepaalde delen hiervan weer te geven. Door de vele verschillende groepen binnen de beroepspraktijk die gebruik maken van de indicatoren en hun uiteenlopende doelen en vakinhoudelijke kennis, is het belangrijk dat een prestatie-indicator eenduidig en eenvoudig te communiceren is. Dit voorkomt namelijk dat de weergegeven prestaties verkeerd worden geïnterpreteerd en dat er hierdoor misverstanden ontstaan in de communicatie van de verkeerskundige prestaties. Het was echter niet duidelijk wat de wensen en behoeften van de beroepspraktijk zijn en daarmee welke indicator het meest geschikt is om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk en bepaalde delen hiervan op een eenduidige manier weer te geven.

Op basis van deze probleemstellingen zijn een aantal doelen geformuleerd. Het eerste doel was om een methode te ontwikkelen die missende informatie over reistijden en/of intensiteiten kan schatten, gebruik makend van een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram. Ook belangrijk hierbij was hoe betrouwbaar deze schattingen dan zijn. Wanneer informatie over intensiteiten en reistijden op het gehele wegennetwerk bekend zijn is het beeld van de verkeerskundige prestaties een stuk completer. Hoeveel waarde er binnen de beroepspraktijk wordt gehecht aan het hebben van informatie over intensiteiten en reistijden binnen stedelijke wegennetwerken, is echter niet bekend.

Daarom was het tweede doel om vervolgens te bepalen welke indicator het meest geschikt is om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk communiceerbaar en eenduidig weer te geven. Hiervoor moesten de wensen en behoeften van verschillende groepen binnen de beroepspraktijk worden onderzocht. Het uiteindelijke doel is hiermee om tot een beter en completer inzicht te komen van de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk, om deze vervolgens eenduidig weer te kunnen geven en te communiceren. Met betrekking tot de twee doelen zijn twee hoofdonderzoeksvragen gedefinieerd. Deze zijn hieronder achtereenvolgens, inclusief aanpak en uitgewerkte antwoorden, beschreven. Tenslotte is er nog een korte algemene conclusie gegeven.

### **1. Hoe kan het ontwikkelen van Macroscopische Fundamentele Diagrammen voor specifieke stedelijke trajecten helpen om missende informatie over reistijden en/of intensiteiten op andere trajecten binnen eenzelfde stedelijk wegennetwerk te kunnen schatten?**

Een op traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram wordt bepaald uit de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid op het traject. Wanneer twee van deze drie grootheden bekend zijn, kan de derde aan de hand van de relatie worden berekend. In het onderzoek zijn twee datafusiemethodes onderzocht om tot twee van deze drie benodigde grootheden te komen. Met behulp van datafusie is voor beide methoden per aggregatieperiode de ene grootheid tegen de ander uitgezet om de typische fundamentele relaties voor het specifieke traject middels een puntenwolk te beschrijven. De datafusiemethode, die data van snelheden (uit reistijden en trajectlengte) en gewogen intensiteiten fuseert, laat deze fundamentele relaties beter zien dan de datafusiemethode die gewogen bezettingsgraden met gewogen intensiteiten fuseert. Door per traject de Adjusted Drake functie door de puntenwolk te fitten wordt er een traject specifiek MFD ontwikkeld, die de fundamentele eigenschappen van het betreffende traject beschrijft. Over alle 78 geanalyseerde trajecten gezien bleek de Adjusted Drake functie een fit te hebben met een gemiddelde RMSE van 24 voertuigen/uur/rijstrook.

Elk gefit MFD laat de fundamentele karakteristieken zien van het desbetreffende traject. Om te zien of er verbanden bestaan tussen de 78 ontwikkelde MFD's, zijn de trajecten gecategoriseerd aan de hand van de parameters van de gefitte MFD's. Uit het k-means clustering algoritme volgt dat er vier categorieën trajecten zijn te onderscheiden aan de hand van de stedelijke traject specifiek gefitte MFD's. Buiten de fundamentele eigenschappen komt er ook een aantal andere trajecteigenschappen binnen deze categorieën overeen. Daarbij moet gedacht worden aan trajecteigenschappen als de snelheidslimiet, de ligging van het traject ten opzichte van het netwerk en de VRI-dichtheid op het traject. Voor elk van de clusters is een cluster-MFD ontwikkeld. De foutmaat van deze cluster-MFD's ten opzichte van de bij elk cluster horende datapunten heeft een gemiddelde RMSE-waarde van 61 vtg/u/rijstrook. Wanneer een traject wordt ingedeeld bij een cluster is de foutwaarde van het cluster-MFD ten opzichte van de datapunten gemiddeld dus meer dan dubbel zo groot, dan wanneer er een traject specifiek gefit MFD ontwikkeld wordt.

Wanneer de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid bekend is, hoeft alleen nog maar de intensiteit of snelheid gemeten te worden om informatie over de andere grootheid aan de hand van deze relatie te kunnen schatten. Hoe goed deze schattingen zijn, is bepaald door de RMSE te berekenen van deze schatting ten opzichte van de daadwerkelijk gemeten waarde van de grootheid.

Als er een intensiteitschatting wordt gemaakt aan de hand van gemeten reistijden heeft de fout een gemiddelde RMSE-waarde van 171 vtg/u/rijstrook, wanneer de intensiteit wordt geschat op basis van een traject specifiek gefit MFD. Deze fout heeft een gemiddelde RMSE-waarde van 255 vtg/u/rijstrook wanneer de schatting is gebaseerd op een cluster-MFD. Dit zijn erg hoge waarden, waardoor de toepassing van het schatten van intensiteiten aan de hand van de reistijd niet wordt aangeraden.

Als juist de intensiteit gemeten is en de reistijd geschat dient te worden, horen hier aan de hand van een MFD twee snelheidswaarden bij. Namelijk een snelheidswaarde in de vrijedoorstrooms-tak en een waarde in de congestie-tak, die beide omgerekend kunnen worden naar een reistijd per kilometer. Echter is uit de data niet direct op te maken met welk van de twee takken van het MFD de intensiteitwaarde vergeleken dient te worden. Dit probleem is opgelost door de data met behulp van twee methodes te benaderen. De eerste methode is de Vrijedoorstrooms-tak methode, waarin alle intensiteitwaarden met de vrijedoorstrooms-tak worden vergeleken, ongeacht de tak waartoe ze werkelijk behoren. De tweede methode is de Bekende-tak methode, waarin alle intensiteitwaarden met de juiste tak worden vergeleken, aangenomen dat deze bekend zijn.

De resultaten van de reistijdschattingen van de Vrijedoorstrooms-tak methode zijn beter dan die van de Bekende-tak methode. De reistijdfout voor het traject specifiek gefit MFD heeft met deze methode een gemiddelde RMSE van 15 seconde per kilometer traject. De reistijdfout voor het cluster-MFD heeft een gemiddelde RMSE van 25 seconde per kilometer traject. Met een berekende gemiddelde reistijd over een kilometer traject van het Haags DVM-netwerk van 97 seconde zitten de schattingen er respectievelijk dus relatief 15% en 26% naast.

Dat de Vrijedoorstrooms-tak methode betere resultaten oplevert dan de Bekende-tak methode is echter alleen omdat er op de beschouwde trajecten relatief weinig ernstige congestie voorkomt. Bij trajecten waar meer ernstigere congestie op voorkomt, is de verwachting dat de Bekende-tak methode uiteindelijk betere schattingen maakt. Welke methode echter ook wordt gebruikt, de schattingen zijn een stuk beter met een traject specifiek gefit MFD in plaats van een cluster-MFD.

## ***2. Wat is de meest geschikte maatstaf om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk als geheel en verschillende onderdelen hiervan, op een eenduidige en communiceerbare manier weer te geven?***

Door middel van een literatuuronderzoek is er onderzoek gedaan naar de verkeerskundige prestatie-indicatoren die in praktijk worden gebruikt. De ene zegt iets over de mate van Bereikbaarheid, de ander over Mobiliteit en weer andere iets over de prestaties met betrekking tot milieuemissies, ruimtegebruik, veiligheid, leefbaarheid, comfort of over de verkeerskundige prestaties. Voor dit onderzoek waren echter alleen de indicatoren die de verkeerskundige prestaties weergeven relevant. Naast het literatuuronderzoek zijn er ook persoonlijke interviews gehouden met diverse personen met verschillende functies binnen het proces van het maken van beleid, onderzoek, ontwerp, uitvoering tot aan het beheer van wegennetwerken. Het doel van de persoonlijke interviews was onder andere om ook vanuit de beroepspraktijk te horen welke verkeerskundige prestatie-indicatoren er gebruikt worden. Met behulp van het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews is uiteindelijk een lijst van 86 verkeerskundige prestatie-indicatoren opgesteld, die in de praktijk worden gebruikt om de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken en onderdelen hiervan weer te geven.

Om te toetsen welke voor- en nadelen de gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren kunnen hebben, is ook een lijst met criteria ontwikkeld. Deze lijst van criteria, waarmee de verkeerskundige prestatie-indicatoren uiteindelijk zijn getoetst, is hoofdzakelijk ontwikkeld aan de hand van de tijdens het literatuuronderzoek gevonden criteria. Daarna is deze ontwikkelde criterialijst door middel van de persoonlijk interviews gecontroleerd, aangepast en aangevuld. Uit het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews is uiteindelijk een lijst van 46 criteria gekomen. Deze lijst met criteria geeft de mogelijke gewenste voordelige eigenschappen van de verschillende op een wegennetwerk toe te passen verkeerskundige prestatie-indicatoren.

Niet alle 46 criteria worden echter door de beroepspraktijk even belangrijk gevonden in een verkeerskundige prestatie-indicator. Daarom zijn de criteria door middel van een enquête ten opzichte van elkaar gewogen, om te onderzoeken hoe belangrijk de individuele criteria door verschillende groepen binnen de beroepspraktijk worden gevonden. Dit is gedaan door per criterium aan te laten geven hoe belangrijk de deelnemer het criterium vindt. De enquête is rondgestuurd naar diverse partijen en organisaties, die te maken hebben en gebruik maken van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Deze partijen en organisaties zijn ingedeeld in een aantal deelnemersgroepen. Uit de respons op de enquête volgen de gemiddelde waarderingen per criterium per deelnemersgroep. Hiermee is per deelnemersgroep bepaald hoe sterk de criteria meewegen bij het bepalen van de meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator. Ook voor het totaal van de beroepspraktijk zijn deze wegingsfactoren berekend, door per criterium het gemiddelde over de wegingsfactoren van de deelnemersgroepen te nemen.

Met de gemiddelde waarderingen per criterium per deelnemersgroep en voor de totale beroepspraktijk zijn de 86 gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren op twee manieren getoetst. De eerste methode heeft elke verkeerskundige prestatie-indicator een totaalscore gegeven volgens het al dan niet voldoen aan de 46 criteria met de bijbehorende weging. Aan des te meer criteria een indicator voldoet, een des te hogere score deze indicator krijgt en daarmee des te beter de indicator is. Hieruit volgt per deelnemersgroep en voor de totale beroepspraktijk welke verkeerskundige prestatie-indicator op basis van de totaalscore de meest geschikte is. Aan de resultaten hiervan valt op dat de vijf hoogst gewaardeerde indicatoren per deelnemersgroep steeds uit dezelfde vijf indicatoren bestaan. Van stedelijke wegennetwerken op gemeentelijk niveau tot snelwegennetwerken op landelijk niveau scoren dezelfde indicatoren dus hoog. Gemiddeld over de totale beroepspraktijk gezien scoren de indicatoren “LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)” en “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” met deze eerste methode het hoogst.

De 86 gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren zijn ook op een tweede manier getoetst. Op basis van de weging per criterium per deelnemersgroep is een top 5 gemaakt van meest belangrijke criteria per deelnemersgroep. Binnen deze toppen 5 criteria is er een zestiental criteria genoemd die de meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk vormen. De 86 verkeerskundige prestatie-indicatoren zijn ook getoetst aan de hand van de ranglijst van dit zestiental door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Naast een aantal wat complexere indicatoren kwam de indicator “Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie” als beste naar voren. Ook de indicator “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” scoorde weer goed. Het grote nadeel van deze laatstgenoemde indicator was echter dat deze indicator geen mate van betrouwbaarheid bevat.

Door de eigenschappen van de uit de toetsingsmethodes goed scorende “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” met de “Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie” samen te voegen tot één verkeerskundige prestatie-indicator, wordt één verbeterde indicator gevormd. Dit is namelijk de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren”. Met deze indicator worden de prestaties uitgedrukt in zowel een waarde van de reistijd per kilometer met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer duren dan gemiddeld, als een eenvoudiger te begrijpen classificerings-score van de Levels Of Service. Hiermee is er een waarde voor zowel de deskundige als voor de leek. Deze indicator zou zowel op basis van de wegingsfactoren als voor het zestiental door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria als beste worden gewaardeerd. De indicator sluit tevens goed aan bij de bevindingen uit de persoonlijke interviews, waaruit vooral naar voren kwam dat een indicator betrouwbaar, begrijpbaar, duidelijk, eenduidig en communiceerbaar moet zijn. “Reistijd met een bepaalde mate van betrouwbaarheid” werd hiermee in verband gebracht. Deze is dus al verwerkt in de verbeterde indicator. Uit het onderzoek wordt dus de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator aanbevolen.

Met de ontwikkelde methode is het mogelijk om in plaats van Fundamentele Diagrammen op snelwegen en Macroscopisch Fundamentele Diagrammen voor hele netwerken, ook op traject gebaseerde MFD's door complex stedelijk gebied te verkrijgen. Met een traject specifiek gefit MFD is het schatten van missende informatie over zowel intensiteiten, snelheden als reistijden vervolgens mogelijk met een bepaald betrouwbaarheidsinterval. Vooral voor reistijden leidt dit tot relatief goede schattingen. In de beroepspraktijk blijkt daarnaast ook dat vooral het hebben van informatie over reistijden waardevol is. Deze kunnen namelijk worden gebruikt voor de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” die als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator voor stedelijke wegennetwerken is aanbevolen. Het is voor de eenduidigheid en de communiceerbaarheid binnen de beroepspraktijk echter wel van belang dat de grenswaarden van de Levels Of Service consistent zijn voor alle partijen binnen de beroepspraktijk. Om deze grenswaarden te bepalen wordt nader onderzoek aanbevolen.

## Summary

The municipality of The Hague collects all kinds of traffic data by different sources, just like managers of other road networks do. However because of technological developments a growing number and complexity of ways to collect traffic data become available. This results in a growing complexity and time needed to process the data into a clear representation of useful traffic information. Next to the lack of a clear representation also the availability of traffic data is mostly restricted to the main routes within a road network. All together this leads to a lack of insight into the traffic information of the whole of the road network. This diminishes the effect of dynamic traffic management measures. Within the municipality of The Hague amongst others the flows and travel times are collected at the main routes. On the rest of the road network especially information on travel times is missing. The municipality of The Hague therefore wanted to have more information about flows and travel times on routes where this information is not directly collected.

As a result of technological developments, the possibilities for determining the traffic performances of road networks are increasing. Because of this also the ways to collect data and the different types of information are differing from one road network to another by determining these traffic performances. Together with the lack of insight into a clear and complete overview of information on the entire road network, this leads to many different performance indicators within the field. This leads to a differing view on the traffic performances of road networks. Besides that there are many groups in the field that use traffic performance indicators, which mostly have different performance goals and a variety in degree of professional knowledge. Therefore it is important that traffic performance indicators are unambiguously, straightforward and communicable so traffic performances can be used and communicated without misunderstandings. Unfortunately there was no overview of the needs, wishes and expectations in the field for a traffic performance indicator and therefore it was also not known which indicator is most appropriate.

On the basis of these problem descriptions a few goals were formulated for this research. The first goal was to develop a method that can estimate missing information about travel times and/or traffic flows, using an urban route based Macroscopic Fundamental Diagram. Also important in this method is the reliability of these estimations. When these information about travel times and traffic flows is known or can be estimated for routes where this data is not directly collected, the total overview of traffic performances on the entire road network is a lot more complete. However it is not known how this information about flows and travel times on routes in urban road networks is valued within the field.

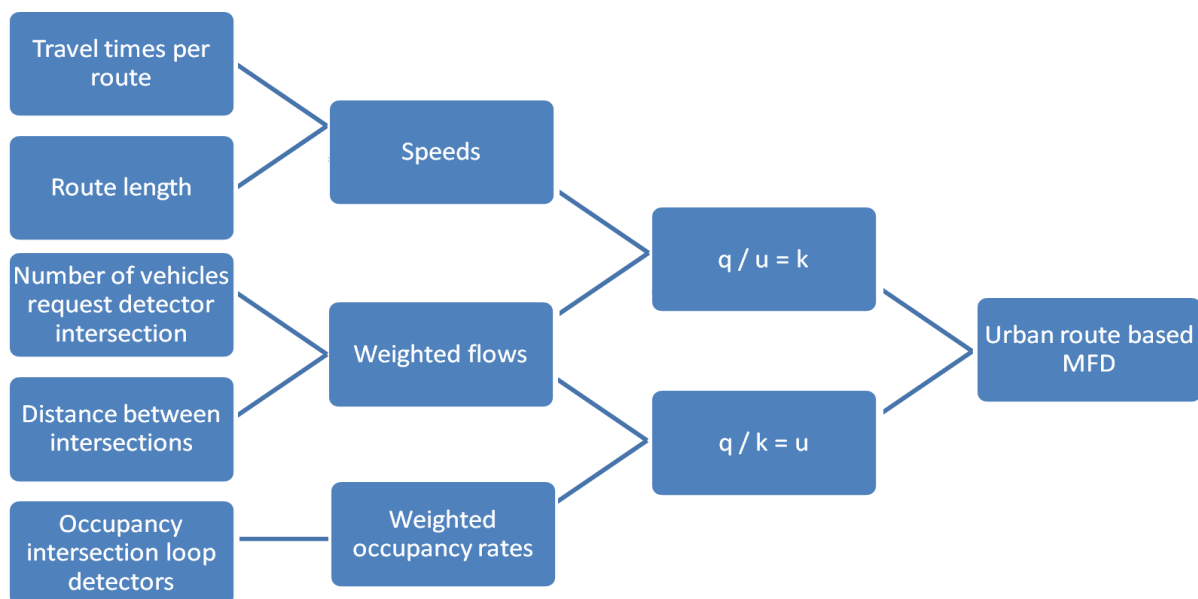
Therefore the second goal was to determine which indicator is most appropriate to represent the traffic performances of an urban road network as a whole as well as for different components from it, in an unambiguously and communicable way. Therefore it must be examined within the field what are the needs, wishes and expectations in the use of traffic performance indicators. With these insights a method is developed to assess traffic performance indicators to eventually come up with the most suitable unambiguously, straightforward and communicable traffic performance indicator.

The overall goal of this research was to be able to get a better and a more complete insight into the traffic performances of road networks, after which these performances can be communicated in an unambiguous and straightforward way between various groups within the field. With respect to these goals, two main research questions were formulated. In the sections below these research questions, including the approach and results are described successively. After that a short main conclusion is given.

**1. How will the development of Macroscopic Fundamental Diagrams for specific urban routes help to be able to estimate missing information about travel times and/or flows on other urban routes within the same urban road network?**

A route based Macroscopic Fundamental Diagram is determined out of the relation between flow (q), density (k) and speed (u) on that route. This relation is representing route specific characteristics as free flow speed, the capacity point and the jam density. When two out of the three parameters are known, the third can be calculated with Greenshields formula for the Fundamental Diagram [5]. During the research two data fusion methods were analyzed to get two of the three required parameters. The data fusion scheme is shown in Figure S1 below. The first data fusion method combines travel times and length of the travel time measuring route to get speeds. The other parameter is calculated by combining the number of vehicles that pass the request detectors on intersections to get the flow together with the distances between intersections to weigh that flows. So the first data fusion method combines the parameters speed and weighted flow to calculate the density to eventually know all parameters of the urban route based MFD.

The second data fusion method combines the same weighted flows as used in the first data fusion method, together with the weighted occupancy rates of the extension detector loops at the intersections. These extension detector loops appeared to have a better relation with the density than the other types of detector loops. So the second data fusion method combines the parameters weighted flow and density to calculate the speed to eventually know all parameters of the urban route based MFD.



**Figure S1 (= Figure 5.1): Data fusion Scheme to develop the urban route based Macroscopic Fundamental Diagram**

In both data fusion methods the one parameter is plotted against the other parameter to calculate a data point per aggregation period. With a number of aggregation periods each with a duration of fifteen minutes, over a whole month a scatter plot of data point becomes visible. This scatter plot represents the fundamental relations for the specific route. The first data fusion method, which combines speeds and weighted flows (or Production), shows these fundamental relations the best. By fitting a function form through the scatter plot of each route a route specific MFD is created, which describes the fundamental characteristics of the concerned route. The Adjusted Drake function [25], as shown in Equation S1 below, is used for this fit.

$$P(A) = A^{c_3} \left( c_1 \exp \left( \frac{-1/2 A^{c_3}}{c_2 c_3} \right) \right) \quad \text{Equation S1 (= Equation 6.1)}$$



In most previous studies the third order polynomial is used to fit a scatter plot and thereby creating a MFD. A disadvantage of this function form is however that the function goes up after reaching the capacity point. As can be seen in Figure S2 below the Adjusted Drake function (red line) goes down in the congested branch and follows the scatter in a better way than the third order polynomial (black line). The vertical Root Mean Square Error (RMSE), which represents the error in the estimated Production of the function form, was calculated for two routes in the road network of The Hague. On a route with just a few data points in the congested branch (route 17.1) the Adjusted Drake fitted the scatter better than the third order polynomial. When there are even more data points on the congested branch (like on route 26.1) the performance of the Adjusted Drake function even increases with respect to the third order polynomial. The result are shown in Table S1 below.

Function form	RMSE route 17.1	RMSE route 26.1
Third order polynomial	14,13	79,85
Adjusted Drake	14,04	63,03

Table S1 (=Table 6.2): Comparison RMSE [veh/hour/lane] third order polynomial and the Adjusted Drake for routes 17.1 and 26.1

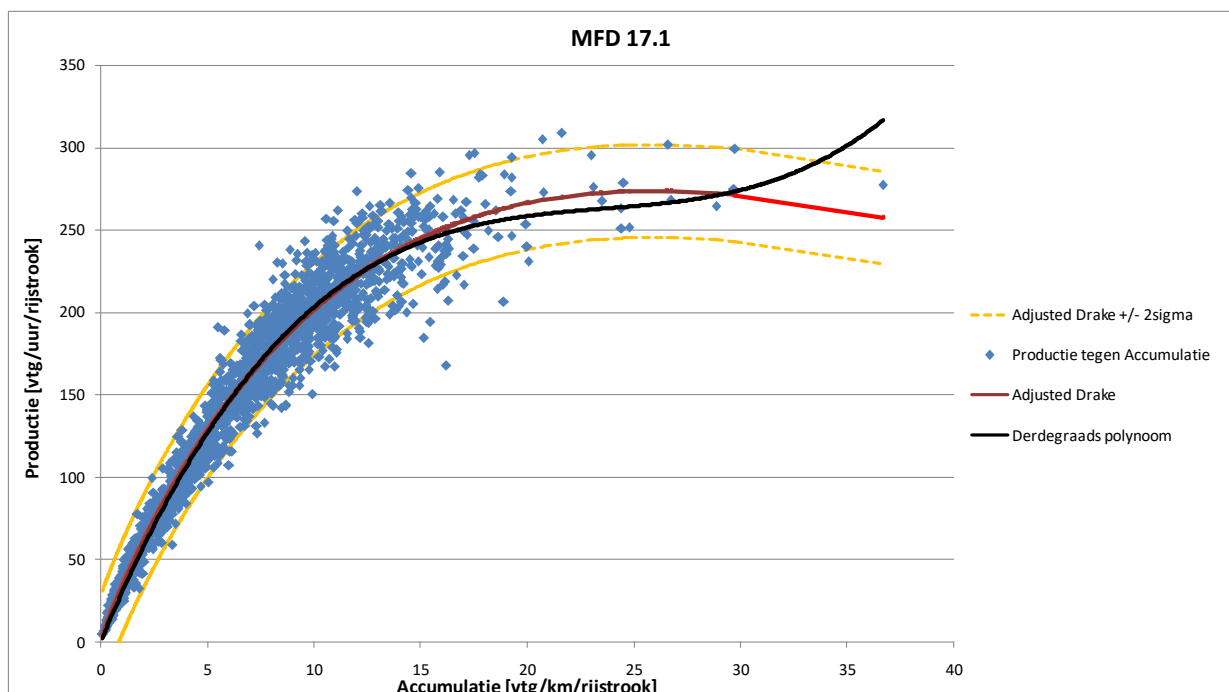


Figure S2 (= Figure 6.1): Comparison fit third order polynomial (black) and Adjusted Drake (red) for route 17.1

All the 78 routes of the Dynamic Traffic Management network of the municipality of The Hague [3], where travel times and flows are available, were analyzed. By fitting all the scatter plots of these 78 routes with the Adjusted Drake function, per route a route specific fitted Macroscopic Fundamental Diagram is developed. Over all the 78 routes the average vertical error (in Production) of these fitted MFD's have a RMSE of 24 vehicles/hour/lane.

Every fitted MFD shows the fundamental characteristics of the concerned route. To analyze if there are consistencies in the 78 developed MFD's, the MFD's are categorized on the basis of the coefficients  $c_1$ ,  $c_2$  and  $c_3$  of the fitted Adjusted Drake functions. Out of the clustering method k-means clustering [27], four categories of routes with corresponding MFD can be distinguished. The four resulting cluster MFD's are shown in Figure S3 on the next page.

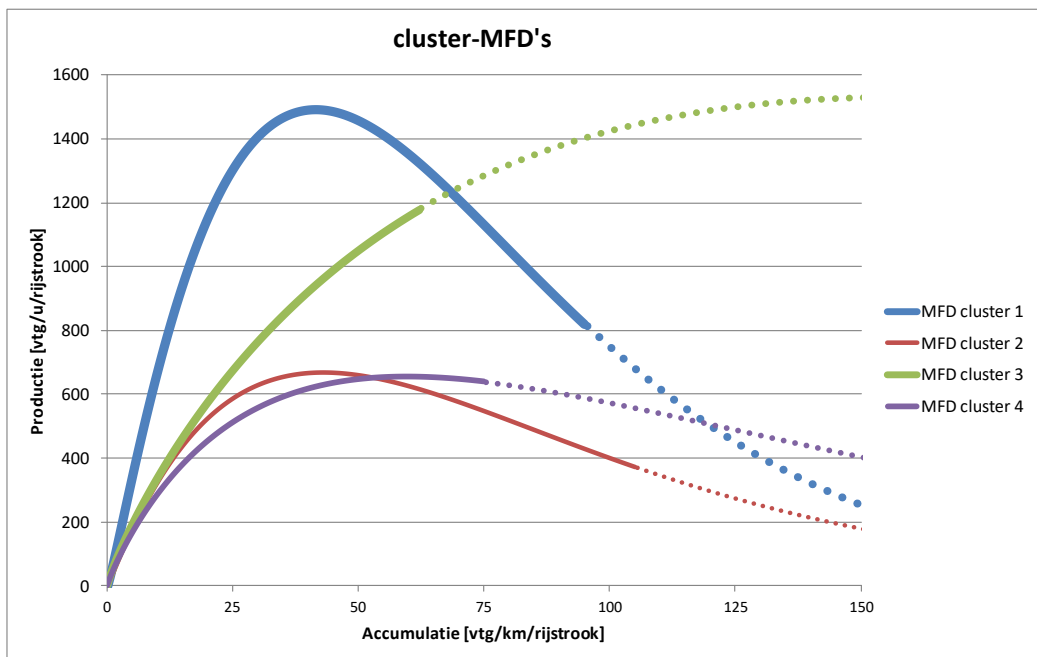


Figure S3 (= Figure 6.4): The four resulting cluster MFD's

In Figure S3 the part of the cluster MFD's with the continuous line represent the actual fit of data points. The part of the cluster MFD's that is dashed is the result of when the continuous fitted part would be continued. Especially for cluster 3 the form of the dashed part would be unrealistic. On routes which are assigned in cluster 3 there are apparently no data points in the congested branch. That is why the fitted part and even the dashed part of the cluster MFD does not decrease in the displayed Accumulation range of the figure. The dashed part is not representative for a real situation. In a realistic situation the dashed part should decrease to a Production value of about zero at an Accumulation value of about 165 vehicles/kilometer/lane (assuming an average vehicle length of 4.5 meter and a headway of about 1.5 meter). Also the other three cluster MFD's do not entirely decrease to a jam density within this Accumulation range. That is a pitfall of the Adjusted Drake function, because the function form decreases just slowly in the last part of the congested branch towards a Production value of zero and thereby reaching unrealistic high values of the Accumulation. However on the 78 routes analyzed there were no data points that actually approached the jam density point. Therefore this pitfall was not a problem for this research. Developing a function form that is fitting the scatter plots even better, including the heavy congested parts of the MFD, would need more extensive research.

Except for the fundamental characteristics there are also a few other route characteristics that are comparable for routes within a cluster. Some examples of these characteristics are the speed limit, the location of the route within the network and the density of the controlled intersections on the route. When routes are assigned to a cluster on the basis of both the fundamental as the above mentioned characteristics, the average error between the data points and the cluster MFD has a RMSE value of 61 veh/hr/lane. For route specific fitted MFD's this value was 24 veh/hr/lane. On average a route specific fitted MFD represents the scatter plot more than twice as good. Therefore it is recommended to collect data of travel times and/or flows on routes where they are not collected. Within this research a collection period of a month is used, which turned out to be sufficient to be able to derive the fundamental relation.



When the relations between flow, density and speed are known, only one of the parameters should be measured to be able to estimate the others. This is done for all analyzed 78 routes. How reliable the estimations are is again represented by the RMSE, which gives an impression of the error between the actual measured value and the estimated value. First the flows were estimated when speeds are measured. The results of the estimations are shown in Table S2 below.

Cluster	Cluster MFD's		Fitted MFD's		Average capacity point Production [veh/hr/ln]
	Average RMSE	$\sigma$	Average RMSE	$\sigma$	
1	498	185	381	232	1500
2	176	67	122	59	700
3	179	92	118	58	1500
4	152	76	63	24	700
<b>Total</b>	<b>255</b>	<b>188</b>	<b>171</b>	<b>180</b>	<b>1500</b>

Table S2 (=Table 8.4): RMSE flows with corresponding standard deviation [veh/hr/lane] when speeds are known

When flows are estimated on the basis of the cluster MFD's the average RMSE over the 78 routes is 255 veh/hr/lane. Especially when a route is belonging to cluster 1 the error of the flow estimation is very large (498 veh/hr/lane). When the flows are estimated on the basis of the route specific fitted MFD's, the average error of the flow estimation is a RMSE of 171 veh/hr/lane. Still this is a high value with respect to the average capacity point of about 1500 veh/hr/lane. The reason of these large errors in the estimation is the horizontal shape of the scatter plot.

An example is given for route 17.1 in Figure S4 below. With a speed of about 25 km/hour corresponding flow values from about 25 until 250 veh/hr/lane (arrow 1 in the figure) are possible. With respect to the capacity point of about 300 veh/hr/lane this difference is large (75%). It depends on the application but it is not recommended to apply the route based MFD's for estimating traffic flows on the basis of known speeds.

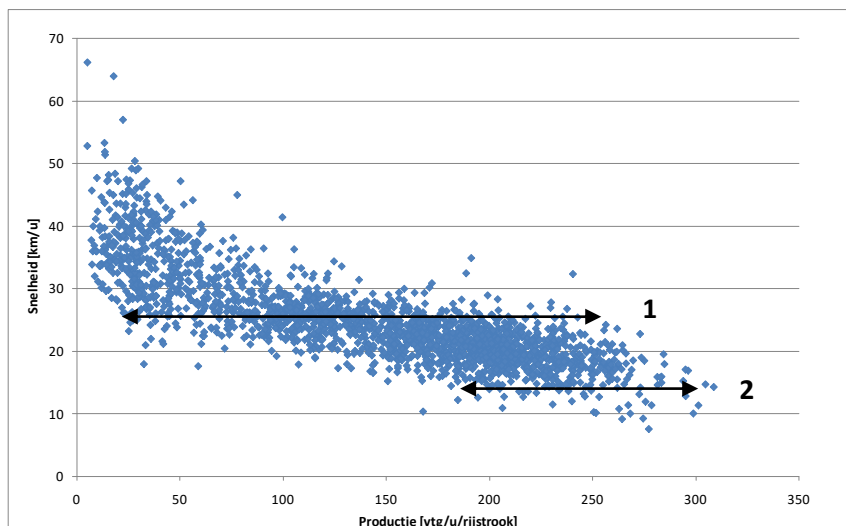


Figure S4 (= Figure 8.4): Scattering Production values at speed value of 25 km/hr for route 17.1

On the other hand speeds are estimated for the 78 routes on the basis of the cluster MFD's and the route specific fitted MFD's when flows are measured. There was only one problem. For each value of the flow there are two corresponding speed values, except for the capacity point. One in the free flow branch (upper half in Figure S5) and one in the congested branch (lower half in Figure S5). In the example in Figure S5 on the next page at a flow of 800 veh/hr there is a corresponding free flow value of the speed of about 42 km/hr and a congested value for the speed of about 8 km/hr. It is not visible by the flow data itself which of the two speed values is corresponding to the actual situation.

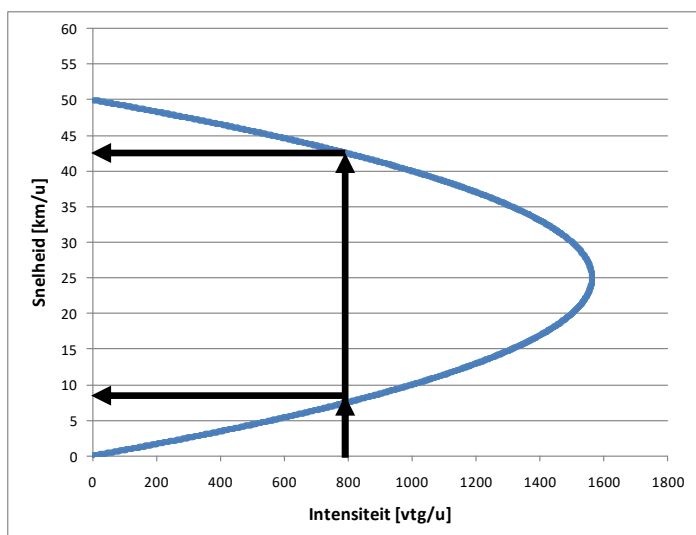


Figure S5 (=Figure 8.5): Example fundamental relation between speed and flow

This problem is solved by approaching the data with two methods. The first method, which is called the “Free flow branch method”, estimates all speed values on the basis of only the free flow branch of the MFD, despite of the actual corresponding branch. The second method is called the “Known branch method”. This method assumes that the actual branch is known and therefore all speed values are estimated based on the correct branch. In practice this is not yet possible and would need more extensive research. A few suggestions would be relating the choice of branch on trends, occupation rates or flow values of neighboring controlled intersections. The second method is used as a reference situation.

The results of the speed estimations of both methods are shown in Table S3 below. For both methods the speeds were estimated on the basis of both the cluster MFD’s as well as for the route specific fitted MFD’s. The RMSE of the speed estimations with the corresponding standard deviation is calculated per cluster group of routes and for the total.

Cluster	Free flow branch				Known branch				Speed limit
	With Cluster		Fitted		With Cluster		Fitted		
	Avg. RMSE	$\sigma$	Avg. RMSE	$\sigma$	Avg. RMSE	$\sigma$	Avg. RMSE	$\sigma$	
1	14,4	6,9	9,3	4,2	14,1	7,0	8,8	3,9	80
2	7,7	2,8	5,1	1,4	7,6	2,8	5,0	1,4	50
3	7,2	2,9	5,7	2,7	7,2	2,9	5,7	2,7	80
4	7,1	2,8	4,7	1,8	7,0	2,8	4,7	1,8	50
<b>Total</b>	<b>9,2</b>	<b>5,3</b>	<b>6,2</b>	<b>3,3</b>	<b>9,1</b>	<b>5,2</b>	<b>6,1</b>	<b>3,1</b>	<b>80</b>

Table S3 (= Table 8.5): RMSE estimated speed values [km/hr] at known flow values

A remarkable result is that the RMSE of the total of the routes is just 0.1 km/hr better for the Known branch method than for the Free flow branch method. A reason for this result is that there are relatively just very few heavily congested data points. Therefore the estimations on only the free flow branch are already approaching the estimations for the method when the actual branch is known.

The estimations for the speed values are converted to estimations for the travel times in seconds per route kilometer. Again the RMSE for the estimation with both the Free flow branch method and the Known branch method are calculated for the cluster MFD’s as well as for the route specific fitted MFD’s. These results are shown in Table S4 on the next page.

Cluster	Free flow branch				Known branch					
	With cluster		Fitted		With cluster		Fitted		Avg. Travel time/km	$\sigma$
	Avg. RMSE	$\sigma$	Avg. RMSE	$\sigma$	Avg. RMSE	$\sigma$	Avg. RMSE	$\sigma$		
1	15	7	11	6	25	17	13	10	54	8
2	28	14	18	10	40	43	20	11	112	26
3	18	8	13	7	17	8	24	34	90	11
4	36	24	18	11	49	63	21	14	127	23
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>97</b>	<b>35</b>

Table S4 (= Table 8.6): RMSE travel time [sec./km.] at known flow values

With the Free flow branch method, where all flow values are compared with only the free flow branch, the error in the travel time estimation for the route specific fitted MFD's has an average RMSE value of 15 seconds per kilometer of a route. This RMSE value for the cluster MFD's is 25 seconds per route kilometer. With an average travel time of 97 seconds to cover a kilometer of a route, the estimations on the basis of the route specific fitted MFD's and the cluster MFD's therefore deviate respectively 15% and 26% from the actual value of the travel time per kilometer.

With the Known branch method, where all flow values are compared with the correct branch, the error in the travel time estimation for the route specific fitted MFD's has an average RMSE value of 19 seconds per kilometer of a route. This RMSE value for the cluster MFD's is 35 seconds per route kilometer. With still an average travel time of 97 seconds to cover a kilometer of a route, the estimations on the basis of the route specific fitted MFD's and the cluster MFD's therefore deviate respectively 20% and 36% from the actual value for the travel time per kilometer.

The results of the Free flow branch method are better than for the Known branch method. This has to do with the greater chance on underestimating the speed and therefore the overestimation of the travel time of the Known branch method when the value actual belongs to the congested branch. An underestimation of the speed has a larger impact on the deviation of the travel time than when the speed value is overestimated with the same deviation. Therefore speed values can better be overestimated by comparing them with the free flow branch than try to estimate them using the known branch. Thereby must be noticed that on the analyzed routes within the municipality of The Hague relatively few data points showed heavy congestion. When other routes are analyzed where more heavily congestion occurs, than on a certain moment the Known branch method might perform better.

**2. What is the most appropriate measure to represent the traffic performances of an urban road network as a whole as well as for different components from it, in an unambiguously and communicable way?**

To answer this second main research question a setup of five steps is followed. This setup is shown in Figure S6 below.

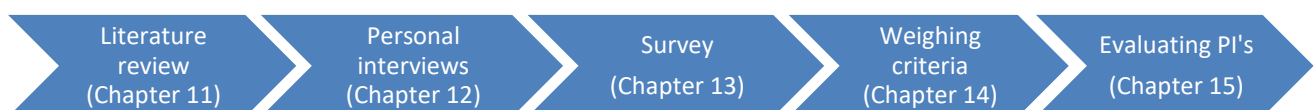


Figure S6 (= Figure 10.1): Steps in setup evaluation for most appropriate traffic performanceindicator

In the first step a literature review is performed. By means of this literature review the diversity of performance indicators in practice was explored. It appeared that these indicators show a wide variety of different characteristics of road networks. Some indicators express the performances in a degree of Accessibility, other indicators in a degree of Mobility and others in a way of emissions, spatial planning, safety, quality of life, comfort or in a way of traffic performances. To answer the second main research question the last category is most relevant, in which the indicator expresses the performances in a way of traffic performances. Therefore the rest of the research focuses on this category.

After the literature review, in the second step of the setup some personal interviews were performed with several people of different positions within the process of policy making, research, design, implementation unto the management of road networks. The purpose of the personal interviews was to explore the traffic performance indicators from a practical point of view of different positions in the field. One of the goals of the literature review and the personal interviews was to create a list of traffic performance indicators which are used in practice. The literature review hereby formed the basis and the personal interviews were used to complement the list. The result is a list of 86 indicators that are used in practice to display the traffic performances of road networks or different components from it. This list is shown in appendix G.

Another goal of the literature review and the personal interviews was to create a list of criteria, representing an overview of the possible in practice needed and desired characteristics of traffic performance indicators. The characteristics of the 86 traffic performance indicators formed the basis for the criteria list. This basis was checked, adjusted and complemented by the personal interviews. The result was a list of 46 criteria, which gives an overview of the possible needed and desired characteristics of traffic performance indicators. This criteria list, including a short description per criterion, is shown appendix E.

It was assumed that not all these 46 criteria were assessed as equally important by the various parties in the field, which use traffic performance indicators in practice. Therefore in step three of the setup a survey is developed to evaluate the importance of each of the 46 criteria. The survey has been sent to various departments and organizations within the field. The first question of the survey was to indicate to which department or organization the participant belongs. Then the participants were asked to assess all the 46 individual criteria on the basis of a score between 1 (unnecessary) and 6 (necessary), to indicate how important the concerning criterion is for being part of the most suitable traffic performance indicator.

The fourth step of the setup was started, after the responses on the survey were collected. In this step the importance of the individual criteria were weighted. The participants of the several departments and organizations were classified in some participant groups. Therefore the importance of the individual criteria could be evaluated for the total professional field as well as for the different participant groups within the field. To make the number of responses of the different participant group irrelevant in the criteria assessment of the total professional field, the average weighing was taken over the average assessments of the participant groups. With the assessment per participant group and for the total field the relative importance of a criterion relative to the other criteria is known and therefore also the weighing factors per criterion. As a result per participant group and for the total field a top 5 criteria is made, which represent the highest appreciated and therefore the most important criteria. With the weighing factors the performance indicators are evaluated using Equation S2 below [31].

$$U = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad \text{Equation S2 (= Equation 10.1)}$$

In this equation  $U$  represents the total score of a traffic performance indicator.  $\alpha_1$  till  $\alpha_n$  represent the weighing factors of criterion 1 until  $n$  (for a participant group or for the total field).  $x_1$  till  $x_n$  represent the binary variables per criterion to indicate if a traffic performance indicator satisfies the criterion (value 1) or not (value 0). If a traffic performance indicator satisfies a certain criterion this is seen as an advantage. If the indicator doesn't satisfies the criterion this is seen as a disadvantage. Therefore the higher the total score, the more suitable the traffic performance indicator.

In the fifth and last step of the research setup the list of 86 traffic performance indicators is evaluated by two evaluation methods. In the first evaluation method each of the individual 86 traffic performance indicators a total score  $U$  was calculated on the basis of satisfying the 46 criteria with the corresponding weighing factors or not. This is done with the weighing factors per participant group and with the weighing factors of the Total Field. Out of the resulting total scores it was remarkable that the top 5 highest scoring traffic performance indicators for the participant groups as well as for the Total Field were again and again the same five traffic performance indicators. The top 5 highest scoring traffic performance indicators of the Total Field are shown in Table S5 below. Within the whole field these five indicators are highly appreciated. The "Level Of Service based on flow (or Production)" and the "Level Of Service based on average travel time per kilometer" are scoring the highest.

Total Field		
Top 5	Traffic performance indicator	Total score
1	LOS based on flow (or Production)	99
2	LOS based on average travel time per km	99
3	Buffer Index: extra percentage travel time for a traveler to make a trip with 95% reliability	98
4	Vehicle loss hours	98
5	LOS based on the V/C-ratio	97

**Table S5 (= Table 15.8): Top 5 best scoring traffic performance indicators over the Total Field**

In the second evaluation method the list of 86 traffic performance indicators is evaluated based on the top 5 highest appreciated and therefore the most important criteria per participant group. Out of the top 5's over all participant groups all together sixteen criteria were appointed as the most important criteria within the field. Depending on how often and how high the criteria were appreciated within the top 5's, a ranking of these most important criteria is developed. This ranking, including a short description per mentioned criterion, is shown in Table S6 below.

Ranking	Criterion	Short description
1	40	Expressible in travel time
2	32	Expressible in unambiguous units
3	3	Value for the total flow
4	20	Differentiation to modality is possible
5	19	Differentiation to time periods is possible
6	27	Graphic display on a map is possible
7	10	The dimension of congestion is visible in terms of time
8	28	Graphic display with graphs, diagrams and tables is possible
9	5	Making forecasts is possible
10	24	Easy to reproduce
11	12	Easy to measure
12	41	Expressible in delay
13	9	Effects of spatial policy can be visualized
14	6	Comparable with previously calculated indicators
15	29	Consistent with the current image of accessibility
16	31	Contains a degree of reliability

**Table S6 (= Table 14.3): Ranking on the basis of scores of all top 5 criteria of the groups**

The 86 traffic performance indicators are then also evaluated on the basis of this ranking. Following the ranking of criteria, the 86 performance indicators which didn't satisfy the concerning criterion were eliminated. Besides a few somewhat complex indicators, the indicator "Standard Deviation: average travel time per kilometer with standard deviation" has emerged as the best indicator. Also the indicator "Level Of Service based on average travel time per kilometer" again scored very well. However the disadvantage of this indicator was that it has no degree of reliability (ranked 16<sup>th</sup> in the criteria ranking).

By combining the characteristics of the high scoring "Level Of Service based on average travel time per kilometer" and the "Standard Deviation: average travel time per kilometer with standard deviation" of both evaluation methods, one improved indicator is designed. This is namely the "Level Of Service based on average travel time per kilometer, with added standard deviation of the travel times that are longer than average". With this indicator the performances are expressed in a value of the travel time per kilometer, including a standard deviation of the travel times that are longer than average, as well as a more easy to understand Level Of Service. Therefore the indicator can be expressed in a value for the expert as well as for the layman.

This indicator would be evaluated as the best of the traffic performance indicators for both the method of calculating the total score  $U$  with the weighing factors as well as for the method on the basis of the sixteen most important criteria in the field. The indicator also is consistent with the findings out of the personal interviews. In these interviews namely some characteristics that were often mentioned were reliability, understandability, clarity, unambiguously and communicability. During the interviews the indicator "Travel time with a certain degree of reliability" was related to these characteristics. So the indicator that is mentioned during the personal interviews is also already processed in the improved indicator. Out of the literature review, the personal interviews and the resulting two developed evaluation methods the "Level Of Service based on average travel time per kilometer, with added standard deviation of the travel times that are longer than average" is recommended as the most suitable known traffic performance indicator.

After answering these two main research questions a few main conclusions can be drawn. With the developed data fusion method it is possible to obtain a route based Macroscopic Fundamental Diagram through a complex urban area. This enables the possibility to show the fundamental relations in an extra dimension between the Fundamental Diagram on highways and the network covering Macroscopic Fundamental Diagram. With a route based Macroscopic Fundamental Diagram it is possible to estimate flows, speeds and travel times on that route with a certain reliability value. However it is not recommended to estimate flows by this method, due to the high margin of error in the estimations. Independent on if the "Free flow branch method" is used or the "Known branch method", the route specific fitted MFD is strongly recommended above the cluster MFD's because of the significant better estimations of both speeds and travel times. The development of these route specific fitted MFD's however cost more time and need a certain quality of data. However estimating travel times by using a route specific fitted MFD especially lead to relatively good estimations.

The second part of the Thesis, determining the most appropriate indicator to represent traffic performances, revealed that especially information over these travel times is valuable for the field. This information namely can be used in the "Level Of Service based on average travel time per kilometer, with added standard deviation of the travel times that are longer than average", which was recommended as the most appropriate traffic performance indicator. For the ambiguity and communicability it must be noticed that the limits of the Levels Of Service must be determined consistently for all parties within the field. Determining the exact limits of these Levels Of Service need more extensive research. An advantage of the research is that when in the future new performance indicators are introduced, also these new indicators could be evaluated by using the two in this Thesis developed methods.

# Inhoud

Hoofdstuk	Titel	Pagina
	<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
	<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1.</b>	<b>Introductie</b>	<b>23</b>
1.1	Het wegennetwerk van Den Haag	24
1.2	Probleembeschrijving	26
1.3	Doel	27
1.4	Onderzoeksvraag	30
1.5	Leeswijzer	31
<b>2.</b>	<b>Literaturomkadering</b>	<b>35</b>
2.1	Theoretische beschrijving MFD voor stedelijke trajecten	35
2.2	Definiëren en valideren MFD voor stedelijke trajecten	38
2.3	Het uitdrukken van prestaties wegennetwerken	40
<b>3.</b>	<b>Gebruikte databronnen</b>	<b>43</b>
3.1	NDW	43
3.2	V-log data	46
3.3	Aggregatieperiode	48
<b>4.</b>	<b>Informatie uit de data</b>	<b>49</b>
4.1	Definitie trajecten	49
4.2	Reistijdinformatie verkrijgen	51
4.3	Intensiteitinformatie verkrijgen	52
4.4	Bezettingsgraadinformatie verkrijgen	58
<b>5.</b>	<b>Data fuseren</b>	<b>63</b>
5.1	Datafusieschema	63
5.2	Fusie snelheden met gewogen intensiteiten	64
5.3	Fusie gewogen bezettingsgraden met gewogen intensiteiten	67
5.4	Vergelijking datafusiemethodes	69
<b>6.</b>	<b>Bepalen relatie MFD voor stedelijke trajecten</b>	<b>71</b>
6.1	Traject categorisatie	71
6.2	Soort relatie	72
6.3	Fitten relatie	73
6.4	Clusteren trajecten	75
6.5	Resulterende clusters	79
6.6	Kwaliteit clustering	83



Hoofdstuk	Titel	Pagina
<b>7.</b>	<b>Valideren relatie MFD voor stedelijke trajecten</b>	<b>87</b>
7.1	Onderverdeling clusters validatietrajecten	87
7.2	RMSE validatietrajecten	88
<b>8.</b>	<b>Toepasbaarheid op andere trajecten</b>	<b>89</b>
8.1	Trajecteigenschappen per cluster	89
8.2	Reistijd bekend maar intensiteit niet	93
8.3	Intensiteit bekend maar snelheid niet	95
8.4	Intensiteit bekend maar reistijd niet	99
8.5	Toepasbaarheid ontwikkelde MFD's	102
<b>9.</b>	<b>Conclusie deelvragen hoofdonderzoeksvraag 1</b>	<b>103</b>
9.1	Antwoorden deelvragen hoofdonderzoeksvraag 1	103
9.2	Discussie deelvragen hoofdonderzoeksvraag 1	107
<b>10.</b>	<b>Onderzoek naar de prestatie-indicator</b>	<b>109</b>
10.1	Het weergeven van de prestatie-indicator	110
10.2	Aanpak beoordeling prestatie-indicatoren	111
10.3	Toetsingsmethodes verkeerskundige prestatie-indicatoren	112
<b>11.</b>	<b>Aanvullend literatuuronderzoek prestatie-indicator</b>	<b>115</b>
11.1	Prestatie-indicatoren literatuur	116
11.2	Criteria literatuur	118
<b>12.</b>	<b>Persoonlijke interviews</b>	<b>119</b>
12.1	Interview betrokkenen verkeerskundige prestatie-indicator	119
12.2	Overkoepelende antwoorden interviews	120
<b>13.</b>	<b>Enquête</b>	<b>123</b>
13.1	Opzet enquête	123
13.2	Getoetste criteria	125
<b>14.</b>	<b>Weging criteria</b>	<b>127</b>
14.1	Meest belangrijke criteria	127
14.2	Wegingsfactoren criteria	129
<b>15.</b>	<b>Toetsen verkeerskundige prestatie-indicatoren</b>	<b>133</b>
15.1	Meest geschikte indicatoren op basis van totaalscore	133
15.2	Meest geschikte indicatoren op basis van meest belangrijke criteria	136
15.3	Meest geschikte bekende indicator en mogelijke verbeteringen	138



Hoofdstuk	Titel	Pagina
<b>16.</b>	<b>Conclusie deelvragen hoofdonderzoeksvraag 2</b>	<b>141</b>
16.1	Antwoorden deelvragen hoofdonderzoeksvraag 2	141
16.2	Discussie deelvragen hoofdonderzoeksvraag tweede deel	145
<b>17.</b>	<b>Hoofdconclusie</b>	<b>147</b>
17.1	Conclusie hoofdonderzoeksvragen	147
17.2	Perspectieven voor de wetenschap	150
17.3	Perspectieven voor de praktijk	152
	<b>Bibliografie</b>	<b>153</b>
<b>Bijlage A</b>	Overzichtskaart Verkeersmanagement 2016	<b>155</b>
<b>Bijlage B</b>	Meest geschikte lus voor bezettingsgraad	<b>157</b>
<b>Bijlage C</b>	Clustering met RMSE	<b>159</b>
<b>Bijlage D</b>	Toepassen op andere trajecten	<b>161</b>
<b>Bijlage E</b>	Definities van congestie	<b>163</b>
<b>Bijlage F</b>	Lijst getoetste prestatie-indicatoren op basis literatuur	<b>165</b>
<b>Bijlage G</b>	Beschrijving criteria	<b>171</b>
<b>Bijlage H</b>	Lijst getoetste prestatie-indicatoren op basis indeling	<b>177</b>
<b>Bijlage I</b>	Enquête prestatie-indicator	<b>181</b>
<b>Bijlage J</b>	Contact informatie	<b>189</b>



## 1. Introductie

Dit onderzoek gaat over het meten en schatten van de prestaties van stedelijke wegennetwerken. Hoe goed de metingen en schattingen zijn, is afhankelijk van onder andere de beschikbaarheid van databronnen. Dit is per stedelijk wegennetwerk verschillend. De prestaties van het netwerk kunnen het best worden geëvalueerd met een compleet beeld van de verkeerssituatie. De beschikbaarheid en kwaliteit van data bepaalt welke informatie over het stedelijk wegennetwerk bekend is. Met behulp van bekende informatie kan, bijvoorbeeld door datafusie, ook weer nieuwe informatie gecreëerd worden. De mogelijkheden voor het creëren van nieuwe informatie zijn echter nog lang niet allemaal uitgebreid onderzocht. Dit onderzoek gaat hier dieper op in.

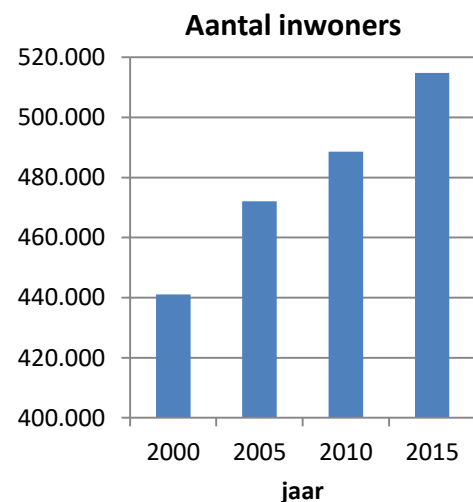
Aangezien de databeschikbaarheid voor elk stedelijk wegennetwerk verschillend is, wordt het onderzoek toegepast op het wegennetwerk van Den Haag. De gemeente Den Haag verzamelt en beheert namelijk data uit verschillende databronnen, die in andere Nederlandse steden over het algemeen ook (maar dan meestal op kleinere schaal) worden verzameld. Om wat meer bekend te raken met het stedelijk wegennetwerk van Den Haag wordt eerst de praktische kant van het onderzoek belicht. Zo gaat de eerste paragraaf van dit hoofdstuk in op hoe het stedelijk wegennetwerk ligt ten opzichte van het landelijke wegennetwerk. Daarna volgt een beschrijving van een aantal praktische problemen die de gemeente Den Haag ervaart bij het meten van de prestaties van het wegennetwerk. Vervolgens worden aan de hand van deze problemen, door middel van een wetenschappelijke insteek, doelen voor het onderzoek opgesteld. Om deze doelen te bereiken worden in de vierde paragraaf onderzoeksvragen geformuleerd. Tenslotte wordt in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk de structuur van de rest van het onderzoek beschreven door middel van een leeswijzer.

## 1.1 Het wegennetwerk van Den Haag

Den Haag vervult een belangrijke functie binnen Nederland. De Nederlandse regering, het parlement, het Internationaal Gerechtshof en het koninklijk huis zijn hier bijvoorbeeld gevestigd. Hiermee heeft de Hofstad een belangrijke positie binnen de Randstad, waar Den Haag samen met Rotterdam, Schiphol en Amsterdam een grote economische drijfveer is. Daarnaast vormt Den Haag samen met Rotterdam de Metropoolregio Rotterdam - Den Haag (MRDH), waarin de samenwerkingsverbanden nog eens extra benadrukt worden. De aantrekkingskracht van deze regio zorgt ervoor dat zowel de metropoolregio als de Randstad een sterke internationale economische positie heeft. Om deze concurrentiepositie te behouden en zelfs te kunnen versterken is het van essentieel belang dat de bereikbaarheid van voorzieningen en werkgelegenheid in de Randstad goed genoeg is. De verbindingen tussen Den Haag en de rest van de Randstad zijn dus belangrijk. In onderstaande Figuur 1.1 is te zien hoe Den Haag via autosnelwegen is verbonden met de rest van de Randstadregio.



Figuur 1.1: Den Haag in de Randstadregio (basis [1])



Figuur 1.2: Aantal inwoners gemeente Den Haag [2]

Door de aantrekkingskracht van de regio groeit het aantal inwoners van de gemeente Den Haag nog steeds (zie bovenstaande Figuur 1.2). Deze groei resulteert samen met onder andere de veranderingen in het gemiddelde autobezit, bevolkingssamenstelling en technologische ontwikkelingen in een toenemende vraag naar mobiliteit. Om de goede economische positie van Den Haag te behouden is het niet alleen van belang dat de verbinding met de rest van de Randstad van een voldoende kwaliteit is, maar ook de bereikbaarheid binnen de stad.

De Haagse Nota Mobiliteit streeft er daarom naar om de toenemende vraag naar mobiliteit in het kader van duurzame mobiliteit, leefbaarheid en bereikbaarheid af te wikkelen. Toplocaties, waar nu of in de toekomst veel werkgelegenheid en voorzieningen geconcentreerd zijn, krijgen hierbij voorrang. Deze locaties zorgen namelijk voor de ontwikkeling van de economie en de aantrekkingskracht van de stad. Doelen wat betreft de bereikbaarheid zijn in de Nota Mobiliteit geformuleerd in de vorm van vastgestelde reistijden, waarbinnen de toplocaties in de stad te bereiken moeten zijn. Deze streefreistijden zijn voor zowel de auto als voor het openbaar vervoer vastgesteld. De betreffende streefreistijden zijn weergegeven in Tabel 1.1. De reistijden in deze tabel zijn vastgesteld per schaalniveau van internationaal naar stedelijk niveau. De hiërarchie van deze schaalniveaus moet zorgen voor een herkenbare, eenduidige en systematische inrichting.

Schaalniveau	Reistijd auto/OV	Gemiddelde trajectsnelheid OV	Gemiddelde trajectsnelheid auto
(Inter)nationaal	Directe aansluiting op Schiphol, Rotterdam - The Hague Airport en op hogesnelheidstreinen richting Duitsland en Frankrijk	100 tot 250 km/u (hogesnelheidstrein)	60 tot 80 km/u (autosnelweg)
Randstad	45 tot 60 minuten	60 tot 100 km/u (intercity)	60 km/u (autosnelweg)
Regio	30 tot 45 min	25 tot 40 km/u (Randstadrail, regionaal OV)	35 tot 40 km/u (internationale ring en stedelijke invalsroutes)
Stad	30 min	20 tot 25 km/u (Randstadrail, regionaal OV en HOV-tangenten)	20 tot 25 km/u (stedelijke hoofdwegen)

Tabel 1.1: Uitgangspunt reistijden naar toplocaties binnen Den Haag [1]

De structuur van het wegennetwerk is weergegeven in Figuur 1.3 hiernaast. Doorgaand autoverkeer wordt geconcentreerd op de hiervoor ingerichte hoofdwegen. Deze bundeling van verkeer moet zorgen voor een vlotte en effectieve doorstroom volgens de hiërarchie vanaf het moment dat het verkeer de gemeente binnenrijdt, via de hoofdwegen, de stedelijke hoofdwegen en wijkontsluitingswegen tot aan de plaats van bestemming. De locaties waar het verkeer de stad binnenkomt worden ook wel stadspoorten genoemd (deze zijn in Figuur 1.3 aangegeven met blauwe cirkels). Deze stadspoorten op de internationale ring vormen de schakel tussen de verbindingen tussen de stad en de andere steden binnen de Randstadregio. De stadspoorten in het openbaar vervoer (aangegeven met gele cirkels in Figuur 1.3) zijn de intercitystations Den Haag Centraal, Hollands Spoor, Laan van Nieuw-Oost-Indië en op termijn station Ypenburg. Door de doorstroming via de stadspoorten en de hoofdwegen aantrekkelijk te maken wordt de ongewenste druk door sluipverkeer op woonwijken verkleind.

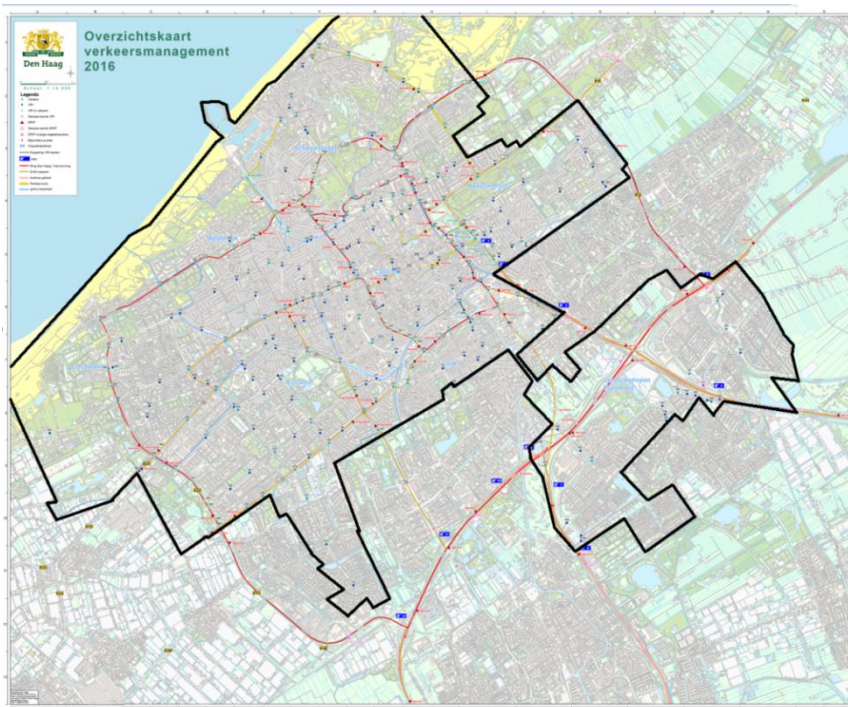


Figuur 1.3: Structuur wegennetwerk met toplocaties en stadspoorten (basis: [1])

Om het autoverkeer via de wegenstructuur naar hun bestemming te leiden wordt gebruik gemaakt van Dynamisch Verkeersmanagement (DVM). Met actuele verkeersgegevens wordt de afwikkeling van het verkeer op de hoofdroutes beïnvloed door middel van maatregelen, geautomatiseerde systemen en het geven van informatie aan de weggebruiker. De verkeersgegevens die hiervoor worden gebruikt bestaan uit reistijdgegevens, informatie uit tellussen van het NDW en Verkeers Regel Installaties (VRI's), informatie over wegwerkzaamheden, evenementen en incidenten. Deze gegevens komen samen bij de Verkeersmanagement Centrale (VMC) van Den Haag, waar vervolgens een beeld van de verkeerssituatie op het hoofdwegennet wordt geschetst en kan worden ingegrepen op de situatie.

## 1.2 Probleembeschrijving

De gemeente Den Haag (Figuur 1.4) verzamelt al jaren data over het wegennetwerk uit databronnen van diverse beheerders. Een eerste uitdaging is echter om overzichtelijke informatie te halen uit de verschillende beschikbare databronnen, waarin verschillende grootheden zijn opgenomen. Daarnaast verschillen de meetinstallaties in databeschikbaarheid. De meetinstallaties zijn namelijk niet allemaal tegelijkertijd in gebruik genomen, maar door de jaren heen zijn er steeds meer bijgekomen. Zo zijn er bijvoorbeeld ook oude typen Verkeersregelininstallaties die wel het verkeer regelen aan de hand van de door lussen gemeten verkeersvraag. Echter wordt deze binnenkomende data bij de oudere versies vervolgens niet opgeslagen. Al deze factoren maken het lastig en tijdrovend om een overzichtelijk beeld te krijgen van de beschikbare data en om deze data te kunnen combineren en te verwerken tot bruikbare informatie.



**Figuur 1.4: Gemeente Den Haag (kaart ondergrond: [3])**

Een tweede uitdaging is dat de gemeente Den Haag een beeld heeft van de reistijden op alleen de hoofdroutes, oftewel het Dynamisch Verkeers Management (DVM) netwerk [3], maar niet op de rest van het Haagse wegennet. Een overzichtskaart van het Dynamisch Verkeers Management van de gemeente Den Haag [3] is weergegeven in Bijlage A. Dit gebrek aan inzicht belemmert het doelgericht toepassen van verkeersmaatregelen. De gemeente zou graag een beter beeld krijgen van de verkeersprestaties van het hele netwerk, zodat ook verkeersstromen op wijkontsluitingswegen beter in kaart kunnen worden gebracht. Informatie over reistijden op tussenliggende routes mist dus nog.

De derde en laatst beschouwde uitdaging is het gebrek aan overzicht over hoe goed het wegennetwerk van Den Haag en verschillende onderdelen hiervan daadwerkelijk presteren in bepaalde situaties. In de praktijk worden er allerlei prestatie-indicatoren gebruikt, maar deze zijn afhankelijk van de beschikbare gegevens en de gewenste grootheden die met de indicator worden weergegeven. Door de vele verschillende actoren die gebruik maken van de indicatoren en hun uiteenlopende doelen en vakhoudelijke kennis is het belangrijk dat een prestatie-indicator eenduidig en eenvoudig te communiceren is. Dit voorkomt namelijk dat de weergegeven verkeerskundige prestatie verkeerd wordt geïnterpreteerd. Het is op dit moment niet duidelijk welke prestatie-indicator het meest geschikt is om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk eenduidig weer te geven.



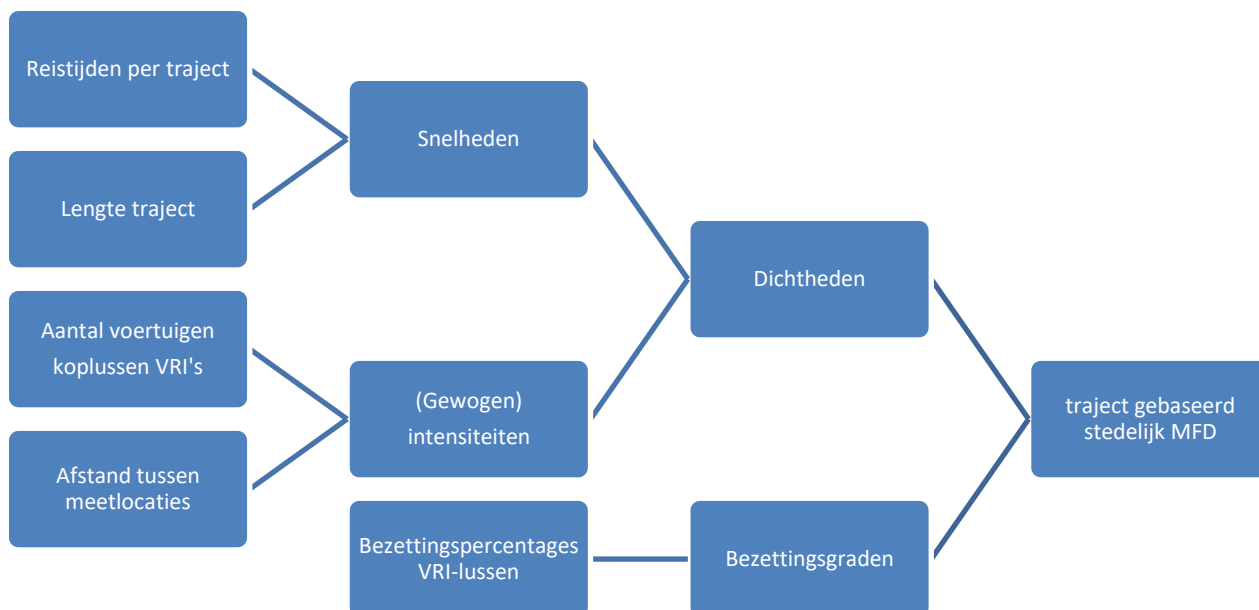
### 1.3 Doel

Uit de probleemstelling is een drietal doelen opgesteld. De eerste is dat data van verschillende databronnen wordt samengevoegd tot bruikbare informatie. Het tweede doel is om hiermee vervolgens een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te ontwikkelen. Het derde doel is om daarna met de beschikbare informatie over de verkeerskundige prestaties van stedelijke wegennetwerken, aan de hand van de wensen en behoeften van de beroepspraktijk, te bepalen welke maatstaf het meest geschikt is om deze prestaties communiceerbaar en eenduidig weer te geven.

Het eerste doel is om stap voor stap de beschikbare data samen te voegen en te verwerken tot bruikbare informatie. Elke stap die hiervoor nodig is wordt beschreven, waardoor zich een stappenplan vormt. Dit stappenplan helpt niet alleen bij het verwerken van data tot bruikbare informatie voor de gemeente Den Haag, maar kan ook worden toegepast op andere stedelijke wegennetwerken met vergelijkbare beschikbare data.

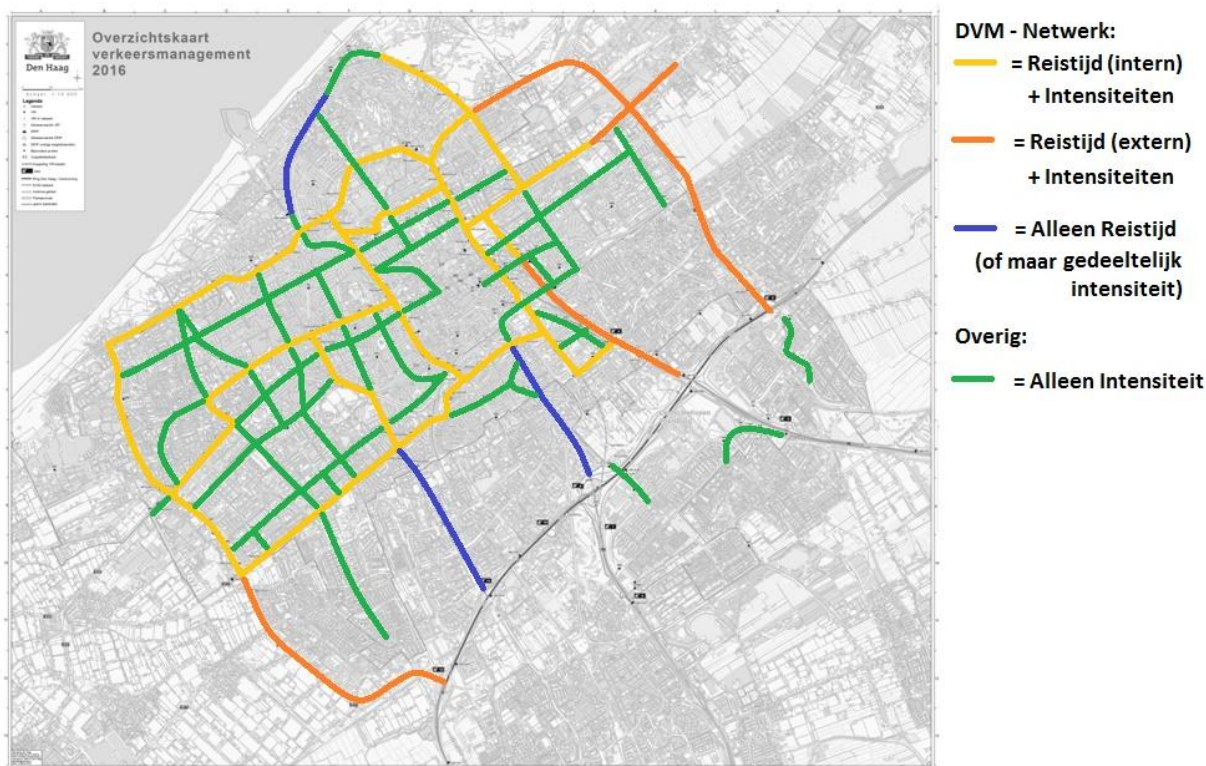
Het tweede doel is het onderzoeken van een methode om met behulp van de beschikbare data een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te ontwikkelen, om de missende informatie over reistijden en/of intensiteiten op tussen het hoofdwegennetwerk liggende trajecten betrouwbaar te kunnen schatten. Het construeren van het op een stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram wordt gedaan door middel van datafusie. Daarmee worden de relaties tussen snelheid, intensiteit en dichtheid als een eigenschap per traject weergegeven. Daarna wordt de relatie toegepast op andere trajecten waarvan minder data van beschikbaar is om missende informatie over intensiteiten en reistijden te schatten.

Aangezien dichtheid niet direct kan worden gemeten [4] moet de datafusie ervoor zorgen dat een goede waarde van de dichtheid kan worden geschat. Snelheden en intensiteiten kunnen wel direct uit de data worden verkregen. Beschikbare data over reistijden per traject en de lengte van dit traject resulteren in gereden snelheden op het traject. Intensiteiten worden bepaald met behulp van het aantal voertuigen dat over de koplussen van de VRI's rijden. Deze koplussen hebben de voorkeur over de andere VRI-lussen aangezien deze korte lussen individuele voertuigen beter kunnen onderscheiden dan langere lussen. Met de afstand tussen de VRI's wordt de intensiteit gewogen over de lengte van het hele (reistijd)traject waarover de gemeten intensiteit geldt. Met de snelheden ( $u$ ) en gewogen intensiteiten ( $q$ ) kan de dichtheid ( $k$ ) op het traject volgens de fundamentele relatie  $q = k * u$  [5] worden geschat. Om deze schatting van de dichtheid uit de verschillende databronnen zo betrouwbaar mogelijk te maken wordt ook gekeken naar de bezettingspercentages van de VRI-meetlussen. De bezettingsgraad van de lussen zegt namelijk ook iets over het aantal voertuigen dat op het traject aanwezig is. De relatie tussen de geschatte dichtheid en de bezettingsgraad van de lussen wordt meegenomen om het traject specifiek stedelijk Macroscopisch Fundamenteel Diagram te ontwikkelen. De hierboven beschreven datafusie-stappen zijn in Figuur 1.5 op de volgende pagina schematisch weergegeven.



**Figuur 1.5: Datafusie voor het ontwikkelen van het op traject gebaseerd stedelijk MFD**

Deze methode, die gebruik maakt van datafusie, zal ook systematisch worden beschreven, zodat deze ook toepasbaar is op andere stedelijke wegennetwerken met vergelijkbare data-inwinning. In onderstaande Figuur 1.6 zijn gele en oranje trajecten aangegeven waarvan zowel informatie over reistijden als over intensiteiten bekend is. Met de ontwikkelde methode zal worden onderzocht of voor de groene trajecten de missende informatie over reistijden betrouwbaar kan worden geschat. Voor de blauwe trajecten wordt onderzocht of missende informatie over intensiteiten betrouwbaar kan worden geschat.



**Figuur 1.6: Overzichtskaart relevante trajecten met bekende reistijden en/of intensiteiten (ondergrond: [3])**



Het derde doel is om vervolgens te bepalen welke maatstaf het meest geschikt is om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk communiceerbaar en eenduidig weer te geven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de informatie over intensiteiten, reistijden en/of dichtheden die verkregen is uit de eerdere uitgewerkte delen van het afstudeeronderzoek. Een onderzoek naar gewenste doelen van verkeerskundige prestatie-indicatoren en de voor- en nadelen van bestaande prestatie-indicatoren moet uitwijzen of een bestaande indicator geschikt is. Het is ook mogelijk dat het onderzoek uitwijst dat een bestaande indicator moet worden aangepast, om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk op een eenduidige manier weer te geven.

Het uiteindelijke doel is hiermee om in een paar stappen tot een beter en completer inzicht te komen van de verkeerskundige prestaties van het wegennetwerk van Den Haag, om deze vervolgens eenduidig weer te kunnen geven en te communiceren.

## 1.4 Onderzoeksvraag

In de vorige paragraaf zijn de doelen dit afstudeeronderzoek al beschreven. Deze paragraaf gaat in op de geformuleerde onderzoeksvragen om deze doelen te kunnen bereiken. Omdat de doelen verschillende onderwerpen aansnijden is ervoor gekozen om twee hoofdonderzoeksvragen te definiëren. De onderzoeksvragen zijn in algemene zin geformuleerd, zodat de antwoorden ook toepasbaar zijn op andere stedelijke wegennetwerken. Het afstudeeronderzoek zal echter toegepast worden op het stedelijk wegennetwerk van de gemeente Den Haag. De eerste hoofdonderzoeksvraag luidt:

### **1. Hoe kan het ontwikkelen van Macroscopische Fundamentele Diagrammen voor specifieke stedelijke trajecten helpen om missende informatie over reistijden en/of intensiteiten op andere trajecten binnen eenzelfde stedelijk wegennetwerk te kunnen schatten?**

Bij deze hoofdonderzoeksvraag zijn de volgende vier deelvragen opgesteld om de hoofdonderzoeksvraag stap voor stap te kunnen beantwoorden:

- 1.1 *Hoe goed kan er een op stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram worden bepaald uit data van intensiteiten, reistijden en bezettingsgraden?*
- 1.2 *Wat is het verband tussen op stedelijk traject gebaseerde Macroscopische Fundamentele Diagrammen van verschillende stedelijke routes binnen eenzelfde netwerk?*
- 1.3 *Welke data-inwinning is nodig om het op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram op andere trajecten te kunnen ontwikkelen?*
- 1.4 *Hoe kan een voor een stedelijk traject specifiek ontwikkeld Macroscopisch Fundamenteel Diagram helpen bij het schatten van de intensiteit of reistijd op dat traject?*

De tweede hoofdonderzoeksvraag om de rest van de geformuleerde doelen te kunnen bereiken luidt als volgt:

### **2. Wat is de meest geschikte maatstaf om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk als geheel en verschillende onderdelen hiervan, op een eenduidige en communiceerbare manier weer te geven?**

Bij hoofdonderzoeksvraag 2. zijn de volgende vier deelvragen opgesteld om deze stap voor stap te kunnen beantwoorden:

- 2.1 *Welke prestatie-indicatoren worden gebruikt om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk en onderdelen hiervan weer te geven?*
- 2.2 *Wat zijn de voor- en nadelen van deze verschillende op een stedelijk wegennetwerk toe te passen prestatie-indicatoren?*
- 2.3 *Hoe sterk wegen de verschillende onderzochte voor- en nadelen van de op een stedelijk wegennetwerk toe te passen prestatie-indicatoren, bij het bepalen van de meest geschikte eenduidige en communiceerbare prestatie-indicator?*
- 2.4 *Wat is de meest geschikte bekende eenduidige prestatie-indicator en (hoe) zou deze nog verbeterd kunnen worden?*

## 1.5 Leeswijzer

In dit eerste hoofdstuk is de aanleiding van dit afstudeeronderzoek beschreven. Niet alleen het probleem is uitgelegd, maar ook de bijbehorende gestelde doelen zijn omschreven. Om deze doelen te bereiken zijn vervolgens twee hoofdonderzoeksvragen en bijbehorende deelonderzoeksvragen geformuleerd. Hierbij was het uiteindelijke doel om tot een beter en completer inzicht te komen van de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk, om deze vervolgens eenduidig weer te kunnen geven en te communiceren.

Hoofdstuk twee geeft een literaturomkadering voor de beide hoofdonderzoeksvragen. Vervolgens richten hoofdstuk drie tot en met negen zich op het beantwoorden van de deelvragen van de eerste hoofdonderzoeksvraag. Daarna gaan hoofdstuk tien tot en met zestien in op de beantwoording van de deelvragen van de tweede hoofdonderzoeksvraag. Hieronder is beschreven welke onderdelen van het onderzoek in de hoofdstukken drie tot en met zestien zijn opgenomen. Hierbij worden in hoofdstuk negen de antwoorden gegeven op de deelonderzoeksvragen van de eerste hoofdonderzoeksvraag. De deelvragen van de tweede hoofdonderzoeksvraag worden beantwoord in hoofdstuk zestien. Ook is in beide hoofdstukken een paragraaf besteed aan een aantal discussiepunten en perspectieven die uit de resultaten van de betreffende hoofdonderzoeksvraag naar voren kwamen. Tenslotte wordt er in hoofdstuk zeventien de hoofdconclusie gegeven op de beide hoofdonderzoeksvragen en het uiteindelijke doel. Daarna worden een aantal mogelijke perspectieven door de resultaten van het onderzoek nog verder uitgewerkt voor de wetenschap en voor de praktijk. Op pagina 34 is in Figuur 1.7 deze structuur van het afstudeeronderzoek grafisch weergegeven

Het tweede hoofdstuk gaat in op hoe de huidige inzichten van de wetenschap kunnen helpen om de geformuleerde twee onderzoeksvragen te beantwoorden. Hierbij wordt gestart met de literaturomkadering van de eerste hoofdonderzoeksvraag. Deze begint in de eerste paragraaf met een deel verkeersstroom theorie, waarin een introductie wordt gegeven op het Fundamenteel Diagram, waarna dieper wordt ingegaan op het Macroscopisch Fundamenteel Diagram en uiteindelijk ook het Macroscopisch Fundamenteel Diagram voor stedelijke trajecten. De tweede paragraaf haalt verschillende onderzoeken aan waarin vergelijkbare data is gebruikt. Niet alleen de aanpak van deze onderzoeken wordt belicht, maar ook de onderdelen waar tijdens dit onderzoek extra aandacht aan besteed moet worden. De derde paragraaf beschrijft vervolgens de literaturomkadering van de tweede hoofdonderzoeksvraag, waarin wordt beschreven welke verkeersprestaties van wegennetwerken in de literatuur worden gebruikt.

Het derde hoofdstuk beschrijft welke databronnen bij het onderzoek zijn gebruikt. Ook is hierin uitgelegd welke informatie uit deze databronnen zowel te halen is. Dit is in de eerste paragraaf gedaan voor de NDW als databron en vervolgens in paragraaf twee voor de V-log data. De laatste paragraaf van dit hoofdstuk geeft de onderbouwing voor het kiezen van de aggregatieperiode voor het verwerken van de data.

Vervolgens behandelt hoofdstuk vier hoe de voor het onderzoek relevante data uit de databronnen is verzameld en bewerkt tot bruikbare informatie. De eerste paragraaf geeft de definitie van een traject, zoals deze wordt gebruikt voor het onderzoek. Daarna wordt in de daarop volgende drie paragrafen uitgelegd hoe de informatie over respectievelijk reistijden, intensiteiten en bezettingsgraden uit de data is gehaald.

Hierna wordt in hoofdstuk vijf beschreven welke stappen er moeten worden genomen om de informatie uit de verschillende databronnen te combineren, om daar vervolgens nieuwe informatie uit te kunnen halen. De eerste paragraaf geeft het datafusieschema, waarin de verschillende datafusiestappen te zien zijn. Daarna worden in paragraaf twee en drie de twee verschillende datafusiemethodes toegepast om tot de drie fundamentele grootheden te komen. Paragraaf vier zal daarna de beide methodes met elkaar vergelijken en evalueren.

Hoofdstuk zes behandelt de methode om de relatie tussen de grootheden te vinden, die de uit de data gegenereerde informatie het beste beschrijft. In paragraaf twee worden daarbij verschillende functievormen meegenomen, waarna in paragraaf drie de beste functievorm zal worden toegepast op de onderzochte trajecten. Vervolgens worden in paragraaf vier de trajecten met overeenkomende eigenschappen geclusterd. Voor elk van de resulterende clusters wordt in de vijfde paragraaf vervolgens een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram gedefinieerd. Tenslotte volgt in de laatste paragraaf van hoofdstuk zes nog een evaluatie hoe goed de clusters de daadwerkelijke situatie weergeven.

In het zevende hoofdstuk worden de ontwikkelde traject gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen gevalideerd. De MFD's worden toegepast op andere trajecten, waarop al eerder ook datafusie is toegepast. Aan de hand daarvan worden conclusies getrokken hoe representatief de traject specifieke als ook de op cluster gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen zijn voor het beschrijven van de gefuseerde data.

Het achtste hoofdstuk focust zich meer op de praktische toepassing van de ontwikkelde op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen. De eerste paragraaf geeft een beschrijving van welke karaktereigenschappen er bij elk cluster-MFD horen. Op basis daarvan kan een ander te onderzoeken traject worden ingedeeld onder één van de vier clusters. Nadat daarmee de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid voor het traject bekend is, gaat paragraaf twee vervolgens in op hoe de intensiteit aan de hand van de MFD's wordt geschat bij bekende reistijden. Ook wordt besproken hoe goed deze schattingen dan zijn. Daarna wordt in de derde paragraaf aan de hand van de MFD's en bekende intensiteiten een inschatting gedaan van de snelheden. Hoe goed deze schattingen zijn wordt ook weer aangegeven. Daarna worden de reistijdschattingen omgezet in reistijdschattingen. Ook daarvan wordt aangegeven hoe goed deze schattingen zijn. In de laatste paragraaf van hoofdstuk acht worden conclusies getrokken hoe goed de ontwikkelde MFD's toepasbaar zijn op andere trajecten bij het schatten van intensiteiten en reistijden.

In hoofdstuk negen worden de in paragraaf 1.4 geformuleerde deelonderzoeksvragen van de eerste hoofdonderzoeksvraag beantwoord. Deze antwoorden volgen uit de conclusies die tijdens het in de eerste acht hoofdstukken beschreven onderzoek zijn getrokken. In de tweede paragraaf worden vervolgens een aantal aannames en bevindingen, die tijdens het eerste deel van het onderzoek naar voren kwamen, ter discussie gesteld.

Na de deelonderzoeksvragen van de eerste hoofdonderzoeksvraag te hebben beantwoord, wordt in het tiende hoofdstuk uitgelegd hoe de antwoorden op de deelvragen van de tweede hoofdonderzoeksvraag worden verkregen. De eerste paragraaf wordt eerst het huidige gebruik van prestatie-indicatoren weergegeven na een aanvullend literatuuronderzoek naar de prestatie-indicator. Daarna volgt in de tweede paragraaf een beschrijving van de aanpak, om in vijf stappen tot de ontwikkeling van twee toetsingsmethodes voor verkeerskundige prestatie-indicatoren te komen. In paragraaf drie worden deze twee toetsingsmethodes vervolgens uitgelegd om uiteindelijk de gedurende het onderzoek gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren te toetsen.

In hoofdstuk elf wordt de eerste grote stap van de ontwikkeling van de toetsingsmethodes gezet, namelijk het aanvullend literatuuronderzoek. Er wordt beschreven hoe de prestatie-indicatoren in de literatuur zijn beschreven. In de eerste paragraaf gaat het vooral om wat de indicatoren aangeven en welke indicatoren er binnen de context van de tweede hoofdonderzoeksvraag zoal worden gebruikt. Vervolgens beschrijft de tweede paragraaf welke eigenschappen de verkeerskundige prestatie-indicatoren hebben en hoe deze zijn te vertalen naar criteria voor de toetsingsmethodes.

De tweede grote stap van de ontwikkeling van de toetsingsmethodes wordt in hoofdstuk twaalf beschreven. Hierin worden de uit de literatuurstudie gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren getoetst op relevantie, begrijpbaarheid en compleetheid. In de eerste paragraaf van het hoofdstuk wordt beschreven wie er geïnterviewd zijn en welke vragen er aan deze personen zijn gesteld. De tweede paragraaf zal vervolgens ingaan op de overkoepelende antwoorden en bevindingen die uit de interviews naar voren kwamen.

In de ontwikkeling van de toetsingsmethodes voor verkeerskundige prestatie-indicatoren vormt hoofdstuk dertien de derde grote stap. Met de input van het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews is een enquête ontwikkeld. De eerste paragraaf van dit hoofdstuk gaat in op hoe deze enquête is opgezet. Ook wordt in deze paragraaf beschreven naar welke partijen de enquête is verstuurd. De tweede paragraaf geeft een overzicht van de in de enquête getoetste criteria.

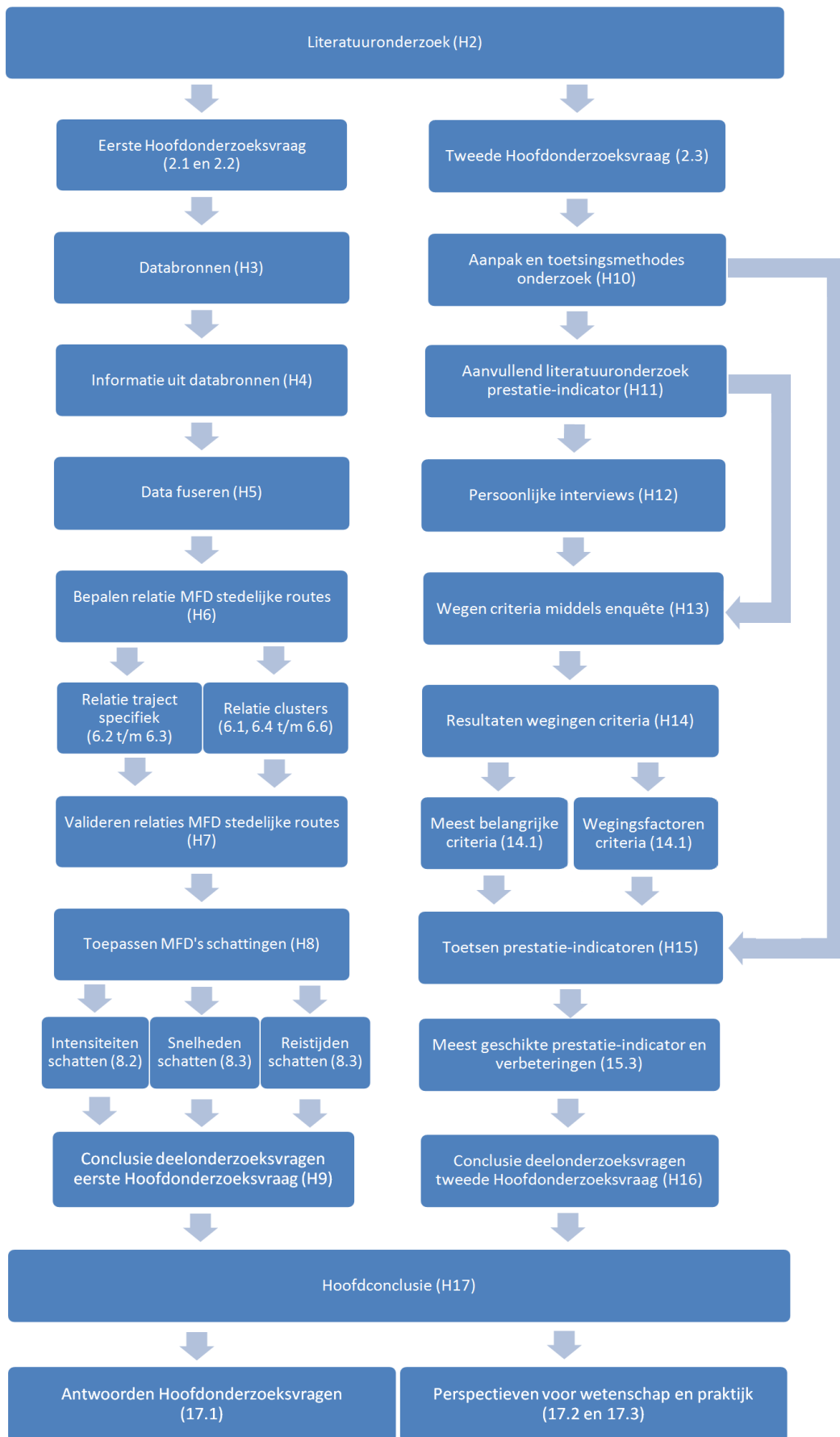
Vervolgens wordt in hoofdstuk veertien de vierde grote stap gezet in de ontwikkeling van de toetsingsmethodes. In dit hoofdstuk volgt uit de resultaten van de online enquête een waardering voor de criteria. In de eerste paragraaf wordt voor de zes benaderde deelnemersgroepen per groep de top 5 meest belangrijke criteria gegeven. Deze vijftallen van criteria vormen een ranglijst van criteria, die door de beroepspraktijk als meest belangrijk worden ervaren. In de tweede paragraaf worden de wegingsfactoren bepaald voor alle criteria. In dit gedeelte wordt ook de ranglijst van meest belangrijke criteria vergeleken met de ranglijst van de wegingsfactoren van de criteria.

Hoofdstuk vijftien vormt de laatste stap om de verkeerskundige prestatie-indicatoren te toetsen. In dit hoofdstuk worden de twee ontwikkelde toetsingsmethodes toegepast op de tijdens het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren. In de eerste paragraaf worden deze indicatoren getoetst op basis van de wegingsfactoren van zowel de afzonderlijke deelnemersgroepen als voor de totale beroepspraktijk. In de tweede paragraaf wordt de toetsing beschreven op basis van de ranglijst van de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria. De laatste paragraaf gaat in op welke indicator over beide toegepaste toetsingsmethoden de meest geschikte is en wat er nog aan de indicator verbeterd kan worden.

In hoofdstuk zestien worden de in paragraaf 1.4 geformuleerde deelonderzoeksvragen van de tweede hoofdonderzoeksvraag beantwoord. Deze antwoorden volgen uit de ontwikkelingen van de twee in hoofdstuk tien tot en met vijftien beschreven toetsingsmethodes. In de tweede paragraaf van dit hoofdstuk worden vervolgens een aantal bevindingen ter discussie gesteld, die tijdens het tweede deel van het onderzoek naar voren kwamen.

Tenslotte worden in hoofdstuk zeventien de hoofdconclusies van dit afstudeeronderzoek beschreven. In de eerste paragraaf worden eerste beide hoofdonderzoeksvragen beantwoord. Ook een algemene conclusie is hierin opgenomen. Daarna worden de mogelijke perspectieven door de resultaten van het onderzoek besproken. In de tweede paragraaf zijn de perspectieven voor de wetenschap beschreven. In de derde paragraaf is dit gedaan voor de praktijk.

Op de volgende pagina is in Figuur 1.7 de structuur van het afstudeeronderzoek grafisch weergegeven.



**Figuur 1.7: Grafische weergave structuur afstudeeronderzoek**

## 2. Literaturomkadering

Dit hoofdstuk gaat in op hoe de huidige inzichten van de wetenschap kunnen helpen om de geformuleerde onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. Hierbij wordt gestart met een deel verkeersstroom theorie, waarin een introductie wordt gegeven op het Fundamenteel Diagram, waarna dieper wordt ingegaan op het Macroscopisch Fundamenteel Diagram. In de tweede paragraaf komt het fuseren van data aan bod en welke problemen dit met zich meebrengt. Ten slotte volgt een omkadering van het monitoren van verkeersprestaties.

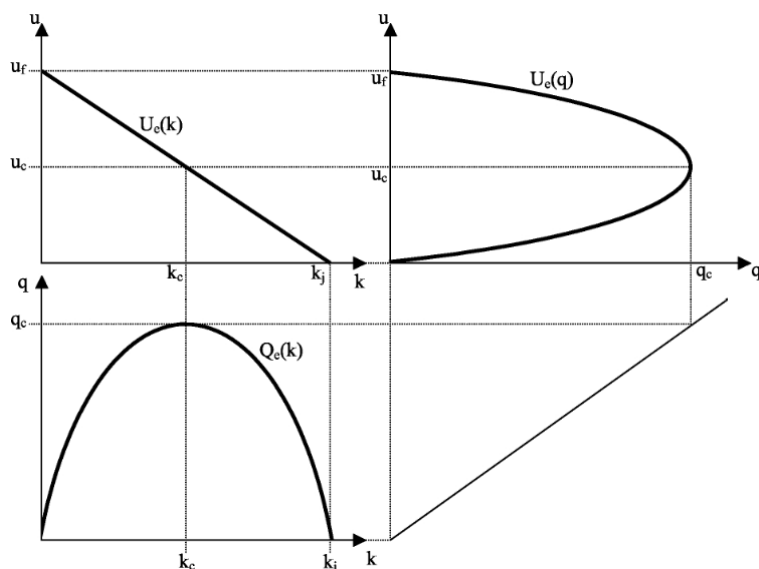
### 2.1 Theoretische beschrijving MFD voor stedelijke trajecten

Dit onderzoek maakt gebruik van de kennis over verkeersstroom theorie. In het speciaal de onderzoeken naar het Fundamenteel Diagram, het Macroscopisch Fundamenteel Diagram en het Macroscopisch Fundamenteel Diagram op basis van stedelijke trajecten. Voor het onderzoek is het vooral van belang om te weten welke informatie nodig is om een op stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te kunnen ontwikkelen. Een stuk achtergrondinformatie is daarom noodzakelijk.

#### *Het Fundamenteel Diagram*

Greenshields wordt gezien als de grondlegger van de principes van het Fundamenteel Diagram [5]. Dit Fundamenteel Diagram heeft drie verschijningsvormen (zie Figuur 2.1) waarin telkens de relatie tussen twee van de drie volgende grootheden uit wordt gezet: intensiteit "q" [aantal voertuigen per uur], dichtheid "k" [aantal voertuigen per kilometer] en snelheid van voertuigen "u" [kilometer per uur]. De relatie tussen snelheid (u) en dichtheid (k) werd door Greenshields aangenomen als lineair, waardoor de andere twee relaties een parabolische vorm hebben. In het geval van een homogene en stationaire verkeersstroom geldt de volgende fundamentele relatie waaruit de drie verschijningsvormen af te leiden zijn:

$$q = k * u \quad \text{Formule 2.1}$$



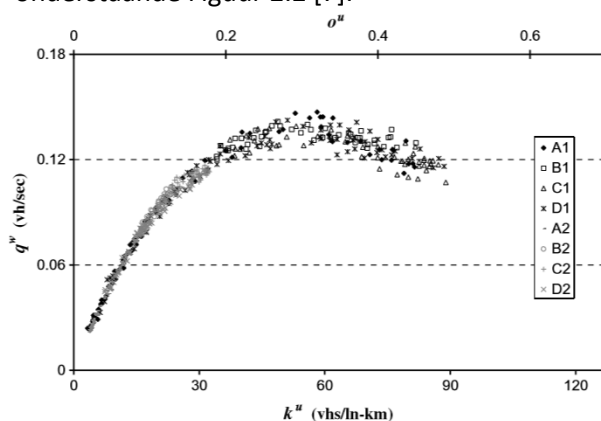
Figuur 2.1: Fundamentele relaties [6]

In deze verschijningsvormen zijn ook de capaciteitswaarden  $q_c$ ,  $k_c$  en  $u_c$  van het wegvak en de maximale dichtheid (filedichtheid)  $k_j$  af te lezen. De meest voorkomende verschijningsvorm is de relatie tussen intensiteit (q) en dichtheid (k).

De Fundamentele Diagrammen relateren dus steeds twee van de drie grootheden aan elkaar, waarmee de derde volgens Formule 2.1 kan worden berekend. Bij het ontwikkelen van het op stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram is het dus nodig dat ten minste twee van deze drie grootheden bekend zijn. Vervolgens kan met de twee bekende grootheden de derde worden uitgerekend volgens de door Greenshields ontwikkelde relatie. Deze relatie is echter gebaseerd op een snelweg en niet op een stedelijk wegvak, waar meer complicerende factoren zoals verkeerslichten, voetgangersoversteken en kruisende openbaar vervoersstromen voorkomen. Aangezien dit afstudeeronderzoek zich richt op stedelijke trajecten wordt er hieronder ingegaan op het Macroscopisch Fundamenteel Diagram, dat wel is gebaseerd op stedelijke (delen van) netwerken.

### Macroscopisch Fundamenteel Diagram

Geroliminis en Daganzo ontwikkelden het Fundamenteel Diagram verder door tot op een hoger schaalniveau. Dit Macroscopisch Fundamenteel Diagram beschrijft de relatie tussen intensiteiten en dichtheden van voertuigen in hele zones of zelfs in een heel wegennetwerk. Dit gebeurt volgens de grootheden Productie (voertuigen/uur/rijstrook) en Accumulatie (voertuigen/kilometer/rijstrook), zie onderstaande Figuur 2.2 [7].



Figuur 2.2: Macroscopisch Fundamenteel Diagram [7]

In deze relatie is ook te zien dat gewogen bezettingsgraden zijn meegenomen op de as aan de bovenzijde. Dit betekent dat er ook een verband bestaat tussen de bezettingsgraad en de dichtheid. In Geroliminis en Daganzo [7] wordt deze relatie met de dichtheid op een detectielocatie beschreven met onderstaande Formule 2.2. Hierbij stelt de bezettingsgraad een bezettingsgraad van een lus voor alsof deze oneindig klein is.

$$k_i = o_i / s \quad \text{Formule 2.2}$$

Hier is  $k$  de dichtheid op locatie  $i$ ,  $o$  de bezettingsgraad op locatie  $i$  en  $s$  de gemiddelde lengte van een voertuig (hier aangenomen rond de 5.5 meter volgens Geroliminis en Daganzo [7]). Om iets te zeggen over de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid op het schaalniveau van een netwerk worden de verschillende meetpunten gewogen naar over welk gedeelte van het netwerk waar het betreffende meetpunt iets van zegt. De gewogen intensiteit wordt bijvoorbeeld op de volgende manier berekend:

$$q^w = \sum_i q_i l_i / \sum_i l_i \quad \text{Formule 2.3}$$

En voor gewogen bezettingsgraad en dichtheid geldt:

$$o^w = k^w s = \sum_i o_i l_i / \sum_i l_i \quad \text{Formule 2.4}$$

De relaties van het MFD worden veelvuldig gebruikt om de fundamentele eigenschappen te beschrijven op ringwegen van autosnelwegen om steden [8], zones, hele gedeelten van netwerken of zelfs gehele netwerken [9]. Echter wordt dit een stuk minder toegepast op trajectbasis in stedelijke netwerken. Waarom dit is wordt hieronder verder op ingegaan.



### *Macroscopisch Fundamenteel Diagram voor stedelijke trajecten*

Het Macroscopisch Fundamenteel Diagram wordt gebruikt om de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid voor een heel netwerk of een gedeelte hiervan te beschrijven. Het gaat hier zoals vermeld om hele ringwegen, zones of hele netwerken en niet zozeer voor een traject door een stad. Het Fundamenteel Diagram beschrijft deze relatie juist wel op trajectniveau, maar voor de fundamentele eigenschappen van een snelweg. Hiermee zit het op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram in feiten tussen een Macroscopisch Fundamenteel Diagram en een Fundamenteel Diagram in.

Er zijn wel papers geschreven over dit onderwerp. Zo stelt Brockfeld et al. [4] bijvoorbeeld de vraag of een Fundamenteel Diagram op stedelijke trajecten wel bestaat. Doordat een stedelijke route zoveel complexer is dan een wegvak op een snelweg wordt de toepassing van een Fundamenteel Diagram op een route door de stad in twijfel getrokken. Complicerende factoren zijn bijvoorbeeld kruispunten die al dan niet geregeld worden door middel van een VRI, zijstraten, voorrangssituaties, lagere maximum snelheden, het aantal wisselingen van rijstrook bij bijvoorbeeld voorsorteren en bundeling met fietsers, voetgangers en openbaar vervoer. Al deze factoren hebben invloed op het rijgedrag van de bestuurders en daarmee op de capaciteit van het wegvak. De vraag is of deze factoren enigszins terug te zien zijn in het MFD voor stedelijke trajecten en of deze complicerende factoren de spreiding van de datapunten niet zo groot maken dat er misschien niet eens meer een duidelijke relatie te bekennen is?

Daarnaast worden kruispunten gezien als typische bottleneck locaties in een netwerk [10], dus de vraag is in hoeverre fundamentele relaties nog gelden als er één of meerdere kruispunten aanwezig zijn op een traject? Ondanks deze vragen zijn er wel onderzoeken te vinden over methodes om een stedelijk Fundamenteel Diagram te ontwikkelen. Voorbeelden hiervan zijn Gartner en Wagner [11] en Wagner et al. [12]. Het onderwerp wordt hierbij echter vooral behandeld door middel van modellen en maar in mindere maten in de praktijk.

Hiermee is duidelijk dat twee van de drie grootheden intensiteit, dichtheid en/of snelheid bekend moeten zijn om het op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram te kunnen ontwikkelen. Daarbij kan de dichtheid niet direct worden gemeten. Om tot informatie over de dichtheid te komen moet de bezettingsgraad (Formule 2.4) worden gebruikt of de relatie van Greenshields (Formule 2.1, waarbij de andere twee grootheden dus bekend moeten zijn).

## 2.2 Definiëren en valideren MFD voor stedelijke trajecten

De vraag is nu welke informatie binnen de gemeente Den Haag beschikbaar is om tot de grootheden van de fundamentele grootheden te komen. Deze paragraaf gaat in op hoe andere onderzoeken, met vergelijkbare beschikbare databronnen deze informatie verzameld hebben. Vervolgens wordt bekeken welke eisen er in andere onderzoeken worden gesteld om de relatie, die het op stedelijk traject gebaseerde MFD beschrijft, te kunnen definiëren en valideren.

### *In onderzoeken gebruikte databronnen*

In Knoop en Hoogendoorn [8] worden detectielussen gebruikt om lokaal intensiteiten en snelheden te meten. De data van meerdere detectielussen wordt vervolgens gecombineerd en gewogen over het wegvak waar de data betrekking op heeft. Daarna worden de gewogen intensiteiten met de snelheden gefuseerd door middel van de fundamentele relatie om een Macroscopisch Fundamenteel Diagram voor stedelijke snelwegen te ontwikkelen. In deze methode wordt de dichtheid van de fundamentele relatie dus gehaald uit de twee andere grootheden. Deze methode is relevant voor Den Haag, aangezien er daar ook detectielussen aanwezig zijn om intensiteiten te meten en reistijdcamera's gecombineerd met de lengte van het traject om snelheden uit af te leiden.

In Eelco [13] worden zelfs drie databronnen gebruikt om data te fuseren. Vooral de in het onderzoek beschreven detectielussen op stedelijke hoofdwegen zijn een relevante databron om te bekijken aangezien deze ook aanwezig zijn in Den Haag. In Eelco [13] worden de detectielussen gebruikt om intensiteiten en bezettingsgraden te meten. Aan de hand van de bezettingsgraden kan vervolgens een dichtheid worden afgeleid met (Formule 2.4) uit paragraaf 2.1. In het onderzoek wordt wel aangegeven dat de locatie van de detectielussen van invloed is bij het bepalen van de intensiteit en bezettingsgraad, aangezien de lussen voertuigen kunnen missen of dubbel kunnen tellen. De vraag is dus welke soorten detectielussen met bijbehorende locatie er in Den Haag zijn en welke van deze lussen het meest geschikt zijn om intensiteiten dan wel de bezettingsgraad te meten. Dit zal tijdens het onderzoek worden uitgezocht. Ook moet worden onderzocht of de dichtheid beter kan worden afgeleid uit intensiteiten en snelheden zoals gedaan is in Knoop en Hoogendoorn [8] of dat deze beter kan worden afgeleid uit de bezettingsgraden als in Eelco [13].

### *Functievorm*

De relatie tussen twee van de drie grootheden wordt beschreven door een functie in de vorm van een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram. Het is belangrijk om af te vragen welke functievorm dan het beste kan worden toegepast. In de literatuur zijn namelijk meerdere functies te vinden, die allemaal de fundamentele relatie op hun eigen manier met een karakteristieke vorm beschrijven [14]. Een veel gebruikte manier om dit te doen is de derdegraads polynoom zoals weergegeven in Formule 2.5 hieronder.

$$P(A) = A(c_1 + c_2A + c_3A^2) \quad \text{Formule 2.5}$$

Zo wordt in Tsubota et al. [9] de relatie tussen Productie en Accumulatie beschreven met een derdegraads polynoom. De reden hiervoor was dat de vorm zo simpel mogelijk moest worden gekozen. Als een polynoom van een tweede orde wordt gebruikt betekent dit dat de waarde van de kritische Accumulatie (Accumulatie bij een maximum Productie) de helft is van de waarde van de maximum te bereiken Accumulatie als het verkeer totaal is vastgelopen. De waarde van de kritische Accumulatie is echter over het algemeen minder dan de helft van de waarde van de maximum te bereiken Accumulatie. Dit komt doordat de Productie op de vrije-doorstrooms-tak van het Fundamenteel Diagram harder stijgt bij eenzelfde toename van de Accumulatie als dat de Productie op de congestie-tak afneemt bij eenzelfde toename van de Accumulatie. Daarmee loopt de stijgende vrije-doorstrooms-tak stijler dan de afnemende congestie-tak, zoals ook te zien is in de verschillende verschijningsvormen van het Fundamenteel Diagram uit Knoop en Daamen [14]. Om de functie toch zo eenvoudig mogelijk te houden is voor een polynome functie van een orde groter gekozen.

Echter stelt Mermygka [15] dat deze derdegraads polynoom een nadeel heeft. Deze functie zal een groot deel van de data goed kunnen volgen, maar uiteindelijk buigt de derdegraads functie naar boven, waar het Fundamenteel Diagram terug zou moeten buigen richting een punt waar de kritische dichtheid is bereikt en de intensiteit weer nul is. Daarmee reist de vraag aan welke voorwaarde de functie dan moet voldoen om de vorm helemaal te volgen. Op basis van Mermygka [15] zijn de volgende drie voorwaarden opgesteld:

1. De functie moet een concave vorm beschrijven, om zowel de vrije-doorstrooms-tak als de congestie-tak van het Fundamenteel Diagram te kunnen volgen. De vrije-doorstrooms-tak stijgt namelijk sneller bij eenzelfde toename van de dichtheid als dat de congestie-tak afneemt bij eenzelfde toename van de dichtheid. De functie moet met de congestie-tak weer terugbuigen naar een waarde van de kritische dichtheid waar de intensiteit weer nul is. De kritische dichtheid wordt gedefinieerd als het maximum aantal voertuigen dat op het wegvak past, waarin er dusdanig veel voertuigen op het wegvak staan dat ze allemaal stilstaan.
2. De intensiteit moet nul zijn als de dichtheid nul is en andersom.
3. De afgeleide in de oorsprong (zowel intensiteit als dichtheid zijn nul) stelt de vrijedoorstrooms-snelheid voor.

Aan de hand van deze voorwaarden zal in paragraaf 6.3 worden onderzocht hoe goed een derdegraads polynoom fungeert als Macroscopisch Fundamenteel Diagram en of een andere functievorm niet meer geschikt is.

### *Fitten van de lijn*

Het toepassen van de functievormen gebeurt door middel van het fitten van de functies. Dit gebeurt door het optimaliseren van de coëfficiënten  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  zodat de functievorm de data zo optimaal mogelijk volgt. Een veel gebruikte indicator om te bepalen hoe goed een functie de data volgt is de Root Mean Square Error [13]. Deze methode kwadrateert het verschil tussen de echte waarde uit de data  $y$  en de door de gekozen functie beschreven  $\hat{y}$  voor elk datapunt. Het kwadraat wordt genomen om negatieve waarden van de fout te voorkomen, het gaat dus om het absolute verschil tussen de echte waarden en de functiewaarde. Vervolgens wordt de gemiddelde fout genomen over alle datapunten en daarover wordt de wortel genomen om het gekwadrateerde verschil op te heffen. Het resultaat is een standaard deviatie van de gemiddelde absolute fout van de datapunten ten opzichte van de functie. De formule om dit te berekenen is weergegeven in Formule 2.6.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad \text{Formule 2.6}$$

Waarin  $N$  het aantal datapunten is,  $\hat{y}$  de functiewaarde en  $y$  de waarde uit de data. Hoe beter de formule de data beschrijft, hoe kleiner de fout is en dus hoe kleiner de RMSE-waarde is. Door dit uit te rekenen voor elke onderzochte functievorm wijst uit welk van de functies de data het best beschrijft. Ook de fout van intensiteit- en reistijdschattingen wordt met deze formule uitgerekend.

### *Valideren functie*

Om te bepalen of de gekozen functievorm niet alleen toepasbaar is op de trajecten waarvoor de functie ontwikkeld is, moet de functie ook toegepast worden op een aantal 'validatietrajecten'. Zo wordt de functie ontwikkeld aan de hand van een deel van de DVM-trajecten, die 'functietrajecten' zullen worden genoemd. Het andere gedeelte van de DVM-trajecten wordt gebruikt om de ontwikkelde functie op toe te passen. Vervolgens kunnen de RMSE-waarden van de verschillende functietrajecten en validatietrajecten worden vergeleken om te bepalen of de functie ook toepasbaar is op andere trajecten binnen het netwerk. Bij de keuze welke trajecten gebruikt worden voor het beschrijven van de functie is het belangrijk dat trajecten verspreid over heel het netwerk liggen met verschillende eigenschappen zoals functie binnen het netwerk, trajectlengte, aantal VRI's en de maximum snelheid. Hoe beter dit gebeurt, des te representatiever de functietrajecten zijn voor alle trajecten binnen het netwerk.

## 2.3 Het uitdrukken van prestaties wegennetwerken

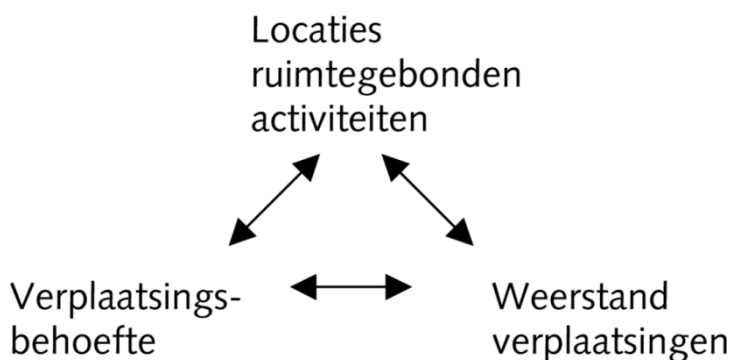
De prestaties van een wegennetwerk worden op vele manieren uitgedrukt door verschillende partijen die met het beleid, ontwerp, advies, management, beheer en onderhoud op het gebied van verkeer bezig zijn. Deze diversiteit aan gebruikte prestatie-indicatoren komt doordat deze afhankelijk zijn van de verschillende doeleinden van de indicatoren [16]. Ondanks de verschillende doeleinden geven de indicatoren allemaal toch een bepaalde mate van de prestaties van een wegennetwerk weer. Een bepaalde mate van Mobiliteit of Bereikbaarheid zijn de meest gebruikte overkoepelende termen die deze prestaties uitdrukken. Echter zijn er ook vele definities van deze termen te vinden en aan welke eigenschappen deze termen zouden moeten voldoen is ook per situatie verschillend. Zo onderscheidt Hoogendoorn-Lanser et al. [17] een aantal families van bereikbaarheidsindicatoren, die ieder hun eigen eigenschappen hebben om de kwaliteit van de bereikbaarheid op een bepaalde manier uit te drukken. Het is dus de vraag wat de doelen van de prestatie-indicatoren zijn en aan welke eigenschappen de indicatoren moeten voldoen om de prestaties van een wegennetwerk eenduidig weer te kunnen geven. Daarom wordt hieronder beschreven wat de termen Mobiliteit en Bereikbaarheid over het algemeen volgens de literatuur laten zien. Daarna wordt beschreven op welke manier er kan worden onderzocht aan welke eigenschappen een verkeerskundige prestatie-indicator zou moeten voldoen.

### Mobiliteit

Mobiliteit is de eerste van twee in de literatuur veel voorkomende termen om de prestaties van een wegennetwerk weer te geven. De definitie van Mobiliteit wordt in Van der Loop [16] geformuleerd als:

*“Alle vervoer van personen en goederen van herkomst naar bestemming, waarbij gebruik gemaakt wordt van de openbare ruimte”.*

Binnen deze definitie zit een drietal factoren die elkaar onderling beïnvloeden, zoals weergegeven in onderstaande Figuur 2.3.

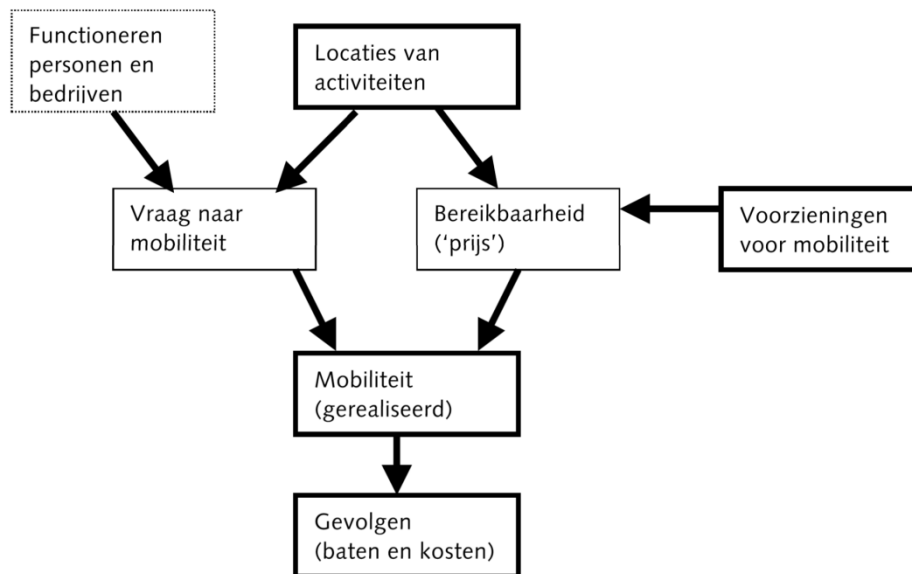


Figuur 2.3: Drie factoren van Mobiliteit [16]

Zo omvat de factor ‘verplaatsingsbehoefte’ het gedeelte van de definitie over al het vervoer van personen en goederen. De factor ‘locaties ruimtegebonden activiteiten’ beschrijft de interactie tussen herkomst en bestemming. De derde factor ‘weerstand verplaatsingen’ geeft de hoeveelheid moeite, tijd en geld aan die het kost om gebruik te maken van de openbare ruimte. De interactie tussen deze drie begrippen zorgt uiteindelijk voor een hoeveelheid vervoer tussen locaties, die de mate van Mobiliteit weergeeft.

Het is lastig om de exacte onderlinge invloed van de drie factoren van Mobiliteit te benoemen. Daarnaast kunnen de drie componenten op verschillende manieren worden geïnterpreteerd en vervolgens dus ook in verschillende grootheden worden berekend en uitgedrukt. Dit maakt het complex om Mobiliteit uit te drukken in een bepaalde eenduidig waarde.

Hoe de term Mobiliteit zich volgens Van der Loop [16] ten opzichte van Bereikbaarheid verhoudt, is weergegeven in onderstaande Figuur 2.4:



Figuur 2.4: Mobiliteit en Bereikbaarheid ten opzichte van elkaar [16]

Hier zijn ook de drie factoren van Mobiliteit in terug te vinden. Zo komt de verplaatsingsbehoefte terug in de vraag naar mobiliteit, de locaties ruimtegebonden activiteiten komen terug in locaties en activiteiten en weerstand verplaatsingen komt terug in bereikbaarheid ('prijs').

### Bereikbaarheid

Volgens bovenstaande Figuur 2.4 is Bereikbaarheid een term die afhankelijk is van infrastructurele voorzieningen, activiteiten, de locaties van deze activiteiten waarmee uiteindelijk wordt uitgedrukt wat de weerstand ('prijs') is om via de voorzieningen op de locatie van de activiteit te komen. Overeenkomend met deze eigenschappen luidt de definitie van Bereikbaarheid volgens Hakkesteege [18].

*"Het aantal activiteitsruimten dat binnen acceptabele reisweerstand bereikt kan worden"*

Binnen deze definitie staan wederom de factoren ruimtegebonden activiteiten en weerstand van verplaatsing centraal. Echter stelt Meijers [19] dat bereikbaarheid een breed begrip is dat vanuit diverse perspectieven kan worden bekeken. Zo kan bereikbaarheid van een individu worden bepaald, maar ook vanuit activiteiten, locaties of vanuit verschillende vervoerswijzen. Het perspectief speelt een grote rol bij het bepalen vanuit welke invalshoek er naar Bereikbaarheid gekeken wordt en met welke indicator de Bereikbaarheid wordt uitgedrukt. Zo heeft Wortelboer-van Donselaar et al. [20] weer een andere verdeling van invalshoeken om de Bereikbaarheid uit te drukken in een aantal groepen van indicatoren. Namelijk de infrastructuur gerelateerde indicator, de aan activiteiten gerelateerde indicator, de indicatoren die relateren aan de weerstand in tijd en ruimte om een verplaatsing te maken en de op (transport gerelateerde) nut gebaseerde indicatoren.

Niet alleen het perspectief, maar ook het doel, de wetenschappelijke kwaliteit, de operationaliseerbaarheid en de communiceerbaarheid bepalen volgens Van Wee en Annema [21] voor een gedeelte welke definitie en welke indicator gebruikt wordt om Bereikbaarheid uit te drukken. Naast Mobiliteit is dus ook Bereikbaarheid een complex begrip om uit te drukken in een bepaalde eenduidige waarde.

### *Beoordelen prestatie-indicatoren*

Ondanks dat Mobiliteit en Bereikbaarheid complexe begrippen zijn, afhankelijk van verschillende perspectieven en doeleinden, worden ze toch veelvuldig uitgedrukt in een grote diversiteit aan indicatoren. Dit leidt ertoe dat de prestaties van eenzelfde netwerk op een andere manier worden beoordeeld door verschillende partijen die met beleid, ontwerp, advies, management, beheer, onderhoud of het gebruik van het wegennetwerk bezig zijn. Dit kan leiden tot grote verschillen in de mate van hoe het wegennetwerk presteert en waardoor de prestatie door de ene partij als goed kan worden bestempeld, waar de prestaties door een andere partij als slecht wordt beoordeeld. Zo geeft Hoogendoorn-Lanser et al. [17] het voorbeeld van een automobilist die vanuit buiten Amsterdam richting het centrum van Amsterdam rijdt. Vooral binnen de spits zal deze automobilist de prestaties van het wegennetwerk als slecht ervaren, doordat de kans groot is dat de automobilist vertraging oploopt. Aan de andere kant is er in de binnenstad van Amsterdam een groot aanbod aan winkels. Blijkbaar is het voor de winkels aantrekkelijk om in het centrum te vestigen om voldoende klanten te krijgen. Blijkbaar is de binnenstad voor deze klanten dus goed bereikbaar.

Verschillende doelen en opvattingen kunnen dus leiden tot tegenstrijdige beoordelingen van de prestaties. Bij het evalueren van de prestaties van het wegennetwerk en bij het maken van beleid zijn deze tegenstrijdigheden tussen verschillende partijen niet handig. Ook het gebruik van meerdere verschillende indicatoren binnen één proces van beleid tot onderhoud en gebruik, is niet eenduidig en kan leiden tot een andere kijk op hetzelfde netwerk. Maar hoe wordt beoordeeld welke prestatie-indicator voor alle partijen geschikt is (en wanneer) en welke niet?

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) heeft een dergelijk onderzoek uitgevoerd door Hoogendoorn-Lanser et al. [17]. Bepaalde groepen bereikbaarheidsindicatoren zijn getoetst aan de hand van een groot aantal criteria. Het onderzoek richt zich echter op groepen bereikbaarheidsindicatoren en is geen instrument om individuele prestatie-indicatoren te toetsen. Ook het belang van de individuele criteria ten opzichte van de rest van de criteria is niet meegenomen in de toetsing. Het zou waardevol zijn om deze belangen van criteria te baseren op de wensen en behoeften van verschillende partijen, die vanuit de beroepspraktijk gebruik maken van prestatie-indicatoren. Wellicht zijn er buiten de in Hoogendoorn-Lanser et al. [17] genoemde criteria, ook nog andere criteria die zouden moeten worden meegenomen in de toetsing.

### 3. Gebruikte databronnen

In de vorige twee hoofdstukken is beschreven welke onderzoeksvragen worden onderzocht en voor welk doel. Ook is aan bod gekomen wat er nodig is om het onderzoek uit te voeren en waar tijdens de uitvoer hiervan op gelet moet worden. Na deze omkadering gaat dit hoofdstuk verder in op welke databronnen er voor dit onderzoek zijn gebruikt. De bronnen die achtereenvolgens worden behandeld zijn de reistijdcamera's van de NDW, de meetlussen van de NDW en de V-log data van de gemeente Den Haag.

#### 3.1 NDW

De NDW (Nationale Databank Wegverkeersgegevens) is een databank waarin verschillende overheidsorganisaties hun wegverkeersgegevens verzamelen en beschikbaar stellen. Door met verschillende overheden samen te werken komt alle data in één database en kunnen toepassingen voor de data samen worden ontwikkeld. De data staat dus bij elkaar en dat is handig om vervolgens iets met de data te kunnen doen. De site van de NDW biedt toegang tot de databank waaruit met een export historische wegverkeersgegevens te downloaden zijn. Hierbij gaat het om gegevens van reistijden, snelheden, intensiteiten en wachtrijlengtes op de locaties waar deze data beschikbaar is. Deze informatie wordt verzameld door middel van reistijdcamera's en meetlussen in het wegdek.

Bij de export van data zijn er een aantal selectie mogelijkheden. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in nevenstaande Figuur 3.1. Zo kan de periode geselecteerd worden waarover gegevens gewenst zijn. Niet alleen de datum van de desbetreffende periode kan hierin worden bepaald, maar ook het tijdvenster en een keuze in welke dagen van de week moeten worden meegenomen in de export. Na het selecteren van de periode is de volgende selectiestap om de aggregatieperiode te kiezen (1 minuut, 5 minuten, 15 minuten, 1 uur, 1dag of 1 week) en het type informatie (reistijd, snelheid, intensiteit of wachtrij).

Nieuwe export aanvraag

Maak aan op basis van een bestaande aanvraag:

Aanvraagnaam:

Geef uw aanvraag een naam:

Selecteer periode

Periode:

Van datum:

Tot en met datum:

Dagelijks tijdvenster:

Tijdvenster:  Hele dag  Gedeelte van de dag

Selecteer dagen

Dagen van de week:

Maandag  Dinsdag  Woensdag  Donderdag  Vrijdag  Zaterdag  Zondag

Feestdagen:  Opnemen in de export

Selecteer aggregatie niveau en type

Aggregatietijd:

Reistijd:

Reistijd gewogen:

Snelheid:

Snelheid gewogen:

Intensiteit:

Wachtrij:

Exportopties

Bestandstype:

Aantal rijen per bestand:

Output layout:

Metadata kolommen:

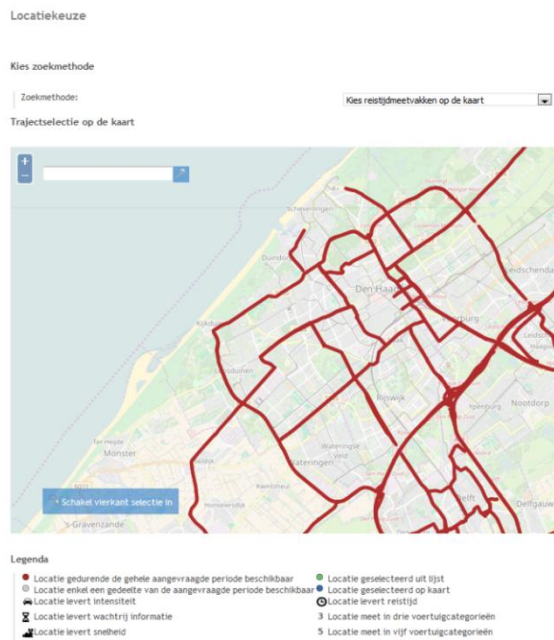
Prioriteit:

< Vorige | Volgende >

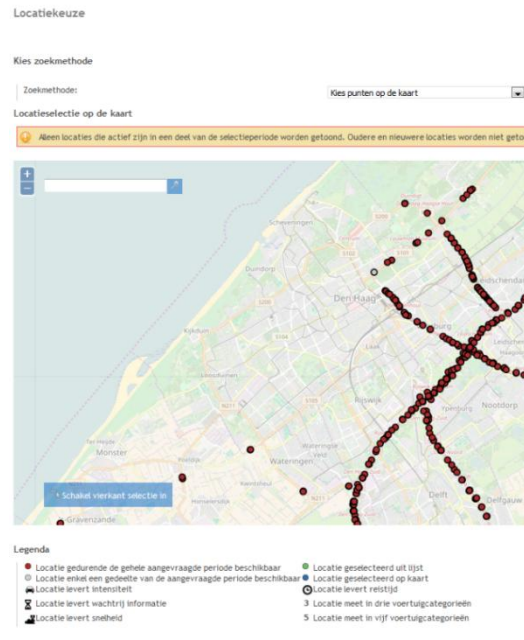
Figuur 3.1: Selectieopties export NDW



De volgende stap is om te bepalen voor welke locatie(s) de gegevens moeten worden geëxporteerd. Dit kan bijvoorbeeld door te zoeken op naam of wegnummer, maar dit kan ook door de reistijdmeetvakken van de reistijdcamera's of de punten waar een meetlus aanwezig is, op een kaart te selecteren. Op de kaart zijn dan de locaties van de reistijdmeetvakken en meetpunten te zien waar de NDW data heeft ingewonnen voor de geselecteerde criteria. Voor de gemeente Den Haag betekent dit dat er reistijden op het hoofdwegennetwerk (DVM-netwerk) beschikbaar zijn (zie Figuur 3.2) Intensiteiten zijn beschikbaar op een aantal S- en N-wegen (zie Figuur 3.3). Deze twee datatypen zijn hieronder verder beschreven.



Figuur 3.2: Reistijdtrajecten NDW



Figuur 3.3: Detectielussen NDW

### Reistijdcamera's NDW:

De reistijdcamera's werken op basis van kentekenherkenning. Aan het begin van elk meettraject worden alle kentekens van de voorbijrijdende voertuigen geregistreerd met een tijdslabel. Vervolgens worden aan het eind van het meettraject weer alle kentekens geregistreerd met een tijdslabel. Voor kentekens die zowel aan het begin als aan het eind van het traject zijn waargenomen wordt de reistijd in seconden berekend door het verschil in tijd tussen de tijdslabels uit te rekenen. Voertuigen die niet twee keer zijn waargenomen worden niet meegenomen in de reistijdberekening. Als er binnen een bepaalde aggregatieperiode data wordt opgevraagd, wordt het aantal voertuigen dat in die periode bij de tweede camera het reistijdtraject uitrijdt meegenomen in de export, ook al is het voertuig het reistijdtraject in een eerdere tijdstap binnengereden. Voor een klein aantal trajecten wordt gebruik gemaakt van bluetooth-signalen in plaats van reistijdcamera's. Op deze trajecten worden bluetooth-signalen gedetecteerd in plaats van kentekens om de reistijd vast te stellen. Verder zijn de principes om tot een reistijd te komen hetzelfde. Daarom zal er verder niet worden ingegaan op deze manier van data-inwinning. Het rekenkundig gemiddelde van de reistijd over de aggregatieperiode wordt vervolgens berekend met de volgende formule:

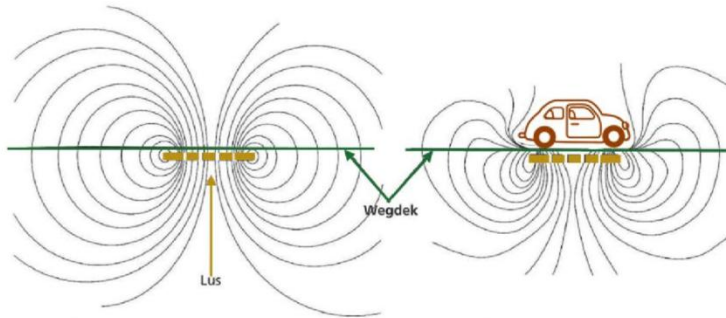
$$T_{aggr} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i)}{N} \quad \text{Formule 3.1}$$

Met:  $T_{aggr}$  : Gemiddelde reistijd over het aggregatieperiode  
 $N$  : Het aantal minuten dat is meegenomen in het aggregatieperiode  
 $T_i$  : De gemeten reistijd in minuut  $i$

Als er binnen een aggregatieperiode geen enkel kenteken kan worden meegenomen in de reistijdberekening of er is tijdens een periode een fout opgetreden, dan wordt er een waarde van -1 aan de aggregatieperiode gegeven. Verder worden berekende reistijden afgerond op hele seconden.

### Meetlussen NDW:

De meetlussen die zijn meegenomen in de databank van de NDW zijn tellussen die in het wegdek liggen. Deze meetlussen werken op basis van zelf opgewekte inductiespanning. Om de lus hangt daardoor een spanningsveld. Als dit spanningsveld niet verstoord wordt geeft de lus een outputsignaal met een waarde van nul. Deze situatie is weergegeven in Figuur 3.4 aan de linkerkant. Wanneer het spanningsveld wel wordt verstoord, door bijvoorbeeld een metalen voertuig, geeft de lus een outputsignaal met een waarde van één. Dit is aan de rechterkant weergegeven.



Figuur 3.4:  
(links) Onverstoord spanningsveld,  
(rechts) verstoord spanningsveld [22]

Bij elke verstoring van het spanningsveld telt de lus een voertuig aan de hand van de verstoring. Voertuiglengte en snelheid wordt gemeten door een luspaar van twee lussen kort na elkaar met bekende tussenafstand. De voertuiglengte volgt uit de snelheid en de bezettijd. Afhankelijk van de lengte van het voertuig kan er onderscheid worden gemaakt tussen verschillende voertuigcategorieën. Dit is weergegeven in onderstaande Figuur 3.5. Over het algemeen ligt er per meetlocatie een meetlus per rijstrook. Dit betekent dus dat de NDW data per meetlocatie over het aantal voertuigen per rijstrook, per voertuigcategorie heeft.



Indexwaarden bij reguliere rijstroken:

lengtecategorie	Flow	Speed	Flow	Speed	Flow	Speed	Flow	Speed	Flow
	Lane1	Lane1	Lane2	Lane2	Lane3	Lane3	Lane4	Lane4	Lane5
>1.85<2.4	1C	7C	13C	19C	25C	31C	37C	43C	49C
>2.4<5.6	2C	8C	14C	20C	26C	32C	38C	44C	50C
>5.6<11.5	3C	9C	15C	21C	27C	33C	39C	45C	51C
>11.5<12.2	4C	10C	16C	22C	28C	34C	40C	46C	52C
>12.2	5C	11C	17C	23C	29C	35C	41C	47C	53C
Anyvehicle	6C	12C	18C	24C	30C	36C	42C	48C	54C
<=5.6	1B	5B	9B	13B	17B	21B	25B	29B	33B
>5.6<12.2	2B	6B	10B	14B	18B	22B	26B	30B	34B
>12.2	3B	7B	11B	15B	19B	23B	27B	31B	Etc.
Anyvehicle	4B	8B	12B	16B	20B	24B	28B	32B	
Geen categorieën	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	

Figuur 3.5: Indeling voertuigcategorieën [23]

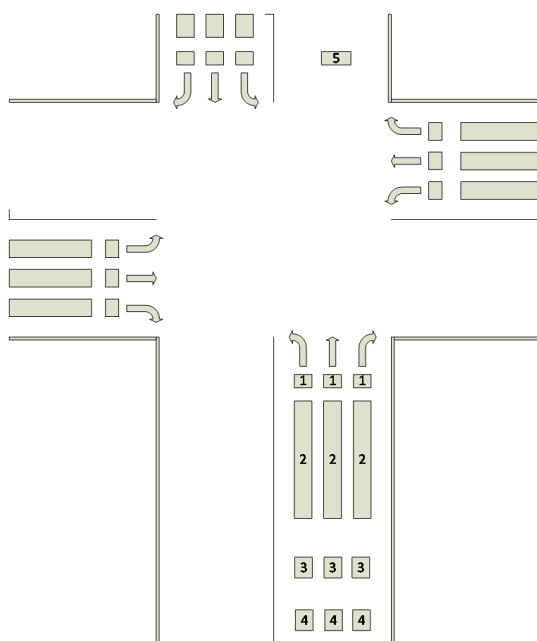
Per rijstrook wordt per minuut bijgehouden hoeveel voertuigen (en welke voertuigcategorie) de lus hebben gepasseerd. Vervolgens wordt dit aantal uitgedrukt in het aantal voertuigen per uur. Elke minuut wordt er dus per rijstrook per voertuigcategorie een intensiteit in voertuigen per uur berekend. Als er in de betreffende minuut geen voertuig is gepasseerd wordt een intensiteit van nul toegekend. Minuten waarbij gegevens ontbreken en minuten met een (meet)fout krijgen een waarde van -1 en worden niet meegenomen in de aggregatie. Vervolgens wordt een waarde voor een geselecteerde aggregatieperiode uitgerekend met de volgende formule:

$$I_{aggr} = \frac{\sum_{i=1}^N (I_i)}{N} \quad \text{Formule 3.2}$$

Met:  $I_{aggr}$  : Gemiddelde intensiteit over het aggregatieperiode  
 $N$  : Het aantal minuten dat is meegenomen in het aggregatieperiode  
 $I_i$  : De gemiddelde minuutintensiteit van minuut  $i$

## 3.2 V-log data

De derde beschikbare databron is de V-log data van de gemeente Den Haag. De gemeente verzamelt en beheert data van rond de 225 verkeersregelinstanties (VRI's). Elke VRI is voertuigafhankelijk geregeld. Voertuigen worden gedetecteerd door verschillende soorten detectielussen in het wegdek die aan de VRI zijn gekoppeld. Het meten van voertuigen werkt op dezelfde manier als bij de meetlussen van de NDW. De meeste VRI's meten de verkeersvraag per rijstrook aan de hand van twee soort lussen, namelijk de koplus (aangegeven met 1 in Figuur 3.6) en de lange lus (aangegeven met 2). De koplus (ongeveer 1m lang) meet of een voertuig voor het verkeerslicht staat te wachten. De lange lus (ongeveer 20 m lang) is bedoeld om te meten of er een voertuig aan komt rijden zodat er wanneer mogelijk gelijk groen gegeven kan worden of dat tijdens groen de groentijd nog iets kan worden verlengd om dit voertuig nog door te kunnen laten rijden. Wanneer het druk is kunnen er meerdere voertuigen op de lange lus staan te wachten. De lange lus meet echter of het spanningsveld verstoord wordt en niet door hoeveel voertuigen. Het outputsignaal van de lange lus blijft dus ook bij het passeren van meerdere voertuigen tegelijk een waarde van één (bezet) houden.



Buiten de koplussen en de lange lussen liggen er bij een aantal VRI's ook verweglussen (aangegeven met 3) en/of utopialussen. Deze utopialussen zijn dan weer uitgesplitst in inrijlussen (aangegeven met 4) en uitrijlussen (aangegeven met 5). Deze drie soorten lussen zijn bedoeld om verkeer rondom het kruispunt nog nauwkeuriger te detecteren. Dit wordt gedaan om de groentijden en de cyclustijd van de VRI te optimaliseren voor de actuele verkeersvraag. Ook worden de lussen gebruikt ten behoeven van filedetectie en voor de coördinatie van een aantal netwerkregelingen tussen een aantal VRI's.

**Figuur 3.6: Locatie soorten detectielussen**

De gegevens van de detectielussen worden gecombineerd met de fasecycli van de verkeerslichten. Uit deze Vlog-data zijn onder andere het aantal voertuigen en de bezettijden (in absolute en relatieve zin) per detectielus te halen. Voor dit onderzoek worden de tools VRIES (beschikbaar voor de gemeente Den Haag) en Cuteview versie 0.2.4 (vrij toegankelijk [24]) gebruikt om deze informatie uit de data te halen. VRIES wordt door de gemeente Den Haag gebruikt als database van historische V-log bestanden en als tool om er informatie uit te halen. Cuteview wordt gebruikt als V-log viewer om de V-log files te kunnen lezen, exporteren en analyseren. Beide tools zijn voor dit onderzoek beschikbaar gesteld door de gemeente Den Haag.

Met VRIES kan eerst een gewenst kruispunt worden geselecteerd waarvan V-log data beschikbaar is. In het wegennetwerk van Den Haag zijn nog VRI's van een ouder type aanwezig. Deze VRI's gebruiken wel de detectielussen voor de verkeersregeling, maar deze data wordt vervolgens niet opgeslagen. Per traject moet dus bekeken worden of er voldoende data beschikbaar is voor de VRI's, die deel uitmaken van het traject, om de berekeningen van het onderzoek uit te kunnen voeren. De selectie van de periode is hierbij van belang. De gemeente Den Haag is de afgelopen jaren bezig geweest om zoveel mogelijk VRI's te moderniseren om zoveel mogelijk data over de verkeerssituatie te kunnen verzamelen.

Dit houdt in dat naarmate een recentere periode wordt gekozen, meer VRI's Vlog-data beschikbaar hebben. Na het gewenste kruispunt te hebben geselecteerd kan de periode waarvan data is gewenst worden ingevoerd. Dit is weergegeven in onderstaande Figuur 3.7 als voorbeeld voor kruispunt 703.

### Kruispunt: K703

« Kies ander kruispunt

Kies datumbereik

Indien leeg gelaten worden alle dagen/uren geselecteerd. Jaar en maand zijn verplicht. Alle velden zijn numeriek.

Jaar: 2016 yyyy  
 Maand: 2 m  
 Dag: d

Kies configuratiebestand

Er zijn meerdere configuratiebestanden voor dit kruispunt gevonden. Kies welk configuratiebestand gebruikt moet worden voor het bepalen van de kolomkoppen.

K703cfg\_imflow.vlc  
 K703cfg\_oud\_tm\_20151208.vlc

Limiteer V-Log uitvoer

Beperk V-Log uitvoer tot detectiedata

OK

**Figuur 3.7: VRIES perodeselectie Vlog-data**

In de selectie moet aangegeven worden voor welk jaar, voor welke maand en eventueel nog voor welke dag Vlog-data gewenst is. Daarna kan de Vlog worden gedownload. Deze download is te openen met Cuteview voor verdere analyse van de data. Zowel intensiteiten, roodrijders, bezettijden in seconden en bezettijden in procenten kunnen worden geselecteerd. Binnen de tool VRIES is er ook nog de mogelijkheid om de Vlog-data verder te verwerken tot intensiteiten, gemeten door de koplussen van de VRI. Voor het verwerken tot intensiteiten moet ook de grootte van het aggregatieperiode (1, 5, 15, 30 of 60 minuten) worden geselecteerd en of bezettijden die kleiner of gelijk zijn dan een bepaalde periode (0,1 ; 0,2 ; 0,3 of 0,4 seconden) genegeerd moeten worden. Als een koplus van 1 meter lang bijvoorbeeld maar 0.1 seconden wordt bezet betekent dit dat deze meter door het hele voertuig moet zijn gepasseerd binnen 0.1 seconden. Stel dat een voertuig 4.5 meter lang is, dan komt dit neer op een snelheid van:

$$snelheid = \frac{afstand}{tijd} = \frac{4.5m + 1m}{0.1\ sec} = 55\ m/s = 198\ km/u$$

Aangezien rondom de meeste VRI's binnen de gemeente Den Haag een maximum snelheid van 50 km/u geldt is een snelheid van 198 km/u natuurlijk veel te hoog. De bijbehorende snelheden van alle vier bezetperiodes zijn weergegeven in Tabel 3.1. Bij een bezettijd van 0.3 seconden en een zelfde voertuiglengte hoort een snelheid van 66 km/u. Deze bezettijd kan in een enkel geval voorkomen, al helemaal als het voertuig een kortere lengte heeft, waardoor zelfs met een lagere snelheid een bezettijd van 0.3 seconden te halen is. Bezettijden van koplussen die kleiner of gelijk zijn aan 0.2 seconden (snelheid hoger dan 99 km/u) duiden in de meeste gevallen op kleine verstoringen die niet worden veroorzaakt door voertuigen. Vandaar dat wordt gekozen om de data te filteren op verstoringen door bezettijden onder de 0.2 seconde te negeren in de geëxporteerde data. Deze selectiestappen in VRIES zijn weergegeven in Figuur 3.8.

### Resultaat voor K703

[nieuwe selectie](#)

#### V-Log

De vlog is samengevoegd tot één bestand

[download vlog \(78,95 MiB\)](#)

[download configuratiebestand](#)

#### Verkeersintensiteiten

Verwerk V-Log tot intensiteiten

Aggregeer per 5 minuten

Negeer  ≤ 0,2 seconden  bezettijd\*

OK

\*) Jutterfilter. Detecties met opgegeven bezettijd worden genegeerd.

#### Details

De volgende vlog-bestanden zijn meegenomen in het resultaat.

- archive-2016-02-01-00.zip
- archive-2016-02-01-01.zip

#### Verkeersintensiteiten

Verwerk V-Log tot intensiteiten

Aggregeer per 15 minuten

Negeer  1 minuut  5 minuten  15 minuten  30 minuten  1 uur

\*) Jutterfilter. Detecties met opgegeven bezettijd worden genegeerd.

#### Verkeersintensiteiten

Verwerk V-Log tot intensiteiten

Aggregeer per 15 minuten

Negeer  ≤ 0,2 seconden  geen  ≤ 0,1 seconden  ≤ 0,2 seconden  ≤ 0,3 seconden  ≤ 0,4 seconden

\*) Jutterfilter. Detecties met opgegeven bezettijd worden genegeerd.

Bezettingsperiode detectielus [sec.]	Snelheid [km/u]
0.1	198
0.2	99
0.3	66
0.4	50

**Tabel 3.1: Bezettingsperiode met bijbehorende snelheid**

**Figuur 3.8: VRIES selectie aggregatieperiode en filter bezettijd**

### 3.3 Aggregatieperiode

De aggregatieperiode mag niet te kort zijn. De tijd die een voertuig nodig heeft om een traject af te leggen moet kunnen passen binnen één aggregatieperiode. Op deze manier kunnen de volledige reistijden worden vergeleken met de intensiteiten of bezettingsgraden die afkomstig zijn van diezelfde voertuigen. Hoe groter de aggregatieperiode, hoe hoger de verhouding van het aantal voertuigen met een compleet afgelegde reistijd binnen de aggregatieperiode in vergelijking met het aantal voertuigen dat het traject binnen de tijdstap niet in zijn geheel aflegt. De lengtes van de reistijdtrajecten binnen het DVM-netwerk zijn niet langer dan 5 kilometer en de maximum snelheid op deze trajecten is niet lager dan 50 km/u. Wanneer een traject van deze lengte wordt doorlopen met de maximum snelheid (waar deze snelheidslimiet dan ook daadwerkelijk gehaald kan worden) resulteert dit in een aggregatieperiode van:

$$\text{aggregatieperiode} = \frac{\text{trajectlengte}}{\text{snelheid}} = \frac{5 \text{ km}}{50 \frac{\text{km}}{\text{u}}} = 0.1 \text{ uur} = 6 \text{ min}$$

Het is echter onwaarschijnlijk dat het hele traject op maximumsnelheid afgelegd kan worden, aangezien er VRI's aanwezig zijn. Ook kan de reistijd toenemen door het ontstaan van congestie. Dit betekent dat de gemiddeld gereden snelheid op het traject lager ligt en dat de tijd die nodig is om het traject af te leggen daarmee groeit. Echter mag de aggregatieperiode ook niet te lang worden gekozen. Bij een lange aggregatieperiode is er een risico dat (meet)fouten in de data minder snel tot uiting komen in de resultaten. Meetfouten worden dan "uitgesmeerd" over de hele aggregatieperiode waardoor de meetfouten wel effect hebben op de uitkomsten, maar dat dit niet direct te zien is met bijvoorbeeld een piek of afwijkend punt in de resultaten. Afwijkingen zijn daardoor niet meer direct zichtbaar. Dit moet voorkomen zien te worden.

Hieruit is op te maken dat de aggregatieperiode wel langer moet zijn dan 6 minuten, maar niet zo lang dat meetfouten niet meer te zien zijn. De eerstvolgende aggregatieperiode die boven de 6 minuten ligt en beschikbaar is in de toepassingen van alle databronnen is een aggregatieperiode van 15 minuten. Met deze aggregatieperiode kan het traject van 5 kilometer zelfs nog met een gemiddelde snelheid van 20 km/u afgelegd worden. De meeste trajecten zijn zelfs nog een stuk korter dan 5 kilometer, waardoor deze trajecten zelfs nog met een lagere snelheid binnen de aggregatieperiode kunnen worden afgelegd. Binnen een aggregatieperiode van 15 minuten kunnen de trajecten zelfs met aanzienlijke vertraging door VRI's en/of congestie nog worden afgelegd. Daarom wordt gekozen om in het verdere verloop van het onderzoek voor bij de bewerking van de data van alle bronnen te aggregeren naar stappen van 15 minuten.

Naast de aggregatieperiode moet ook de tijdspanne bepaald worden waarover de aggregatieperiodes worden genomen. Deze tijdspanne bepaalt dan het aantal datapunten, aangezien de aggregatieperiode al is vastgesteld. Per dag betekent dit dat er 96 aggregatieperiodes en dus datapunten worden berekend. Het is wenselijk om data van zowel werkdagen als weekenddagen in de export te hebben om representatief te zijn voor drukke én rustigere periodes. Voor een maand aan data worden alle dagen van de week een aantal keer meegenomen. Ook als er data van een paar dagen zou missen blijven er genoeg datapunten over voor de analyse. Bij de export uit de databronnen is een maand ook eenvoudig te selecteren. Daarom wordt aangenomen dat een maand aan data representatief is om de analyse mee uit te voeren. Het is zaak om data van een maand te selecteren waar van alle databronnen data beschikbaar is. Ook moet de gekozen maand niet te lang geleden zijn, om enigszins representatief te zijn voor de huidige situatie. Vanwege deze redenen wordt de maand februari van 2016 gekozen als basismaand voor de analyse. Mochten er van een bron of verschillende meetpunten geen data beschikbaar zijn voor deze maand wordt uitgeweken naar een eerdere maand januari 2015 of een latere maand mei 2016. Voor februari 2016 komt dit met de aggregatieperiode neer op 2784 datapunten.

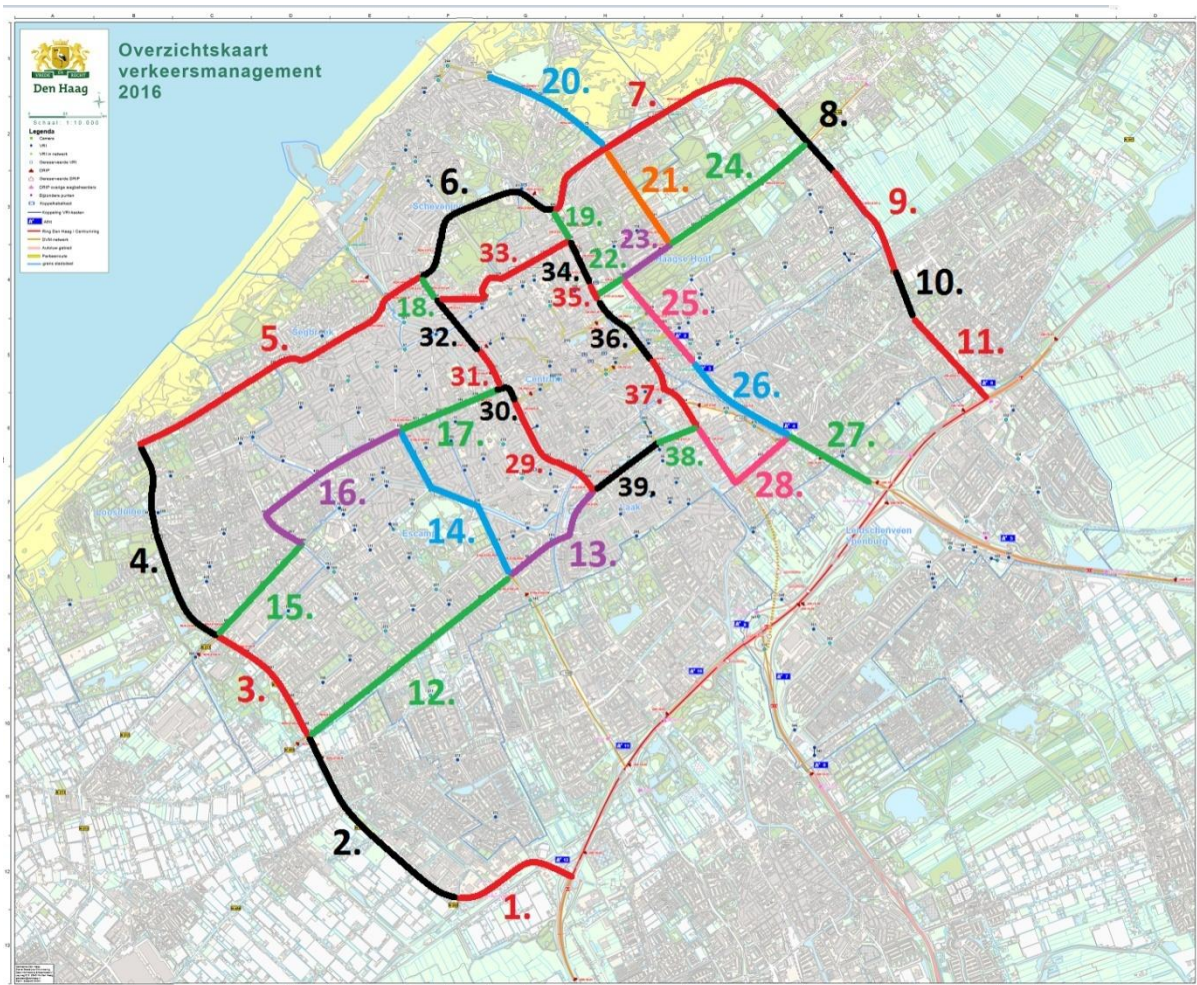


## 4. Informatie uit de data

Dit hoofdstuk gaat verder in op de verdere verwerking van de data die is verzameld zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Eerst is beschreven hoe de trajecten zijn gedefinieerd. Daarna volgt een uitgebreide beschrijving hoe de data uit de verschillende bronnen is bewerkt tot bruikbare informatie.

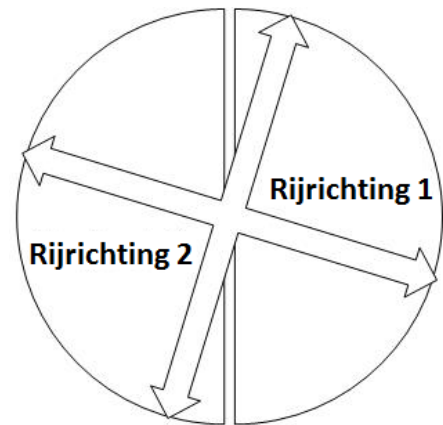
### 4.1 Definitie trajecten

De databronnen gebruiken ieder hun eigen codering om aan te geven voor welke locatie de bron data genereert. Aangezien alle databronnen verschillend coderen en deze codering niet altijd even logisch is, zijn er voor dit onderzoek 39 trajecten gedefinieerd zoals weergegeven in Figuur 4.1. Het bepalen van de trajecten is gedaan op basis van de reistijdtrajecten van de NDW. Nagenoeg alle trajecten beschrijven een enkel reistijdtraject.



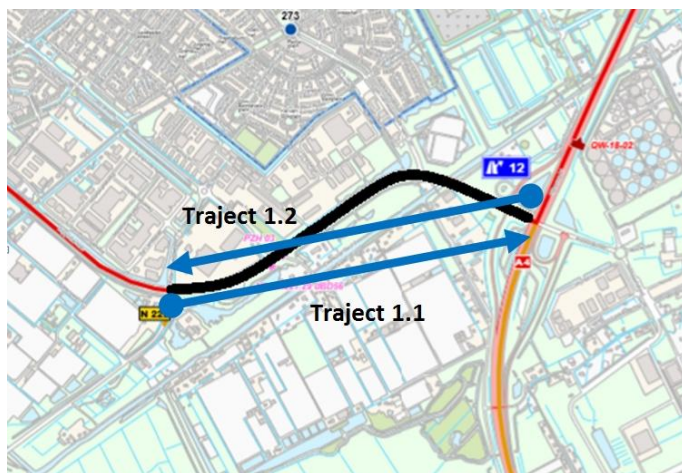
Figuur 4.1: Codering trajecten (basis: [3])

Er is steeds met de klok mee gecodeerd, waarbij is begonnen vanaf aansluiting 12 Den Haag-Zuid op de A4. Trajecten 1 tot en met 11 vormen samen de ringweg om Den Haag. Trajecten 12 tot en met 28 vormen de inprickers van het DVM-netwerk. Trajecten 29 tot en met 39 vormen de centrumring. Per traject is er dan weer onderscheid gemaakt tussen de twee rijrichtingen. Bij het definiëren hiervan is steeds gekeken naar de richting van een hemelsbrede lijn die tussen het beginpunt en het eindpunt van het reistijdtraject getekend kan worden. Als deze lijn richting het oosten wijst wordt deze gelabeld met een 1 en wijst deze lijn in westelijke richting dan wordt deze gelabeld met een 2. Dit is weergegeven in Figuur 4.2. Per reistijdtraject zijn er dus twee rijrichtingen bekeken waardoor het totaal aantal onderzochte trajecten op 78 komt.



Figuur 4.2: Definitie rijrichting

Een voorbeeld voor deze codering is hieronder weergegeven in Figuur 4.3. Hiervoor is reistijdtraject 1 genomen.



Figuur 4.3: Voorbeeld codering reistijdtraject 1 (basis:[3])

Voor elk van de 78 trajecten is data verzameld over reistijden, intensiteiten en waar mogelijk ook bezettingsgraden. Daarmee kan er per traject een beschrijving worden gegeven, waarin onder andere het identiteitsnummer van het reistijdtraject volgens de NDW, de trajectlengte, de maximum snelheid, de relevante VRI-nummers, het identiteitsnummer van het telpunt volgens de NDW en het aantal rijstroken te vinden zijn.



## 4.2 Reistijdinformatie verkrijgen

Nadat een export voor een meettraject via de NDW is gedaan volgens de in paragraaf 3.1 beschreven procedure, bestaat de export ondanks de selectiestappen nog steeds uit grove data. Hier moeten nog een aantal bewerkingstappen overheen zodat de data werkbaar is en de informatie overzichtelijk eruit te halen is.

Allereerst wordt uit de ruwe reistijdgegevens de lengte van het betreffende reistijdtraject opgezocht. Deze staat in de kolom met de naam "supplementaryPositionalDescription\_lengthAffected". Daarna wordt uit de kolom "measurementSiteReference" het identiteitsnummer van het reistijdtraject genoteerd. Verder zijn de kolommen "periodStart", "periodEnd" en "avgTravelTime" van belang. Per rij wordt door de "periodStart" en "periodEnd" aangegeven voor welke tijdstap op welke datum de waarde van de "avgTravelTime" geldt. Zoals eerder vermeld wordt voor aggregatieperioden waarin geen voertuig is gepasseerd een standaard waarde van -1 genoteerd. Om deze waarden uit het bestand te krijgen vervangen we alle -1 waarden in de "avgTravelTime"-kolom door een lege cel.

Vervolgens moet er gecontroleerd worden of er geen aggregatieperiode mist. Dit controleren wordt gedaan door de "periodStart"-kolom met een complete "periodStart"-kolom te vergelijken waarin alle aggregatieperioden zijn opgenomen. Missende aggregatieperioden in de data krijgen in de export een lege rij. De rest van de data die eronder staat schuift daardoor naar onderen op zijn plek. Als het hele bestand is nagekeken hoort de data even veel rijen te hebben als de complete "periodStart"-kolom. Door de lege rijen worden op deze manier later overeenkomende aggregatieperioden van verschillende databronnen met elkaar gefuseerd. Als dit niet zou gebeuren dan kan er bijvoorbeeld gebeuren dat later bij de fusie de reistijd van 10.00 tot 10.15 uur wordt gecombineerd met de intensiteit van 10.30 tot 10.45 uur. Er worden dan onjuiste waarden met elkaar vergeleken die niet direct iets met elkaar te maken hebben. Bij het missen van één of meerdere opeenvolgende aggregatieperioden moeten de waarden in de periode ervoor en de periode erna, waar wel een waarde voor is, worden gecontroleerd of deze waarden wel kloppen. Het missen van data heeft meestal een al dan niet bekende reden, die ook invloed kan hebben op de aggregatieperiode ervoor en/of erna. Als er enige twijfel is of deze waarden overeenkomen met een representatieve waarde van de reistijd worden ook deze waarden vervangen door een lege cel.

Als een traject uit twee reistijdmeetvakken bestaat worden de waarden van de afzonderlijke meetvakken simpelweg bij elkaar opgeteld tot één reistijdtraject. Voor aggregatieperiodes waar ook maar één van de twee waarden foutief is of mist, wordt de waarde van de aggregatieperiode ook vervangen door een lege cel om foutieve totale reistijden op trajectniveau te voorkomen. In de vervolgstappen wordt dan verder gewerkt op trajectniveau met de van de totalen van de twee reistijdmeetvakken.

Door deze bewerkingstappen staat er per rij een waarde van de reistijd op trajectniveau over een aggregatieperiode van een kwartier. De foutieve aggregatieperiodes hebben geen waarde. Hiermee is de data gecontroleerd en bewerkt om later te gebruiken in een basisbestand, waarin de data wordt gefuseerd om de relatie te ontwikkelen.

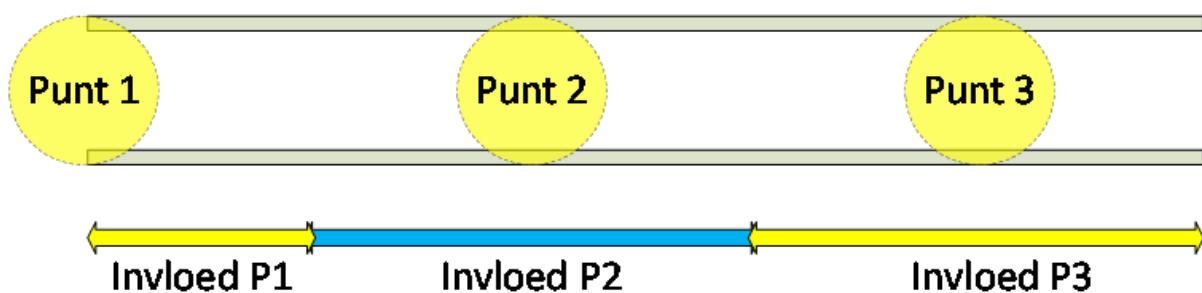
### 4.3 Intensiteitinformatie verkrijgen

Intensiteiten worden zoals eerder beschreven verzameld in twee verschillende databronnen, namelijk in de Vlog-data en in de NDW. Het kan voorkomen dat op een deel van een traject alleen VRI's aanwezig zijn en op het andere gedeelte van hetzelfde traject alleen meetlussen van de NDW. Deze worden dan gecombineerd om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van het intensiteitverloop langs het traject. Nadat de geselecteerde VRI's en meetpunten uit de NDW voor de gewenste periode zijn gedownload moeten er weer een aantal bewerkingsstappen worden gedaan om de gewenste informatie eruit te halen. Dit is hieronder per databron beschreven. Vervolgens wordt uitgelegd hoe hier deze data per meetpunt verder wordt verwerkt op trajectniveau.

#### Intensiteiten NDW

Nadat de export is gedownload per meetpunt wordt het identiteitsnummer genoteerd uit de kolom "measurementSiteReference". De andere relevante kolommen zijn "index", "periodStart", "periodEnd" en "avgVehicleFlow". Per aggregatieperiode (aangegeven met "periodStart" en "periodEnd") zijn een aantal indexwaarden vermeld, die informatie geven over de gemeten voertuigcategorieën per rijstrook. Per rijstrook wordt alleen de indexwaarde meegenomen die de voertuigcategorie "Anyvehicle" vertegenwoordigt. In de analyse wordt namelijk geen onderscheid gemaakt in het soort voertuig. Vervolgens worden de intensiteiten uit de kolom "avgVehicleFlow" die bij deze indexwaarden van de aggregatieperiode horen, bij elkaar opgeteld. De intensiteit per rijstrook is door de NDW al omgerekend naar een intensiteitwaarde die voor een uur zou gelden. Door de waarden van de rijstroken bij elkaar op te tellen is de totale intensiteit op de meetlocatie berekend.

Voor elke meetlocatie van de NDW is voor het onderzoek per traject vastgesteld op welk gedeelte van de weg een meetlus betrekking heeft. Dit is gedaan door het bepalen van invloedsgebieden. Figuur 4.4 geeft een voorbeeld hoe deze invloedsgebieden zijn bepaald. De figuur laat zien dat het invloedsgebied van meetpunt 1 zover loopt tot aan de helft van het wegvak tussen meetpunt 1 en meetpunt 2. Vanaf daar begint namelijk het invloedsgebied van meetpunt 2. Aan de uiteinden van een traject geldt het invloedsgebied van het dichtstbijzijnde meetpunt.



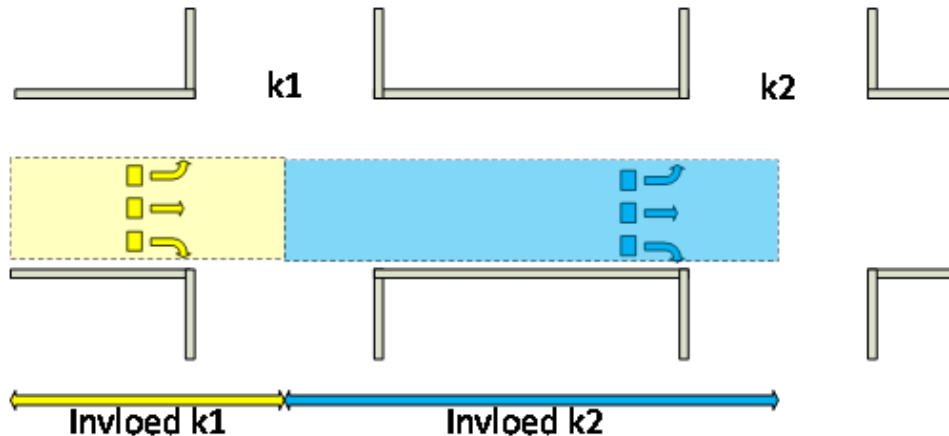
Figuur 4.4: Invloedsgebied meetpunten NDW

Aggregatieperiodes die data missen of een meetfout hebben worden net als bij de NDW reistijden tot lege rijen verwerkt. Het resultaat is dat er per rij een waarde voor de totale intensiteit per aggregatieperiode is gegeven voor de meetlocatie. De foutieve aggregatieperiodes hebben geen waarde. De verwerkte intensiteitwaarden van het lokale meetpunt worden in een intensiteitenbestand gezet, waarin de intensiteiten van de verschillende meetpunten uiteindelijk op trajectniveau worden gecombineerd.

### Intensiteiten VRI

Uit de tool VRIES wordt per gewenste VRI de kruispunttekening en de intensiteiten uit de Vlog-data voor de gewenste periode geëxporteerd. De intensiteiten zijn gemeten door de koplussen van de VRI. Er werd in paragraaf 2.2 onder “in onderzoek gebruikte databronnen” al aangegeven dat moest worden opgelet welke lussen worden gebruikt en waar de lussen liggen, om te voorkomen dat er voertuigen niet of zelfs dubbel worden geteld. In paragraaf 3.2 onder V-log data is al aangegeven dat er vijf soorten meetlussen aanwezig zijn. Het is zaak om te bepalen of de koplussen inderdaad de meest geschikte soort lussen zijn, om te bepalen of deze toepassing gebruikt kan gaan worden.

De kans op telfouten in het aantal voertuigen is voor de koplussen het kleinst. Dit komt doordat de koplus (1 m lang) een stuk korter is dan de lange lus (20 m lang) en aan het eind van de opstelstrook ligt. Meetlussen meten alleen of de lus bezet is of niet. Het kan bij de lange lus makkelijk zo zijn dat wanneer het ene voertuig aan het eind van de lus eraf rijdt, dat het daaropvolgende voertuig de lus al op is gereden. Hiermee wordt één enkele lange bezettijd gecreëerd, die wordt geteld als één voertuig. Daarnaast liggen de lange lussen verder stroomopwaarts van de stopstreep. De kans dat voertuigen daar nog wisselen van rijstrook om voor te sorteren is aanzienlijk groter dan bij de koplus net voor de stopstreep. Wanneer een voertuig van de ene naar de andere rijstrook wisselt wordt het voertuig op beide rijstroken door de aparte lussen als een voertuig geteld. De kans dat voertuigen nog van rijstrook wisselen op de locatie van de koplussen is ook kleiner dan bij de verweg-, inrij- en uitrijlussen, die allen verder van de stopstreep af liggen. Naast deze redenen zijn koplussen voor elke VRI in ieder geval aanwezig, wat niet het geval is voor de verweg-, inrij- en uitrijlussen. Daarom wordt aangenomen dat de koplus het meest geschikt is om de intensiteit te meten. Uit het intensiteitenbestand van VRIES kan het aantal voertuigen per aggregatieperiode, per lus worden gehaald. In onderstaande Figuur 4.5 is weergegeven welke koplussen worden samengevoegd om de intensiteit op een bepaald wegvak te berekenen.



Figuur 4.5: Invloedsgebied koplussen VRI

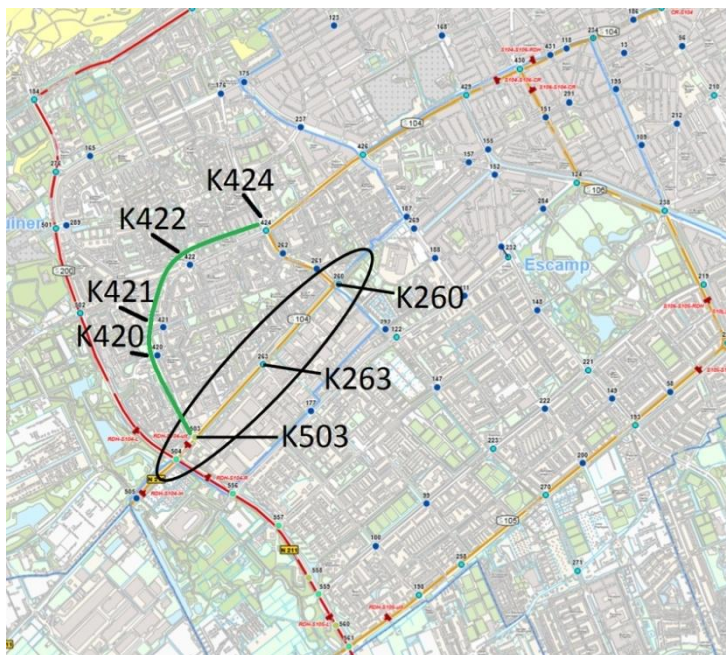
In de afbeelding is te zien hoe de intensiteit bijvoorbeeld wordt bepaald op het wegvak tussen het eerste kruispunt “k1” en het tweede kruispunt “k2”, waar de rijrichting van links naar rechts is. De drie aangegeven (blauwe) koplussen van k2 representeren samen de intensiteit op het (blauwe) wegvak tussen k1 en k2 in de betreffende rijrichting. Elk voertuig dat van k1 naar k2 rijdt moet uiteindelijk namelijk over één van de drie koplussen van k2 rijden, uitgezonderd van parkerende, uit een parkeervak wegrijdende en kerende voertuigen. Deze uitzonderingen worden echter aangenomen als een klein aantal in vergelijking met de totale stroom aan voertuigen. Intensiteiten op een wegvak worden dus steeds stroomopwaarts van een VRI bepaald.

Het exportbestand uit VRIES bevat de intensiteiten per aggregatieperiode van alle aanwezige meetlussen van de VRI. Per VRI wordt op de kruispunttekening gekeken om de codering van de gewenste koplussen te zien om deze vervolgens in het exportbestand van VRIES te selecteren. De onrelevante lussen worden vervolgens verwijderd. Per aggregatieperiode van een kwartier worden de waardes van de lussen bij elkaar opgeteld om het aantal voertuigen in de betreffende tijdstap te berekenen. Deze waardes worden vermenigvuldigd met vier om het aantal voertuigen per kwartier om te rekenen naar intensiteiten in voertuigen per uur.

Daarna wordt ook de intensiteitdata gecontroleerd op compleetheid. Niet van elke aggregatieperiode zijn er metingen beschikbaar van alle gewenste lussen. Als er ook maar één van de gewenste lussen in het exportbestand ongeloofwaardige waarden laat zien, worden de desbetreffende aggregatieperiodes verwijderd. Aggregatieperiodes die data missen of een meetfout hebben worden net als bij de NDW reistijden tot lege rijen verwerkt. Het resultaat is weer dat er per rij een waarde voor de totale intensiteit per aggregatieperiode is berekend per gewenst wegvak.

### *Intensiteitverloop traject*

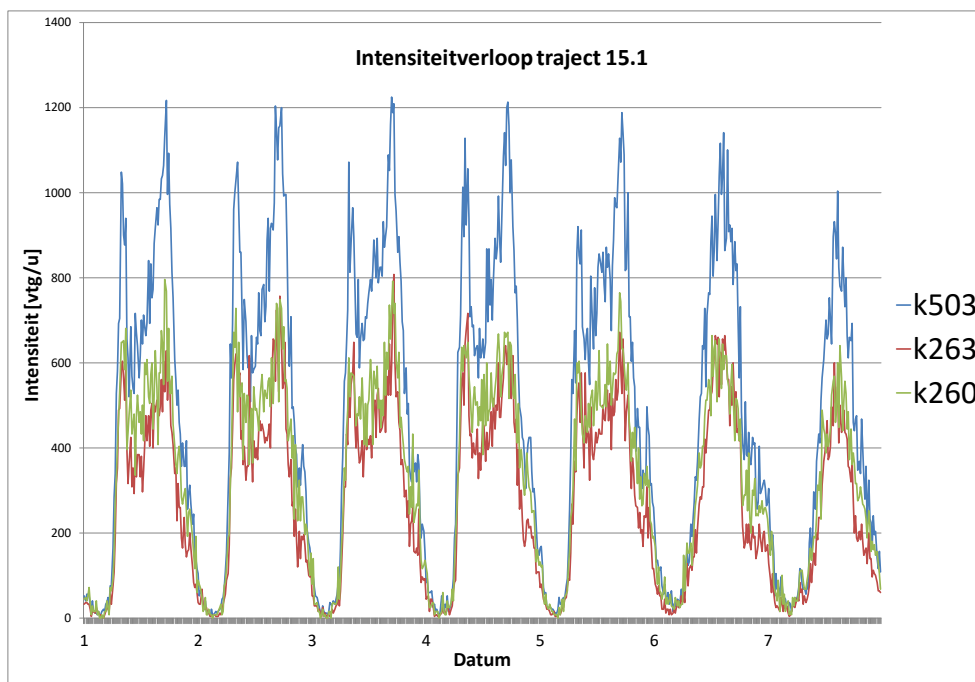
Voor elke beschikbare VRI en NDW-meetlus op een traject zijn dan apart de intensiteiten per aggregatieperiode berekend. Deze worden vervolgens in een intensiteitenbestand op trajectniveau bij elkaar gevoegd om ze te wegen over het gedeelte van het traject waar de waarde van de intensiteit betrekking op heeft. Per VRI of meetlus wordt de kolom van intensiteiten in het bestand gezet. Alle intensiteiten van de VRI's en NDW-meetlussen staan dan per aggregatieperiode netjes naast elkaar. Hieruit is het intensiteitverloop over het traject te zien. Een voorbeeld is gegeven voor traject 15.1. De locatie van de traject is eerst weergegeven in Figuur 4.6. Daarna is het intensiteitverloop weergegeven in Figuur 4.7.



**Figuur 4.6: Locatie traject 15.1 (basis [3])**

Traject 15.1 ligt in het westen van het wegnennetwerk van Den Haag en er geldt een maximumsnelheid van 50 kilometer per uur. Het maakt onderdeel uit van de S104. Op traject 15.1, waarbij de rijrichting in het kaartje van linksonder naar rechtsboven is, zijn alleen de VRI's van k503, k263 en k260 van belang, aangezien de intensiteit op een wegvak aan de hand van VRI's stroomopwaarts wordt bepaald.

In Figuur 4.7 is het intensiteitverloop van de drie VRI's uitgezet van maandag 1 februari 2016 tot en met zondag 7 februari 2016. De locatie van de datum is steeds het begin (dus 's nachts om 0.00 uur) van de desbetreffende dag. Er is veel te zien uit dit intensiteitverloop. Zo zijn de spitsperiodes duidelijk zichtbaar met de twee pieken, waarbij de piek van de ochtendspits over het algemeen net iets lager ligt. Ook is te zien dat het absolute dal van de intensiteiten niet op precies middernacht ligt, maar pas even daarna rond twee uur á half drie. In het weekend is er slechts één piek in de middag, waarbij zondag duidelijk de rustigste dag van de week was.



Figuur 4.7: Intensiteitverloop voor voorbeeldtraject 15.1

Aan het verloop van de intensiteiten tussen de VRI's is op te maken dat er aan het begin van het traject voor k503 de hoogste intensiteiten worden gemeten. Op de twee volgende wegvakken van het traject is de intensiteit ineens een heel stuk gedaald. Dit betekent dat er meer voertuigen van wegvak k503 zijn afgeslagen, dan dat er van de zijtakken het traject weer zijn op komen rijden. Een verklaring hiervoor kan zijn dat er veel voertuigen in de wijk aanwezig moeten zijn. Aangezien het verschil in aantal voertuigen nogal groot is zal dit niet de enige reden zijn. Een tweede verklaring kan zijn dat voertuigen links afslaan om de groene route in Figuur 4.6 te rijden via k420, k421 en k422 om bij kruispunt 424 te komen in plaats van via de S104 (k263, k260, k261, k262). Dit scheelt één geregeld kruispunt en waarschijnlijk wat kruisend verkeer. In de data van kruispunt k503 is dit vermoeden onderzocht en het blijkt dat in ieder geval in februari 2016 van het aantal voertuigen op traject 15.1 op het wegvak stroomopwaarts van k503, 33% links afslaat. Uit de grafiek is dus precies op te maken op welk wegvak van het traject er op welk moment de meeste voertuigen rijden.

Per aggregatieperiode moeten de waarden van de individuele meetpunten worden gewogen om een gewogen intensiteit te krijgen op trajectniveau. Deze Productie wordt berekend volgens onderstaande Formule 4.1, zoals eerder vermeld in paragraaf 2.1.

$$q^w = \sum_i q_i l_i / \sum_i l_i \quad \text{Formule 4.1 (= Formule 2.3)}$$

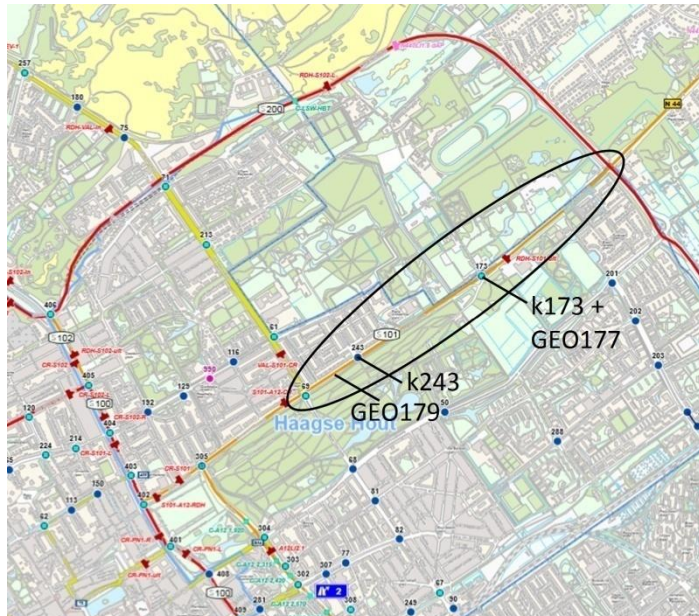
De intensiteiten voor de individuele punten worden vermenigvuldigd met de bijbehorende lengte van de weg binnen het invloedsgebied van het meetpunt. Bij meerdere rijstroken of voorsorteervakken worden de lengtes van de verschillende wegdelen bij elkaar opgeteld. Dit resulteert in rijstrooklengtes gemeten in kilometers. Deze lengtes zijn gemeten met behulp van Google Earth. Vervolgens worden de individuele vermenigvuldigingen gedeeld door de totale rijstrooklengte van het traject.

Per aggregatieperiode wordt zo de Productie berekend. Behalve voor de periodes waarvoor ten minste één van de individuele meetlocaties geen waarde bevat door de eerdere controle op meetcompleteit en meetfouten. In deze aggregatieperiodes zou de weging niet goed gaan door het missen van waarden. Voor deze periodes worden dus ook geen waarden voor de Productie toegekend. Het resultaat is de Productie per aggregatieperiode voor het gewenste traject in de geselecteerde periode, waarbij periodes met meetfouten of missende data geen waarde hebben.



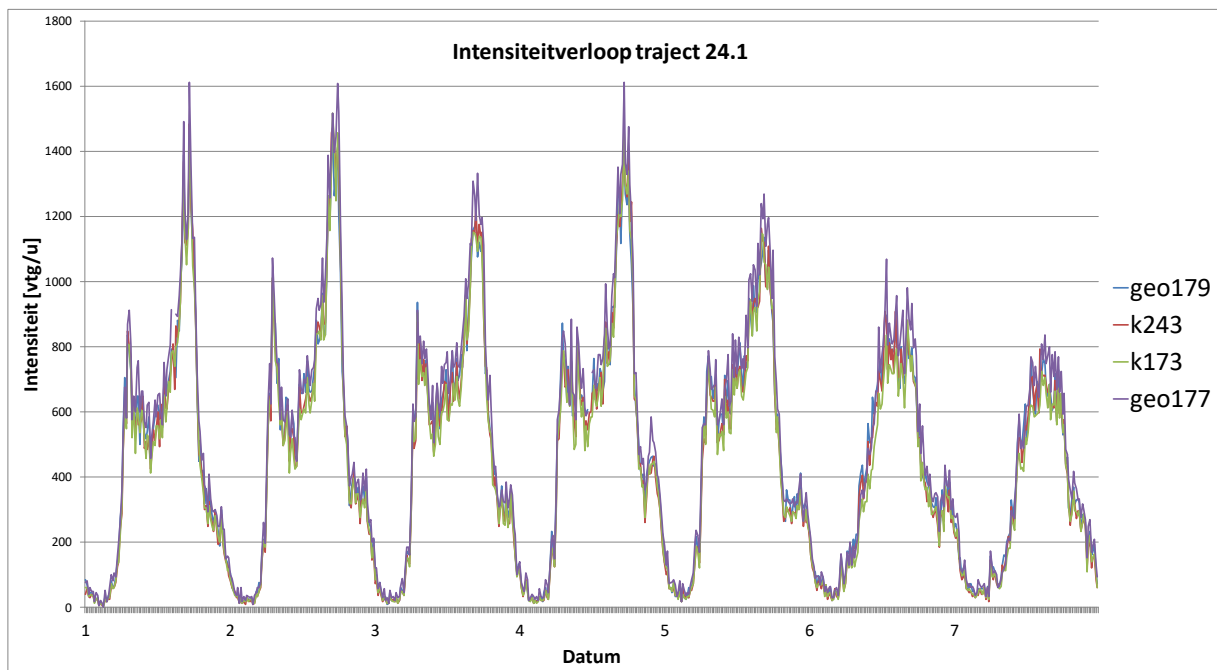
### Vershil intensiteiten NDW en intensiteiten VRI

Gedurende het onderzoek is gebruik gemaakt van met twee verschillende databronnen om aan intensiteiten te komen. Op sommige wegvakken binnen trajecten zijn beide databronnen aanwezig. Dit biedt de kans om de twee methodes van intensiteitberekeningen naast elkaar te leggen om te zien of er uit beide methodes nagenoeg dezelfde intensiteitwaarden komen. Dit is gedaan voor traject 2 en traject 24. De resultaten van traject 24.1 zullen hier worden beschreven aangezien de locaties van de lussen voor dit traject het best te vergelijken zijn. De locatie van het traject is weergegeven in onderstaande Figuur 4.8.



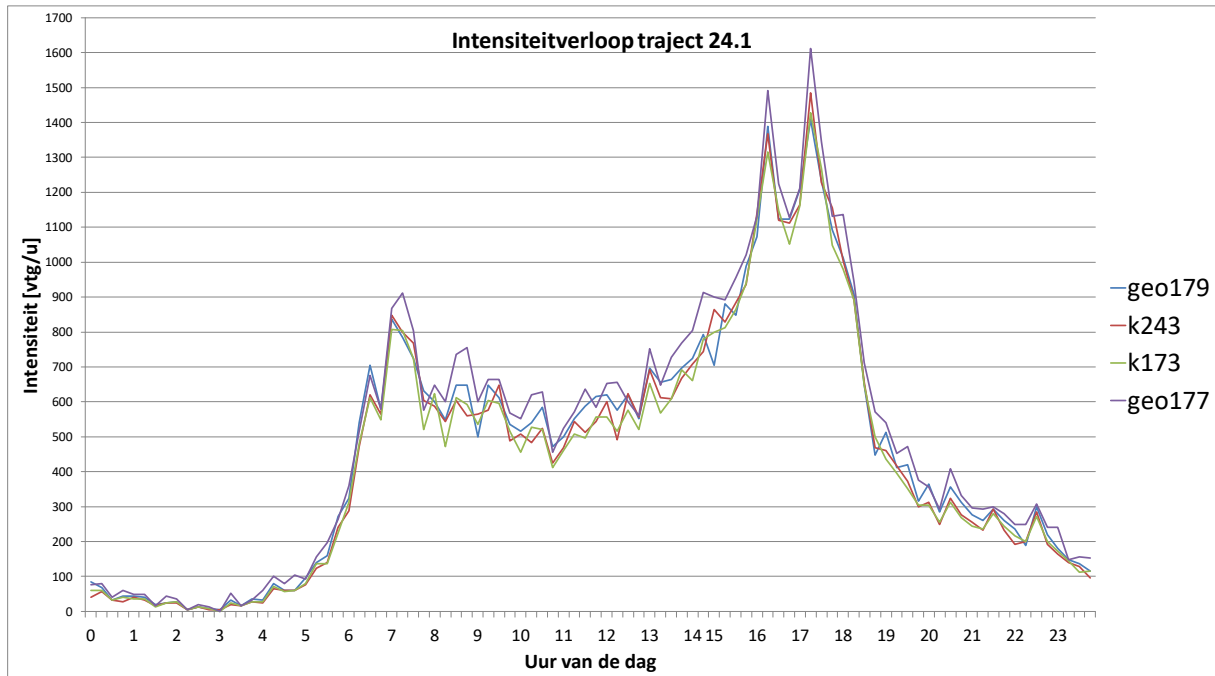
Figuur 4.8: Traject 24.1 met aanwezige meetlocaties intensiteit (basis: [3])

Het traject ligt in het noordoosten van Den Haag. Net stroomopwaarts van de VRI k243 ligt de NDW meetlus GEO02\_Z\_RWSTIN179(GEO179) en ter hoogte van VRI k173 ligt de NDW meetlus GEO02\_Z\_RWSTIN177 (GEO177). De intensiteit van GEO179 zou ongeveer hetzelfde moeten zijn als die van k243 en van GEO177 ongeveer hetzelfde als k173. In Figuur 4.9 is weer de eerste week van februari 2016 weergegeven voor dit traject.



Figuur 4.9: Vergelijk intensiteitverloop NDW meetlussen met VRI's

Weer zijn duidelijk de spitsperiodes zichtbaar. Bij beide vergelijklocaties ligt de intensiteit gemeten door de NDW meetlus net iets hoger dan bij de methode van de VRI koplussen. Het gaat hier om een gemiddelde verschil tussen de GEO179 en de k243 van ongeveer 5.9% en tussen de k173 en GEO177 van ongeveer 13.2%, gemeten over de aggregatieperiodes van de hele maand. Vooral de GEO177 (paarse lijn) ligt hoger dan de rest. Dit is beter te zien als alleen de eerste februari van 2016 wordt uitgelicht. Dit is gedaan in onderstaande Figuur 4.10.



**Figuur 4.10: Intensiteitverloop 1 februari 2016 voor traject 24.1**

Ondanks dat het gemiddelde verschil respectievelijk rond de 5.9% en 13.2% ligt, is te zien dat de lijnen elkaar redelijk goed volgen. De vraag rijst wel waardoor deze verschillen in intensiteit komen? Beide methodes meten het aantal voertuigen en niet het personenauto equivalent, dus daar kan het niet aan liggen. Wellicht gaat er iets mis bij het tellen van vrachtwagens, of bevat één van de twee methodes een grotere meetfout bij het aggregeren naar het aantal voertuigen dan de andere. Het kan ook zijn dat NDW-lussen (misschien mede door de ligging) sneller voertuigen dubbel tellen bij het wisselen van rijstrook dan de VRI-koplussen. Op dit moment zijn dit alleen maar vermoedens. Ook is niet bekend welke van de twee methodes dichterbij het werkelijke intensiteitverloop zit. Het is interessant voor een vervolgonderzoek om de verschillen hiertussen verder uit te zoeken. Voor dit onderzoek zijn er binnen de gemeente Den Haag maar op een beperkt aantal trajecten NDW meetlussen aanwezig, waar de VRI's over heel het netwerk verspreid aanwezig zijn. Over het algemeen wordt dus gebruikt gemaakt van de methode om de intensiteiten te meten met de koplussen van de VRI's.



#### 4.4 Bezettingsgraadinformatie verkrijgen

De bezettingsgraden kunnen alleen worden bepaald door de VRI-meetlussen en niet door de lussen van de NDW. Alleen voor de trajecten waarvoor VRI's aanwezig zijn kan er dus een bezettingsgraad worden afgeleid. Alleen is niet bekend welke van de 5 soorten lussen het beste kan worden gebruikt om tot een waarde van de dichtheid op het betreffende wegvak te komen. Daarom wordt uitgezocht welk van de 5 soorten lussen de meest bruikbare relatie heeft ten opzichte van de dichtheid. In deze paragraaf wordt eerst beschreven hoe dit is bepaald. Vervolgens wordt weer uitgelegd welke bewerkingstappen er in de data zijn gemaakt om tot bruikbare informatie te komen.

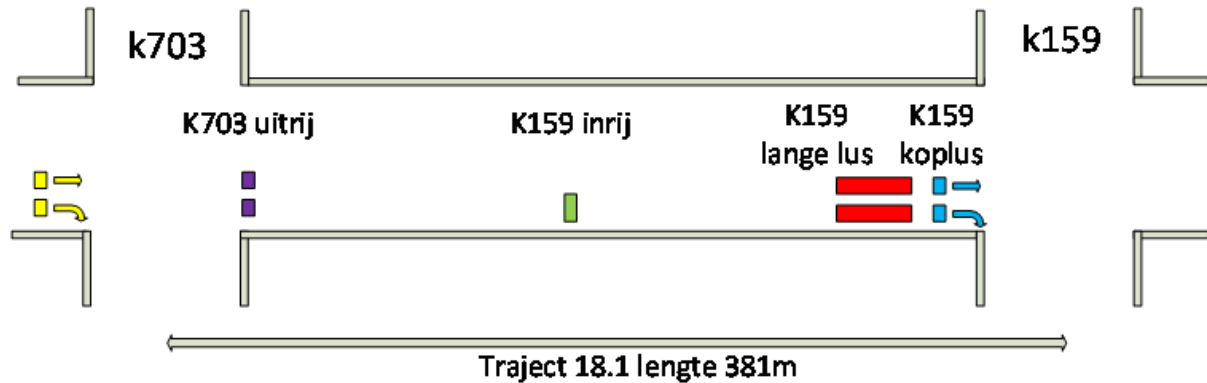
##### *Meest geschikte lussen voor bezettingsgraad*

Er is aangegeven dat de locatie van de lus belangrijk is bij metingen om geen voertuigen te missen of dubbel te tellen. Er moet dus gezocht worden naar welk van de lussen het meest representatief is voor de dichtheid op een wegvak. Als de dichtheid net voor de stopstreep wordt gemeten zal deze een stuk hoger zijn dan als deze heel ver stroomopwaarts ligt. Ook de lengte van de betreffende lus is van belang en of de betreffende lus aanwezig is bij de meeste VRI's. Als een soort lus maar zelden aanwezig is, kan de dichtheid op alle trajecten niet consistent worden berekend. Er is een analyse gedaan naar een aantal trajecten om te onderzoeken hoe de bezettingsgraad over een wegvak verloopt door middel van metingen van verschillende meetlussen. Deze analyse is uitgevoerd voor trajecten 6.1, 18.1, 18.2, 22.1 en 22.2. Deze trajecten zijn gekozen omdat ze over het algemeen kort zijn en alle soorten lussen er aanwezig zijn. Traject 6.1 is gekozen om ook een langer traject met meerdere wegvakken mee te nemen, waarin de bezettingsgraden gewogen moeten worden. Ter illustratie worden de resultaten van traject 18.1 hier weergegeven, aangezien de resultaten daarvan helder zijn en representatief voor de trajecten. Hieronder is de locatie van traject 18.1 weergegeven, waarbij de rijrichting van linksboven naar rechtsonder is. Het is een wegvak met twee rijstroken in het noorden van Den Haag tussen VRI k703 en k159, waar een maximumsnelheid van 50 kilometer per uur geldt.



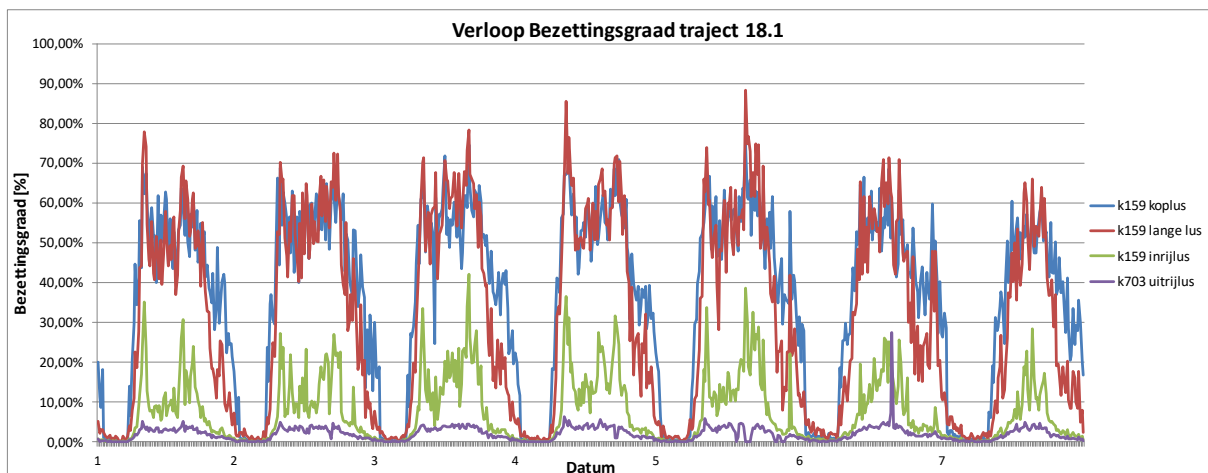
Figuur 4.11: Locatie traject 18.1 (basis: [3])

Op het wegvak tussen de k703 en de k159 liggen vier van de vijf soorten lussen. Met de rijrichting mee liggen er op het begin van het wegvak twee uitrijlussen van de utopialussen van de k703. Ongeveer halverwege ligt er een inrijlus van de k159. Aan het einde van het wegvak liggen de lange lussen en daarna net voor de stopstreep de koplussen van de k159. Dit is weergegeven in onderstaande Figuur 4.12.



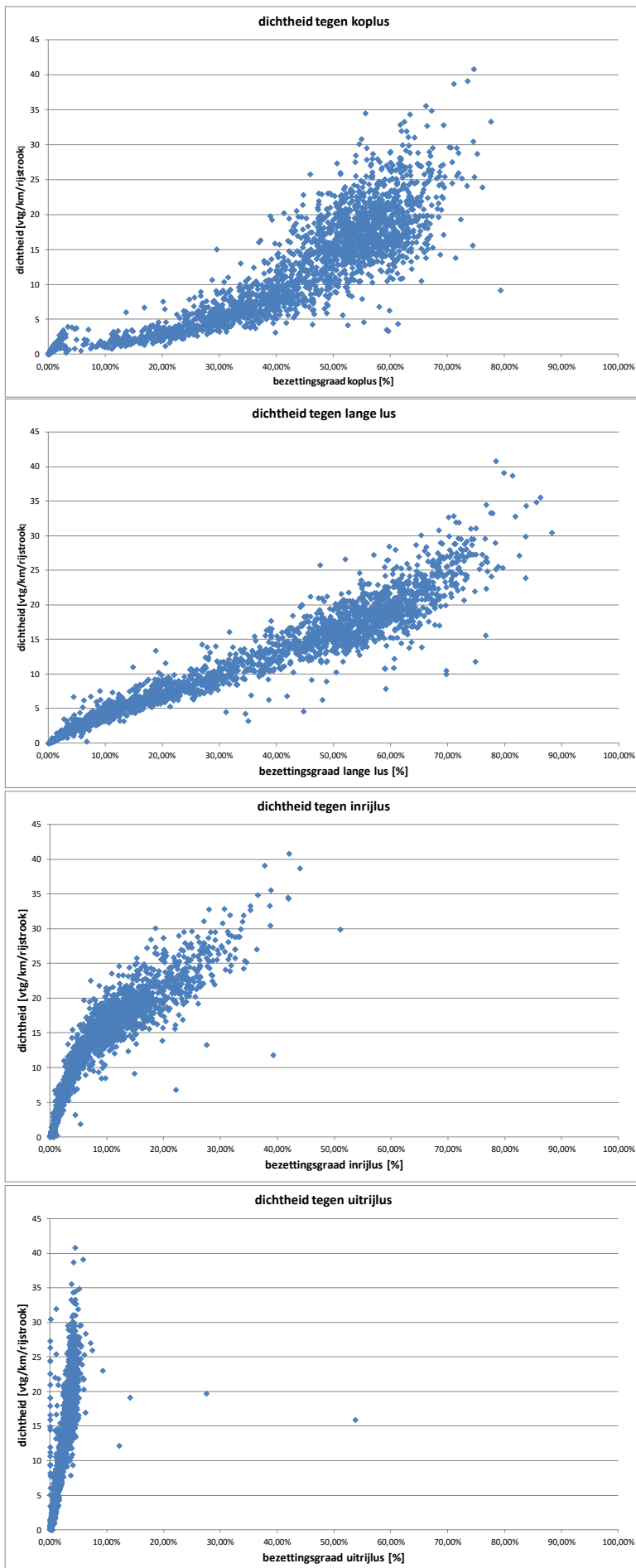
Figuur 4.12: Locatie lussen op traject 18.1

Met behulp van de Tool VRIES en vervolgens CuteView zijn de bezettingspercentages van deze lussen uit de data gehaald voor februari 2016. Vervolgens zijn de gemiddelde bezettingspercentages van de twee koplussen, de twee lange lussen, de inrijlus en het gemiddelde van de twee uitrijlussen weergegeven in Figuur 4.13 voor de eerste week van februari.



Figuur 4.13: Verloop bezettingsgraad eerste week februari 2016 VRI's traject 18.1

De bezettingspercentages van de koplussen en de lange lussen komen aardig overeen. Deze zijn hoger dan die van de andere twee soorten lussen. Dit is ook logisch aangezien zich net voor de stopstreep van de VRI k159 de wachtrij voor het verkeerslicht vormt. Deze lussen zullen dus procentueel langer bezet zijn dan lussen die verder van de stopstreep afluigen. Ook is te zien dat de uitrijlussen maar een hele lage bezettingsgraad hebben. Blijkbaar is de doorstroom op het wegvak ruim voldoende om het verkeer via k159 af te wikkelen. Hierdoor ontstaat er geen dusdanige wachtrij voor het verkeerslicht dat deze tot aan k703 aangroeit. Voertuigen die traject 18.1 oprijden kunnen dit doen zonder stil te komen staan op k703. Uit de figuur is op te maken dat naarmate de locatie van de meetlus verder van de stopstreep afluigt, des te lager is de bezettingsgraad van de lussen.



Dan is het alleen nog de vraag welk van de lussen de duidelijkste relatie heeft met de dichtheid op het wegvak. Om dit te onderzoeken zijn de bezettingsgraden per soort lus per aggregatieperiode uitgezet tegen de dichtheid, die uit de reistijden in combinatie met de intensiteiten uit de koplussen is gehaald met de relatie  $q = k * u$ . Welke stappen zijn genomen om tot deze dichtheden te komen is verder uitgelegd in het volgende hoofdstuk.

Hiernaast is steeds op de zelfde schaal de bezettingsgraad van een type lus (op de x-as) uitgezet tegen de dichtheid (op de y-as). Het is gewenst om uiteindelijk met behulp van de bezettingsgraden een dichtheid te kunnen schatten en de vraag is welk van de lussen daar het meest geschikt voor is. Als we naar de grafieken in Figuur 4.14 kijken is het duidelijk dat de uitrijlus hiervoor niet geschikt is. De punten liggen redelijk goed op één lijn, maar deze lijn loopt zo stijl dat nagenoeg alle dichtheden af te lezen zijn in de eerste 7% van de bezettingsgraden. Als de bezettingsgraad ook maar enigszins onnauwkeurig zou worden gemeten zou de schatting van de dichtheid al sterk af kunnen wijken van de daadwerkelijke waarde. Deze soort lus is daardoor ongeschikt bevonden.

Hieruit is te concluderen dat de lus met de meest bruikbare relatie ten opzichte van de dichtheid de lus is met de grootste spreiding langs de x-as, zodat aan de hand van de bezettingsgraad zo nauwkeurig mogelijk een waarde van de dichtheid kan worden afgelezen. Dit is volgens de grafieken het beste mogelijk bij de lange lussen.

**Figuur 4.14:** Relatie tussen de lustypen en de dichtheid

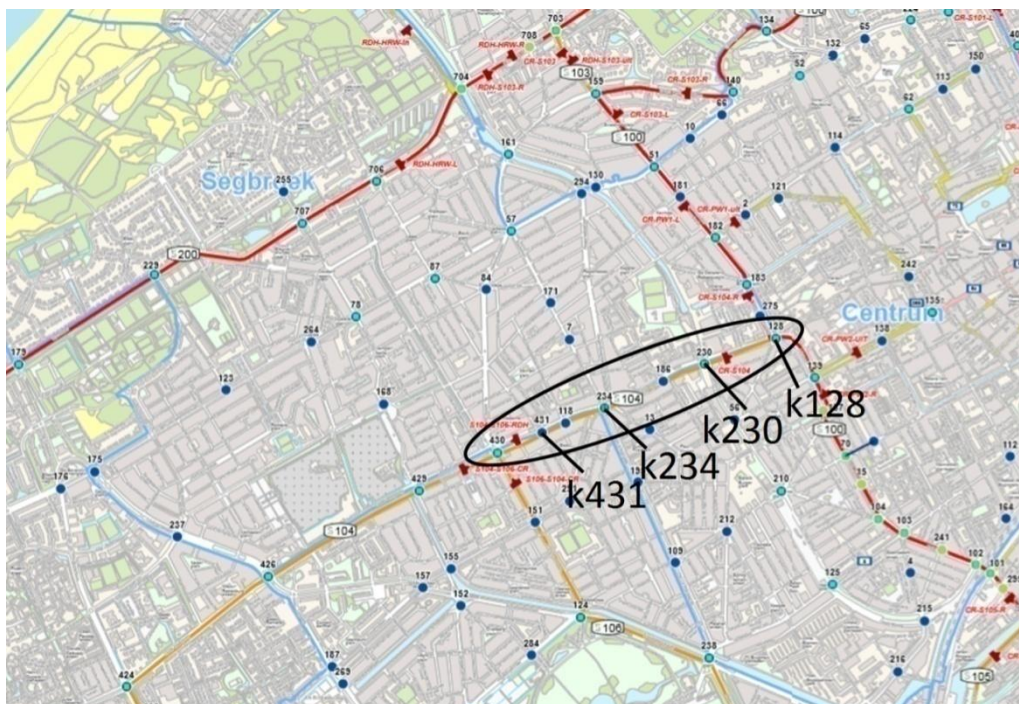


Bijkomend voordeel is dat de lange lussen, net als de koplussen voor alle VRI's aanwezig zijn, waar dit niet het geval is voor de andere lustypen. De lange lus ligt ook niet direct voor de stopstreep, waardoor de lus ook niet gelijk bezet wordt gehouden als er ook maar een enkel voertuig voor het verkeerslicht staat te wachten. Dit is ook te zien in de grafieken, waar de spreiding over de dichtheden bij hoge bezettingsgraden hoger is voor de koplussen dan bij de lange lussen. Bij het bepalen van de dichtheid kan dus het beste gebruik worden gemaakt van de lange lussen. Verder zijn in Bijlage B nog de bezettingsgraden van de verschillende type lussen tegen elkaar uitgezet om de relatie tussen de lustypen te zien. Ook in de bijlage is dit gedaan voor traject 18.1.

### *Verloop bezettingsgraden traject*

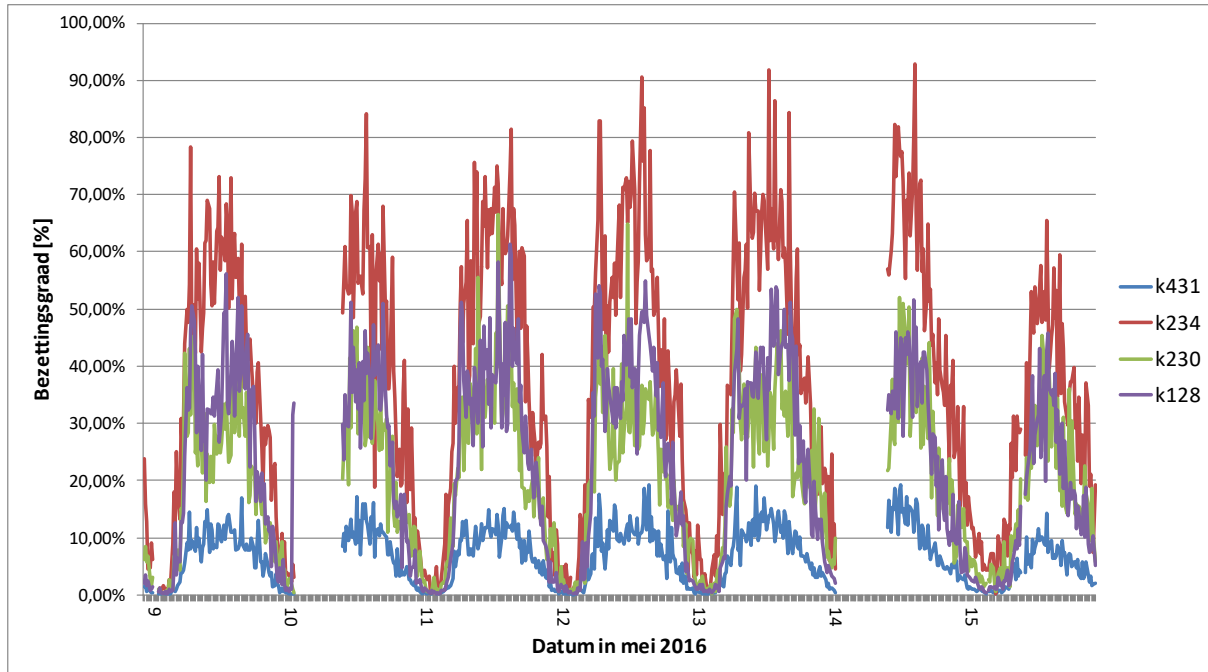
Per traject worden dus de bezettingsgraden van de lange lussen van de VRI's verzameld. Dit is gedaan door de Vlog-data per VRI te openen met de tool Cuteview. In Cuteview worden de gewenste lange lussen geselecteerd aan de hand van de codering op de kruispunttekening. De aggregatieperiode wordt weer op 15 minuten gezet en het soort detectie op bezettijden in procenten. Vervolgens worden de waarden met het label van de periode- en datum geëxporteerd en geplakt in een standaard bezettingsgraden bestand. Hierin wordt per VRI de gemiddelde bezettingsgraad van de betreffende lange lussen in procenten berekend op het tweede tabblad. Deze data wordt weer gecontroleerd op meetfouten en missende data. Ook al mist maar één van de lange lussen data binnen een aggregatieperiode of heeft een lus een meetfout, dan wordt de resulterende waarde niet meegenomen in de berekeningen op trajectniveau. Alle aggregatieperiodes krijgen weer een rij waarbij de meetfouten en missende data een lege rij hebben.

Het eerste tabblad laat vervolgens de resultaten van de verschillende VRI's op trajectniveau zien. Elke rij stelt weer een aggregatieperiode voor. Elke kolom bevat de bezettingsgraden van een enkele VRI. Hierdoor is een overzicht op trajectniveau per aggregatieperiode bekend. Hiermee kan het verloop van de bezettingsgraden worden gevisualiseerd zoals in Figuur 4.16 is weergegeven voor traject 17.1. Dit traject, dat weergegeven is in Figuur 4.15, maakt deel uit van de S104 en is de verbinding met de westkant van de centrumring. De rijrichting in de figuur is van linksonder naar rechtsboven.



**Figuur 4.15: Locatie traject 17.1 (basis: [3])**

Het verloop van de vier VRI's op het traject waar data van bekend is, is hieronder weergegeven. Aangezien er voor februari 2016 niet genoeg data was is er voor dit traject gekozen om de meer recentere maand te kiezen, dus voor mei 2016. In de eerste week van mei 2016 zijn aardig wat meetfouten en missende data geconstateerd, waardoor hieronder de tweede volle week van maandag 9 tot en met zondag 15 mei in Figuur 4.16 is weergegeven. Ook in deze week zijn een aantal aggregatieperiodes niet meegenomen, waardoor een aantal gaten in de figuur ontstaat.



Figuur 4.16: Verloop bezettingsgraad lange lussen VRI's traject 17.1

Dit traject is gekozen omdat hier de verschillen tussen de VRI's op het 1600 meter lange traject erg groot zijn. Op de K431 is de verkeersstroom op de S104 een stuk groter dan op de zijtakken, waardoor de S104 en dus ook de richting van traject 17.1 een stuk meer groentijd krijgt in vergelijking met de zijtakken. Dit is ook te zien in de figuur, aangezien de bezettingsgraad van k431 relatief laag is, waaruit is op te maken dat er maar zelden een lange wachtrij voor het verkeerslicht staat voor k431 in de richting van traject 17.1. Het andere uiterste is te zien voor k234. Hier komen de gemiddelde bezettingsgraden zelfs bijna elke dag boven de 70% uit. Als er naar de configuratie van het kruispunt k234 wordt gekeken, is te begrijpen waarom er zulke hoge waarden van de bezettingsgraad worden gemeten. K234 is namelijk een zevensprong, gecombineerd met voetgangers-, fietsers- en OV-stromen. Door deze configuratie krijgt de verkeersstroom van traject 17.1 relatief weinig groentijd en ontstaan er regelmatig dusdanige wachtrijen dat de lange lussen vaak bezet zijn. Aan een dergelijk verloop van de bezettingsgraden van de verschillende VRI's op een traject is af te leiden voor welk van de verkeerslichten voertuigen het langst moeten wachten. Deze VRI's kunnen gezien worden als de knelpunten van het traject.

Om de bezettingsgraad van het hele traject te berekenen worden de verschillende waarden van de VRI's gewogen over het gedeelte van het traject waar ze relevant zijn. Deze weging gaat op de zelfde manier als bij de intensiteitweging. De formule die hiervoor gebruikt is, is hieronder weergegeven. Aggregatieperiodes waarbij ten minste één van de VRI's data mist of een meetfout bevat worden niet meegenomen in de gewogen bezettingsgraden.

$$o^w = k^w s = \sum_i o_i l_i / \sum_i l_i \quad \text{Formule 4.2 (= Formule 2.4)}$$

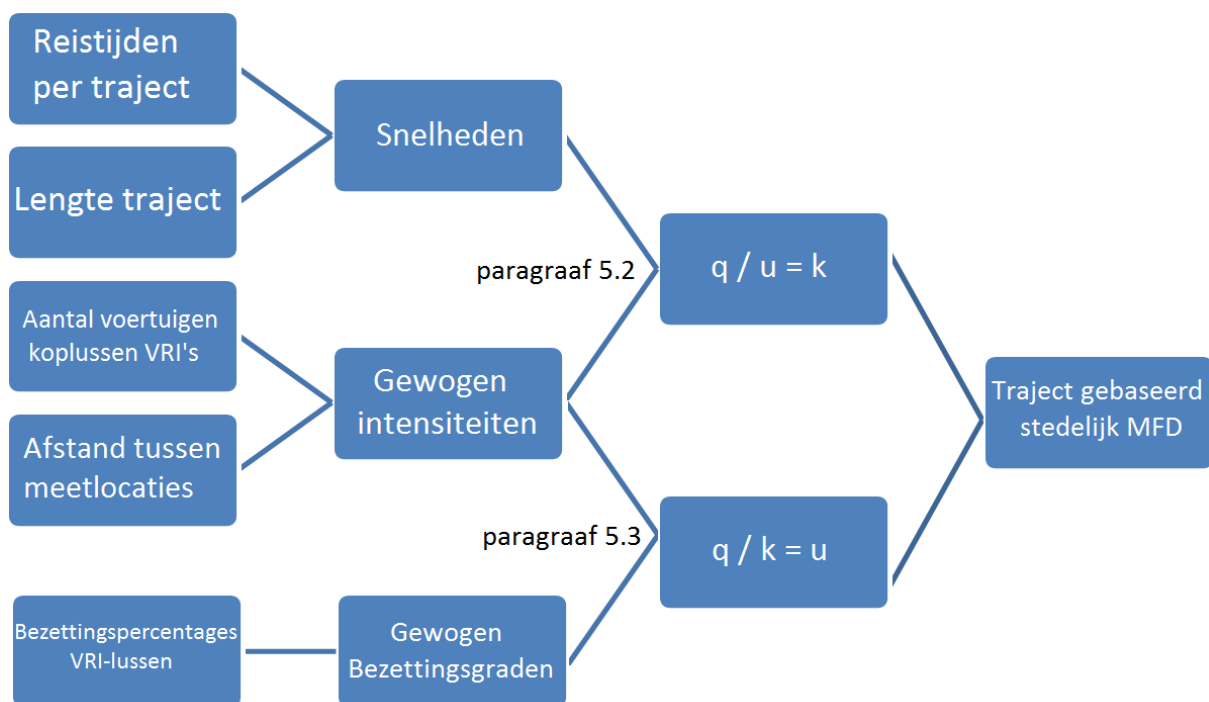
Het resultaat is de gewogen bezettingsgraad per aggregatieperiode voor het gewenste traject in de geselecteerde periode, waarbij periodes met meetfouten of missende data geen waarde hebben.

## 5. Data fuseren

In dit hoofdstuk wordt de bruikbare informatie, die volgens de in het vorige hoofdstuk beschreven methode is verkregen, gefuseerd om nieuwe informatie te creëren. In de eerste paragraaf is een overzicht gegeven welke datafusiestappen er worden gezet om tot een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te komen. Vervolgens gaat paragraaf twee in op de datafusie van de verkregen snelheden met de gewogen intensiteiten. De derde paragraaf behandelt de datafusie van de gewogen bezettingsgraden met de gewogen intensiteiten. Met beide datafusiemethodes worden de drie grootheden bekend, die nodig zijn om het op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te maken. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden de twee methodes met elkaar vergeleken om te bepalen welke de beste methode is voor het vervolg van het onderzoek.

### 5.1 Datafusieschema

Nu zijn voor alle trajecten apart de reistijden, gewogen intensiteiten en de gewogen bezettingsgraad waar VRI's aanwezig zijn, per aggregatieperiode berekend. Deze informatie wordt gefuseerd door middel van het in paragraaf 2.1 datafusieschema. Met de inmiddels vergaarde kennis is dit datafusieschema iets aangepast door de exacte stappen weer te geven om tot de relatie te komen voor een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram. Hieronder in Figuur 5.1 is dit aangepaste datafusieschema weergegeven.



**Figuur 5.1:** Datafusieschema voor het ontwikkelen van het op traject gebaseerd stedelijk MFD

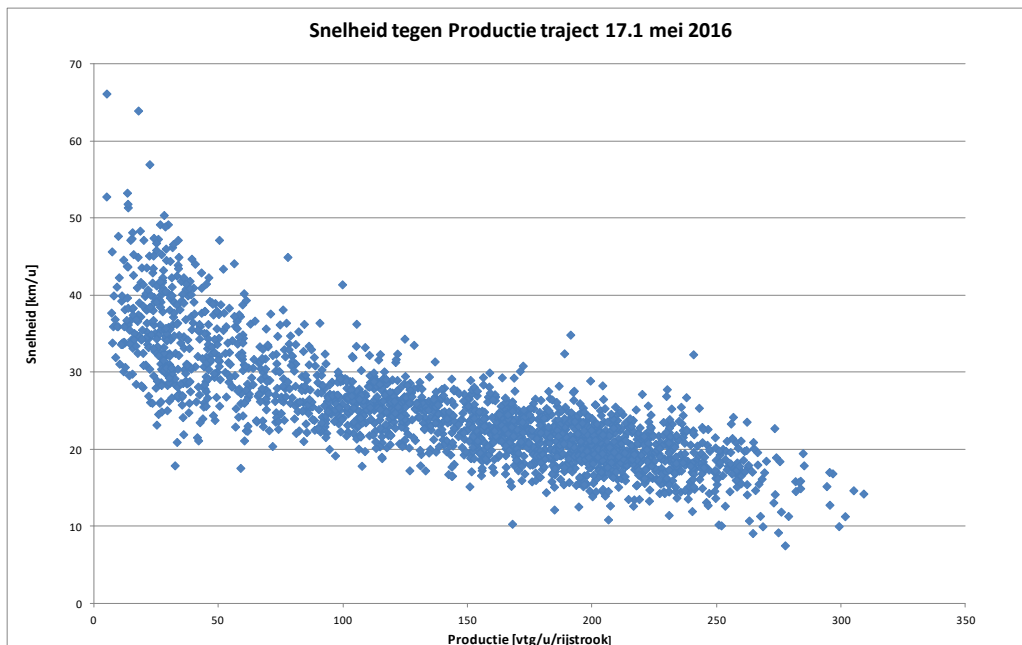
Elke waarde met overeenkomstige aggregatieperiode en datum moet naast elkaar worden gelegd. Dit gebeurt in paragraaf 5.2 voor reistijden (en dus snelheden) met gewogen intensiteiten en in paragraaf 5.3 voor de gewogen intensiteiten met de gewogen bezettingsgraden. Twee datafusiemethodes om met de relatie  $q = k * u$  tot informatie over alle drie de grootheden te komen. Dit hoofdstuk beschrijft beide methoden en geeft daarna inzicht in welk van de twee het beste kan worden gebruikt om het op een stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagram te beschrijven.

## 5.2 Fusie snelheden met gewogen intensiteiten

Met de reistijden per aggregatieperiode in seconden en de trajectlengte in meters wordt de snelheid in meters per seconde berekend en daarna omgerekend naar snelheid in kilometer per uur. Vervolgens wordt per aggregatieperiode met de gewogen intensiteit in voertuigen per uur en de gewogen hoeveelheid rijstroken op het traject de Productie in voertuigen per uur per rijstrook berekend. Daarna wordt de Accumulatie in voertuigen per kilometer per rijstrook berekend door de Productie te delen door de snelheid.

$$Accumulatie = \frac{Productie}{Snelheid} = \frac{\left[ \frac{vtg}{uur} \right]}{\left[ \frac{km}{uur} \right]} = \left[ \frac{vtg}{km} \right] \quad \text{Formule 5.1}$$

Voor elke aggregatieperiode is er nu een snelheid, productie en accumulatie bekend. Net als bij het fundamenteel diagram kunnen twee van de drie grootheden tegen elkaar worden uitgezet in een grafiek. Een voorbeeld hiervan is weergegeven voor traject 17.1 (net als in de vorige paragraaf). Eerst is de snelheid uitgezet tegen de Productie in Figuur 5.2.

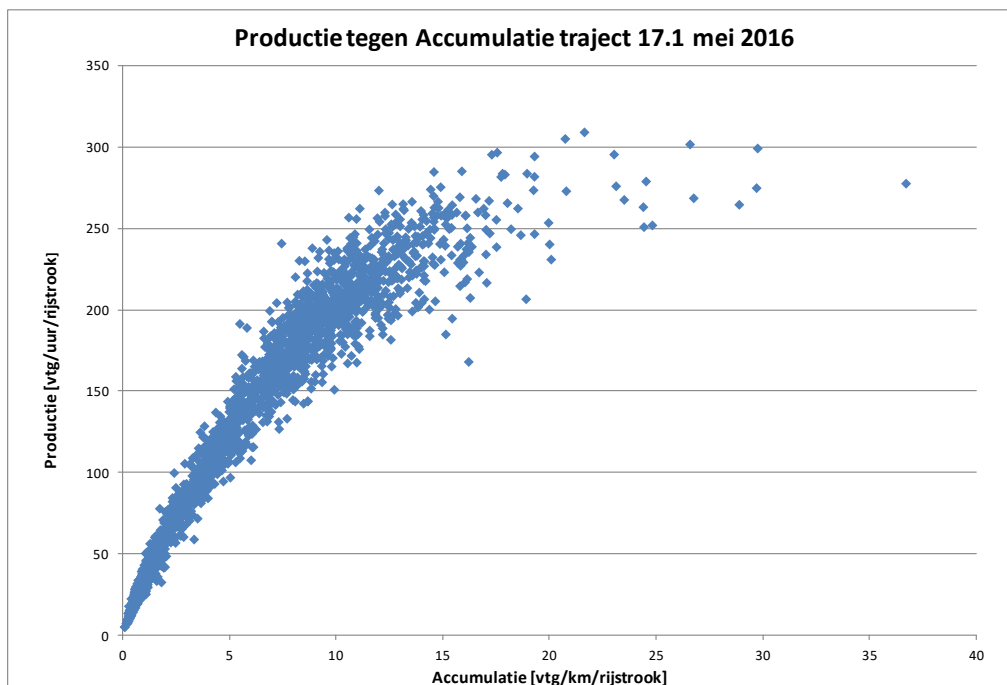


Figuur 5.2: Snelheid tegen Productie voor traject 17.1

Elk punt in de figuur stelt een waarde van een aggregatieperiode voor waarbij de snelheid is gekoppeld aan de bijbehorende Productie uit dezelfde periode van een kwartier. Door bij alle beschikbare aggregatieperiodes de data aan elkaar te koppelen ontstaat een puntenwolk, die de relatie laat zien tussen in dit geval snelheid en Productie. Bij een lage Productie onder de 30 vtg/u/rijstrook (200 waarden) liggen de snelheden op het traject tussen de 30 en 65 km/u met een gemiddelde van 37.4km/u. Dat terwijl de maximum snelheid op het traject 50 kilometer per uur bedraagt. In de vorige paragraaf werd al uitgelegd dat op een deel van het traject hoge bezettingsgraden werden gemeten, wat werd gekoppeld aan een knelpunt op het traject met een langere wachttijd voor het verkeerslicht. Dit was vooral te wijten aan de VRI met de zevensprong. Een langere wachttijd wil ook zeggen dat de snelheid over heel het traject gezien lager uitvalt dan de snelheid die gereden kan worden als er geen hinder wordt ondervonden. Door het knelpunt is het logisch dat de gemeten snelheden onder de maximum snelheid komen te liggen. Blijkbaar is het op dit traject zo dat zelfs bij een lage Productie de voertuigen op het traject dusdanig worden gehinderd dat ze de maximum snelheid ruim niet halen. Op de meeste trajecten ligt de gemiddelde waarde van de snelheid bij een lage Productie dicht tegen de maximum snelheid aan. Naarmate de Productie hoger wordt daalt de snelheid logischerwijs en in dit geval tot ongeveer 10 á 15 kilometer per uur.



Maar doordat er met de indirect gemeten snelheden en Productie ook een Accumulatie is berekend, kan ook de meest bekende vorm van het Macroscopisch Fundamenteel Diagram worden weergegeven. Deze relatie, waarbij voor elke aggregatieperiode de Productie is gekoppeld aan de Accumulatie, is weergegeven in Figuur 5.3 hieronder. Hierin is de typische vorm van het Macroscopisch Fundamenteel Diagram duidelijk te zien. Bij lage waarden van de dichtheid of Accumulatie stijgt de intensiteit of Productie haast lineair tot een waarde voor de Accumulatie van ongeveer 10 vtg/km/rijstrook. Bij een verdere toename van de Accumulatie stijgt de intensiteit steeds minder tot op een bepaald moment een soort maximumwaarde wordt bereikt die de capaciteit van het traject kan worden genoemd. Aangezien de capaciteit van een wegvak van allerlei factoren afhangt moet er worden uitgekeken met het hangen van een waarde aan de capaciteit. In de dataset van mei 2016 is een maximale Productie van 309 voertuigen per uur per rijstrook gemeten bij een Accumulatie van 21.6 voertuigen per kilometer per rijstrook. Deze waarde is gemeten op zaterdag 28 mei 2016 tussen 14.30 en 14.45 uur. Als de waarde van de Accumulatie nog verder stijgt, daalt de Productie weer tot uiteindelijk de theoretische waarde van nul, waar alle voertuigen op het traject stilstaan en zo dicht mogelijk tegen elkaar aanstaan.

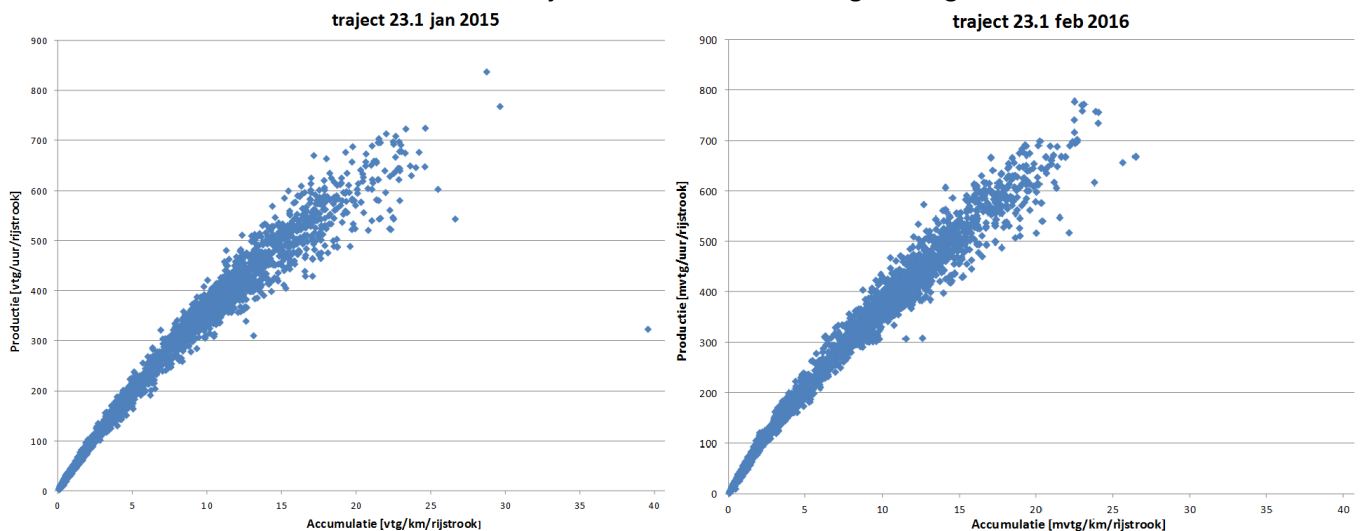


Figuur 5.3: Productie tegen Accumulatie traject 17.1

### *Uitzonderingstrajecten*

Voor vijf van de in paragraaf 4.1 geformuleerde trajecten zijn uitzonderingengemaakt bij het verzamelen, bewerken en combineren van de data. Het gaat om de trajecten 23.1, 23.2, 28.1, 28.2 en 29.2. Hieronder wordt uitgelegd waarom deze trajecten bijzonder zijn en op welke manier de methode is aangepast voor deze uitzonderingstrajecten.

Tijdens het onderzoek is voor traject 23.1 en 23.2 naar twee maanden aan data gekeken in plaats van één om te zien of er vergelijkbare waarden uitkomen. Door consistent te zijn in de geanalyseerde maanden van de trajecten is voor deze twee trajecten gekeken naar januari 2015 en februari 2016. Hieronder is voor beide maanden voor traject 23.1 de Productie uitgezet tegen de Accumulatie.



**Figuur 5.4: Productie tegen Accumulatie voor traject 23.1 met links jan 2015 en rechts feb 2016**

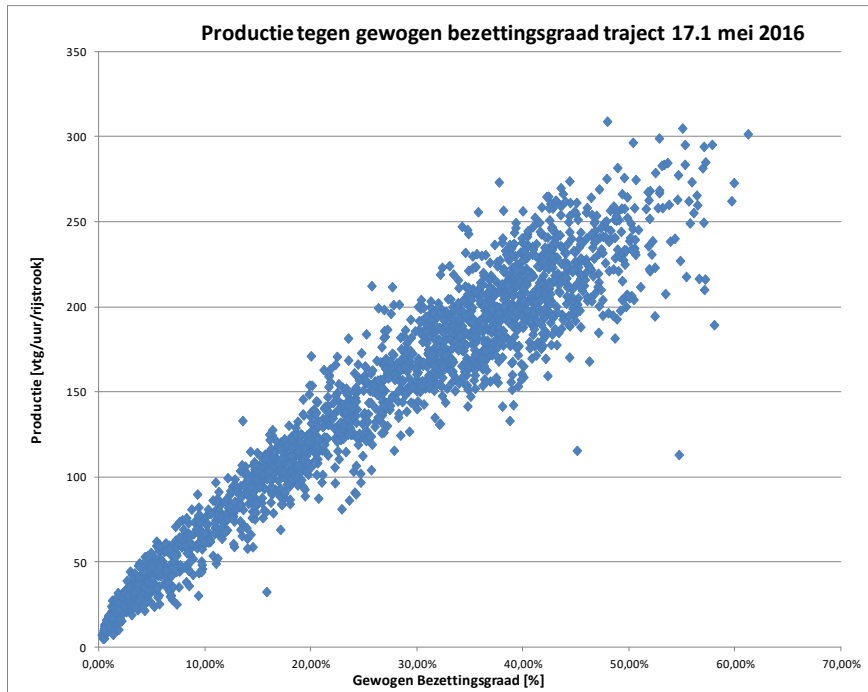
Beide puntenwolken hebben dezelfde vorm. De maximum waarde van de Productie voor januari 2015 ligt net als in februari 2016 over het algemeen rond de 700 vtg/u/rijstrook bij een Accumulatie van rond de 23 vtg/km/rijstrook. De verkeerssituatie is natuurlijk nooit identiek aan een andere maand, maar er wordt aangenomen dat er zonder aanpassingen in de wegconfiguratie en de cyclussen van de VRI's op het traject, de vorm van het op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram nagenoeg gelijk blijft. In het verdere verloop van de analyse zullen beide maanden worden meegenomen om de twee maanden voor de rest van de analyse te blijven vergelijken.

Heel traject 28, die het grootste deel van de S108 beslaat, is ook een uitzonderingstraject. Dit komt omdat dit traject vanaf mei 2016 is verlegd. Voor de oude locatie van traject 28 zijn alleen de reistijden bekend en de VRI's op het traject zijn geen van allen geschikt voor het meten van de intensiteiten. Voor de nieuwe locatie van traject 28 zijn nog geen reistijden bekend. Traject 28 zal dus verder niet meegenomen kunnen worden in de data-analyse van het DVM-netwerk. In een later stadium kan het ontwikkelde op een stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram wel toegepast worden op het traject.

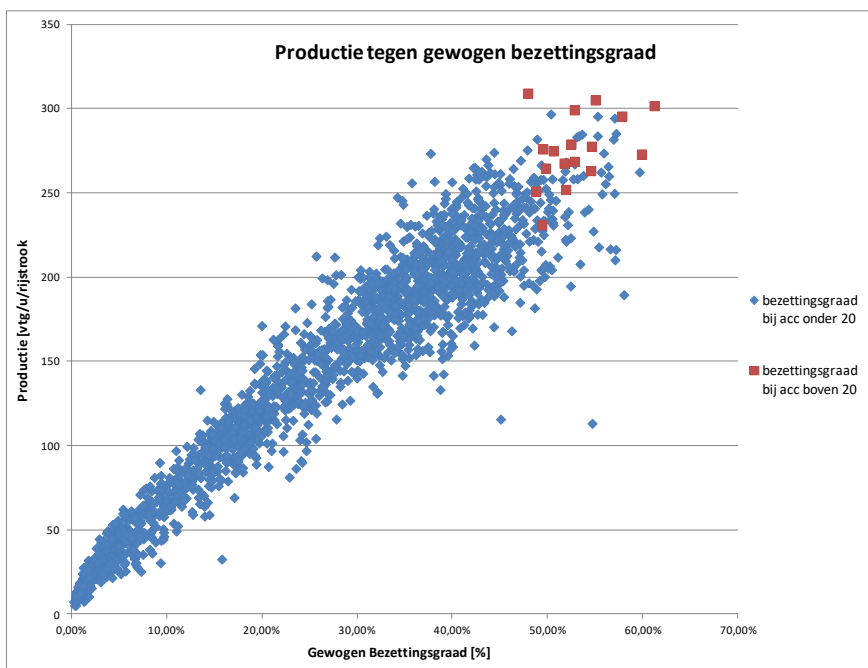
De laatste uitzondering is traject 29.2. De laatste VRI op dit traject miste een heel gedeelte van de data. Daardoor werd het aantal datapunten in de puntenwolk een stuk minder, aangezien alle aggregatieperiodes met missende of afwijkende data niet worden meegenomen in het beschrijven van de puntenwolk. Om de invloed van het aantal benodigde datapunten te onderzoeken is traject 29.2 zowel met als zonder deze laatste VRI meegenomen in het onderzoek. Aangezien de data van de andere VRI's op het traject wel redelijk compleet is, wordt hiermee onderzocht of het aantal datapunten ervoor zorgt dat er een afwijkend MFD op hetzelfde traject wordt ontwikkeld of dat de eigenschappen van het traject nog steeds hetzelfde worden beschreven.

### 5.3 Fusie gewogen bezettingsgraden met gewogen intensiteiten

Het combineren van grootheden is ook gedaan voor dezelfde Productie met de gewogen bezettingsgraden. Door deze waarden ook per aggregatieperiode aan elkaar te koppelen ontstaat er met deze methode ook een puntenwolk. In Figuur 5.5 is deze puntenwolk weergegeven voor opnieuw traject 17.1.



**Figuur 5.5: Productie tegen gewogen bezettingsgraad voor traject 17.1**



**Figuur 5.6: Productie tegen gewogen bezettingsgraad met verschoven datapunten**

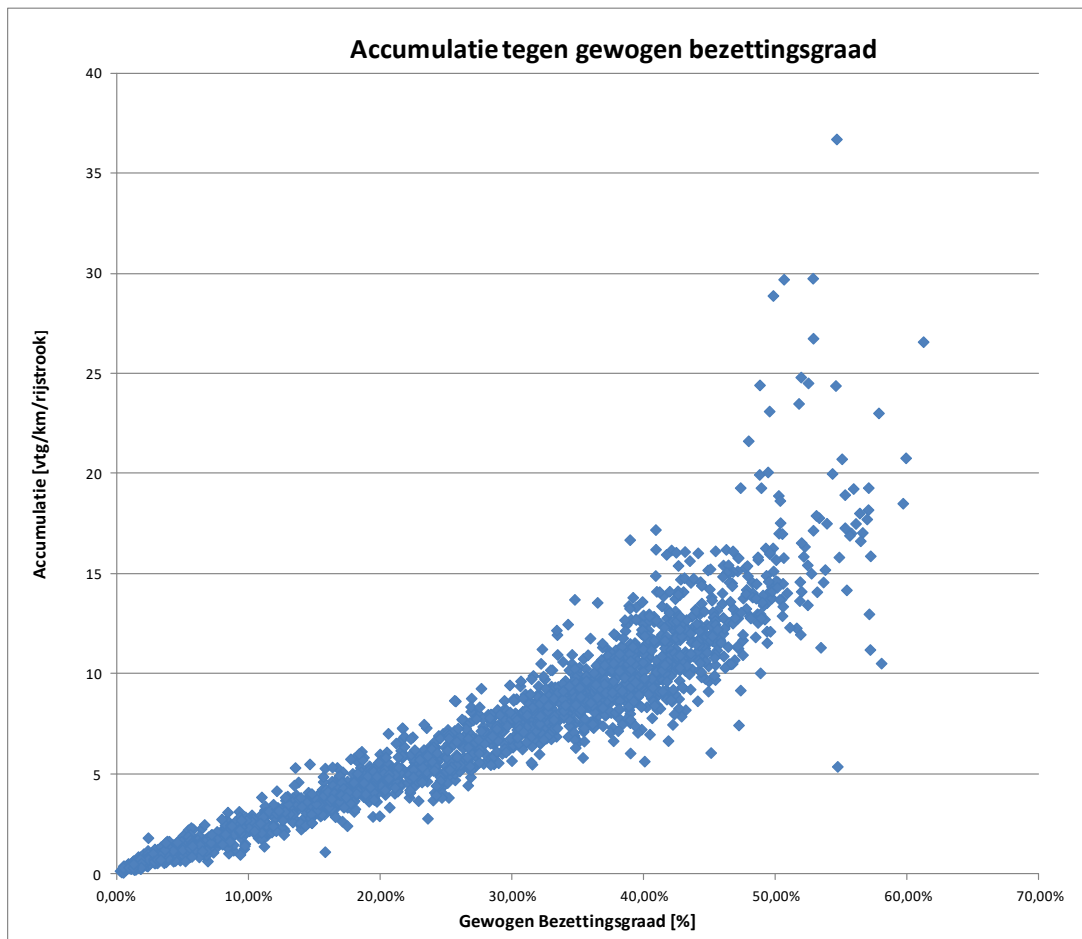
De bezettingsgraad verhoudt zich tot de dichtheid volgens Formule 2.4 uit paragraaf 2.1. Aangezien de gemiddelde lengte van een voertuig als factor kan worden gezien die voor alle datapunten hetzelfde is, wordt een zelfde vorm van de puntenwolk verwacht als te zien is bij het uitzetten van de Productie tegen de Accumulatie in de vorige deelparagraaf. Dit is echter niet zo. De dalende tak van de puntenwolk, nadat het capaciteitspunt zou zijn bereikt, is namelijk niet te zien in Figuur 5.5.

Uit de data die de Productie tegen de Accumulatie uitzet kan wel worden uitgezocht voor welke aggregatieperiodes de waarde van de Accumulatie boven de 20 vtg/km/rijstrook komt. Dit is voor 17 aggregatieperiodes. Deze zelfde periodes zouden bij de Productie tegen de gewogen bezettingsgraad ook zijn verwacht in een dalende tak bij een hoge waarde van de bezettingsgraad. In Figuur 5.6 zijn deze aggregatieperiodes weergegeven met rode vierkantjes, waar de rest van de figuur gelijk is aan Figuur 5.5.

De 17 punten waarbij de gewogen Accumulatie uit de Productie tegen de Accumulatie boven de 20 vtg/km/rijstrook komt, liggen nu in de puntenwolk samen met punten met een lagere waarde van de Accumulatie. Wel liggen de punten aan de kant van de hoogst gemeten bezettingsgraden, maar nog hogere bezettingsgraden waren verwacht. Blijkbaar heeft ook deze relatie een soort maximum capaciteitswaarde van de bezettingsgraad. Een mogelijke verklaring hiervoor is de wegconfiguratie. De weergegeven bezettingsgraden zijn gewogen over een traject. Veelvuldig wordt er bij de afslaanrichtingen van VRI's een extra rijstrook gelegd met een aparte koplus en lange lus. Deze opstelstroken zijn echter van beperkte lengte. Bij een lange rij op de middelste rijstroken voor de rechtdoorgaande stromen worden de voertuigen die links- of rechtsaf willen slaan geblokkeerd. Hierdoor zijn de lange lussen op de afslaanrichtingen een stuk minder vaak bezet. Doordat de waarden van alle lange lussen die relevant zijn voor het traject worden gewogen in een gemiddelde zullen de hoge waarden van de gemiddeldes worden afgevlakt, aangezien bij deze drukke periodes de afslaanrichtingen dus deels worden geblokkeerd.

## 5.4 Vergelijking datafusiemethodes

Eén van de twee methodes om de drie grootheden te bepalen moet worden gekozen om de relatie op te baseren. Om nog meer inzicht te krijgen in hoe goed de dichtheid wordt bepaald door de twee methodes wordt in Figuur 5.7 de berekende Accumulatie uit de datafusiemethode met reistijden uitgezet tegen de gewogen bezettingsgraad van de tweede methode. Op deze manier worden beide vormen van de berekende dichtheid uit de twee datafusiemethodes tegen elkaar uitgezet. De resulterende puntenwolk laat dus de relatie tussen beide methodes zien.



**Figuur 5.7: Accumulatie tegen gewogen bezettingsgraad traject 17.1**

Bij de lagere waarden loopt de puntenwolk nagenoeg lineair. Het wordt pas interessant bij de hogere waarden. Bij een verdere stijging boven de 25 vtg/u/rijstrook van de Accumulatie stijgt de bezettingsgraad op een gegeven moment niet meer mee, zoals al eerder opgemerkt. Een voordeel van de methode van de bezettingsgraden is wel dat deze is samengesteld uit dezelfde V-log databron. Wanneer er geen reistijden worden gemeten kan daarmee toch een bepaalde relatie gevonden worden tussen de intensiteit en de bezettingsgraden op een traject zoals weergegeven in Figuur 5.5. Aan de hoge waarden van de bezettingsgraad moet echter minder waarde worden gehecht, aangezien deze methode bij deze hoge waarden minder robuust is. Voor dit onderzoek zijn de hogere waarden van de Accumulatie of dichtheid juist interessant om ook de congestie-tak van het Macroscopisch Fundamenteel Diagram weer te kunnen geven. Daarom wordt geconcludeerd dat de methode aan de hand van gemeten reistijden, om hiermee uiteindelijk de Accumulatie mee te berekenen, geschikter is om een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te beschrijven dan de tweede methode, die de bezettingsgraden gebruikt.





## 6. Bepalen relatie MFD voor stedelijke trajecten

In het vorige hoofdstuk is de data van de DVM-trajecten gecombineerd tot een puntenwolk per traject. Dit hoofdstuk behandelt de methode om de relatie te vinden die deze puntenwolk het beste beschrijft. Om de relatie te beschrijven wordt ongeveer de helft van de trajecten gebruikt, de 'functietrajecten'. De andere helft van de trajecten zal daarna gebruikt worden om de relatie te valideren, de 'validatietrajecten', in het volgende hoofdstuk. De keuze welke trajecten zullen fungeren als functietrajecten en welke als validatietrajecten zal in de eerste paragraaf worden uitgelegd. Daarna volgt een beschrijving van de functievormen die worden meegenomen in het onderzoek, waarna de puntenwolken met deze functievormen gefit worden. In paragraaf 6.4 wordt met de best passende functievorm onderzocht wat het verband is tussen de verschillende trajecten en of deze in te delen zijn in categorieën met overeenkomende eigenschappen. In paragraaf 6.5 wordt daarna per categorie de vorm van een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram gedefinieerd. Paragraaf 6.6 beschrijft tenslotte hoe representatief de gedefinieerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen zijn voor de bijbehorende trajecten.

### 6.1 Traject categorisatie

De trajecten van het DVM-netwerk verschillen nogal van elkaar in bijvoorbeeld: functie binnen het netwerk, trajectlengte, het aantal VRI's op het traject en de geldende maximum snelheid. Door deze factoren wordt verwacht dat het Macroscopisch Fundamenteel Diagram van de trajecten ook gaat verschillen. Er wordt onderzocht in hoeverre de trajecten kunnen worden ingedeeld in categorieën met een overeenkomende vorm van het op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram. Bij de keuze welke trajecten als functietraject zullen fungeren en welke als validatietraject is het belangrijk dat van alle mogelijke categorieën één of meerdere trajecten worden meegenomen bij zowel het bepalen van de functie, als het valideren ervan. Daarom worden de trajecten met overeenkomende eigenschappen verdeeld over de functietrajecten en de validatietrajecten. In Tabel 6.1 hieronder is weergegeven welke trajecten zijn gebruikt om de relatie mee te bepalen en welke trajecten om de relatie vervolgens te valideren.

Functietraject	Validatietraject	Eigenschappen
1	9	Ringweg
10	11	Snelheidslimiet 70 km/u
2	7	Ringweg
8	25	Snelheidslimiet overgrote deel 70 km/u
26	27	Snelheidslimiet 80 km/u
3	5	Ringweg
4	6	Snelheidslimiet 50 km/u
12	15	Inprikkers/stroomwegen westzijde
13	16	Overeenkomende trajectlengte
14	17	Snelheidslimiet 50 km/u
18	19	Inprikkers/stroomwegen
22	23 2016	Overeenkomende trajectlengte
23 2015		Snelheidslimiet 50 km/u
20	21	Inprikkers/stroomwegen noordoostzijde
	24	Overeenkomende trajectlengte
		Snelheidslimiet 50 km/u
29	31	Centrumring
30	32	Snelheidslimiet 50 km/u
33	35	
34	36	
37	39	
38		

Tabel 6.1: Verdelen trajecten in functietrajecten en validatietrajecten

## 6.2 Soort relatie

In paragraaf 2.2 is benadrukt dat er een aantal verschillende manieren zijn om de relatie tussen Productie en Accumulatie te beschrijven. Een veelgebruikte functievorm is de derdegraads polynoom. In dezelfde paragraaf is deze functievorm ook ter discussie gesteld, aangezien deze niet terugbuigt naar beneden naar een intensiteitwaarde van nul, maar in plaats daarvan naar boven schiet. Volgens de fundamentele relaties behoort het op traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram dit niet te doen. Vandaar dat er nog een andere functievorm wordt meegenomen in het onderzoek. Deze functievorm is gebaseerd op Drake's Fundamental Diagram [25], maar kan door middel van drie toegevoegde coëfficiënten nog worden uitgerekt. In het vervolg van het onderzoek zal deze functievorm daarom de Adjusted Drake functie worden genoemd. De vrijedoorstrooms-tak start in de oorsprong waar zowel de intensiteit of de Productie nul is bij een waarde van nul voor respectievelijk de dichtheid en de Accumulatie. De vrijedoorstrooms-tak verloopt verder concaaf en in de dalende congestie-tak gaat de concave vorm over in een exponentieel dalende vorm. Aangezien deze functie wordt veronderstelt te snel te dalen in de congestie-tak van het diagram, is er een uitrekfactor toegevoegd. Deze verhoogt de Accumulatiewaarde met een steeds hogere waarde naarmate de Accumulatiewaarde stijgt. De functie die hieruit volgt is hieronder in Formule 6.1 weergegeven:

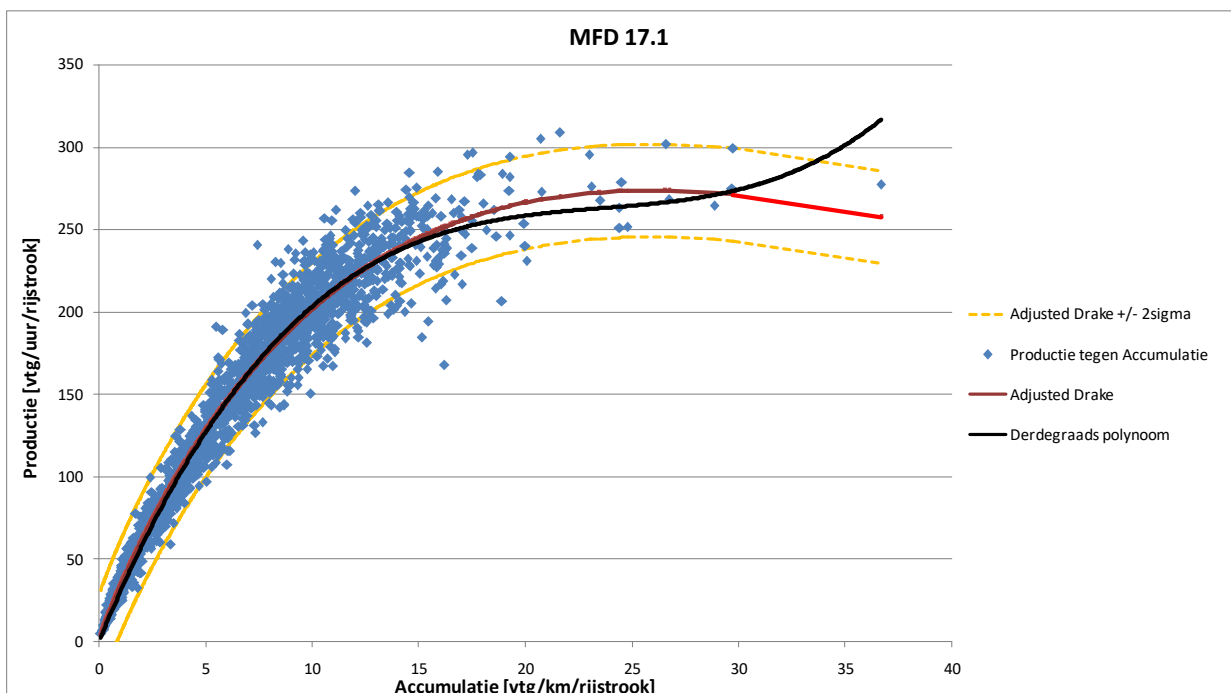
$$P(A) = A^{c_3} \left( c_1 \exp \left( \frac{-1/2 A^{c_3}}{c_2 c_3} \right) \right) \quad \text{Formule 6.1}$$

Waarin P de productie is, A de accumulatie en  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  de coëfficiënten. Als aan alle drie de coëfficiënten een waarde van 1 wordt toegewezen resulteert dit in de originele Drake's Fundamental Diagram. Verder bepaalt  $c_1$  de hoogte die de functie kan bereiken (maximale intensiteit of Productie) en bepaalt verder niks over de algemene vorm.  $c_1$  kan daarom worden gezien als een soort verticale opblaasfactor. Hoe hoger de waarde boven 1 hoe meer de grafiek verticaal naar boven wordt opgeblazen. Hoe lager de waarde onder de 1 duikt, des te meer krimpt de hele vorm van de grafiek verticaal naar beneden. De coëfficiënt  $c_2$  heeft invloed op bij welke waarde de grafiek exponentieel gaat dalen. Dit is een soort indicatie naar de maximale stremmingsdichtheid dan wel congestieaccumulatie. Ook de hoogte van de grafiek verandert mee bij het veranderen van deze coëfficiënt. Coëfficiënt  $c_3$  zegt iets over of de grafiek meer naar rechts of juist meer naar links wordt uitgerekt. Hoger dan een waarde van 1 wordt de grafiek naar links uitgerekt en met een waarde lager dan 1 wordt de grafiek naar rechts uitgerekt.

Een nadeel van de Adjusted Drake functievorm is het exponentieel dalende gedeelte van de congestie-tak. Door dit exponentiële gedeelte buigt de functie bij een stijgende dichtheid steeds langzamer richting een waarde van nul van de congestie-intensiteit. Normale waarden van deze stremmingsdichtheid zouden rond de 165 vtg/km/rijstrook moeten liggen (als voertuigen een gemiddelde lengte van ongeveer 4.5 meter hebben en een afstand met de voorganger behouden van ongeveer 1.5 meter). Echter doordat de functie steeds langzamer daalt ligt dit punt bij een onrealistisch hoge waarde. De Adjusted Drake functie is daardoor minder geschikt om Productie- of Accumulatiewaarden weer te geven bij ernstige congestie. Ernstige congestie op netwerkbasis komt echter niet vaak voor, wanneer de fundamentele relatie met behulp van een Macroscopisch Fundamenteel Diagram wordt weergegeven [7]. De stremmingsdichtheid wordt hier zelden tot nooit bereikt. De vraag is in hoeverre ernstige congestie op trajectbasis tot uiting komt bij het ontwikkelen van het op traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram. In het vervolg van het onderzoek zullen de ontwikkelde MFD's worden weergegeven met een doorgetrokken lijn voor het gedeelte dat daadwerkelijk met de data is gefit en een stippellijn voor het gedeelte hoe de functie door zou lopen aan de hand van het doorgetrokken gedeelte. In het onderzoek wordt zowel de derdegraads polynoom als de Adjusted Drake functie toegepast en gefit aan de hand van de bijbehorende coëfficiënten om te controleren welke van de twee functievormen de data het best weergeeft.

### 6.3 Fitten relatie

Voordat de derdegraads polynoom en de Adjusted Drake functie op alle trajecten wordt toegepast, wordt onderzocht welk van de twee functies de datawolken het best beschrijft. Daarom wordt voor twee trajecten onderzocht welke functie de kleinste gemiddelde fout heeft ten opzichte van de datapunten. Beide functies beschrijven de relatie tussen Productie en Accumulatie. Aangezien voor hoge waarden van de Productie meerde waarden van de Accumulatie mogelijk zijn wordt de functie gefit aan de hand van de Accumulatiewaarden. Bij iedere Accumulatiewaarde van een datapunt wordt de fout berekend tussen de Productiewaarde van het punt en de Productiewaarde die de functie aangeeft. Beide functies worden aan de hand van de coëfficiënten  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  door de puntenwolk gefit, zodat de gemiddelde fout zo klein mogelijk is. Dit is berekend met de indicator Root Mean Square Error (RMSE) zoals beschreven in paragraaf 2.2. In onderstaande Figuur 6.1 is de fit voor traject 17.1 weergegeven. Zowel de puntenwolk (blauwe punten), de derdegraads polynoom (zwarte lijn), de Adjusted Drake functie (rode lijn) zijn weergegeven.



**Figuur 6.1: Vergelijk fit derdegraads polynoom en Adjusted Drake voor traject 17.1**

In de figuur is duidelijk te zien dat de derdegraads polynoom bij hoge Accumulatiewaarden naar boven buigt. Dit zorgt ervoor dat de fout voor deze punten hoger is aangezien de functie eigenlijk zou moeten terugbuigen naar beneden. Deze fout wordt dus extra groot voor trajecten waar regelmatig hoge Accumulatiewaarden worden gemeten. In Tabel 6.2 hieronder is voor de twee onderzochte trajecten de RMSE weergegeven voor de beide functies. Traject 17.1 en ter vergelijking traject 26.1 aangezien op dit traject meer ernstige congestie voorkomt. Uit de tabel wordt geconcludeerd dat de RMSE en dus de gemiddelde fout kleiner is voor de Adjusted Drake functie. Deze functie zal daarom worden toegepast op de rest van de trajecten voor het vervolg van het onderzoek.

Functievorm	RMSE traject 17.1	RMSE traject 26.1
Derdegraads polynoom	14,13	79,85
Adjusted Drake	14,04	63,03

**Tabel 6.2: Vergelijk RMSE [vtg/u/rijstrook] derdegraads polynoom en Adjusted Drake voor traject 17.1 en 26.1**

In Figuur 6.1 zijn ook twee gestippelde gele lijnen toegevoegd. Deze geven de standaarddeviatie van de Productie weer ten opzichte van de Adjusted Drake functie (functie +/- 2σ) met een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Dit is weergegeven om een globale indruk te geven hoe ver het grootste gedeelte van de datapunten van de functie aflight. De standaarddeviatie is berekend volgens Bessel's correctie [26] volgens onderstaande Formule 6.2. Bessel's correctie is meegenomen in de standaarddeviatie omdat de data slechts een steekproef is uit een constante stroom aan data. Bessel's correctie corrigeert voor de afhankelijkheid tussen de daadwerkelijk gemeten waarde en de geschatte waarde.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{Formule 6.2}$$

Waarin  $\sigma$  de standaarddeviatie is,  $n$  het aantal metingen,  $y_i$  de daadwerkelijke waarde van de Productie uit de data en  $\hat{y}_i$  de waarde van de Productie uit de Adjusted Drake functie. Om de bovenste gele stippellijn in Figuur 6.1 te krijgen is twee keer de waarde van de standaarddeviatie opgeteld bij elke Productiewaarde van de Adjusted Drake functie. Om de onderste gele stippellijn te krijgen is twee keer de waarde van de standaarddeviatie afgetrokken van de Productiewaarden van de Adjusted Drake functie. Hierdoor ontstaat een bandbreedte tussen de gele stippellijnen, waartussen 95% van de datapunten ligt.

## 6.4 Clusteren trajecten

Met de Adjusted Drake functie zijn alle trajecten vervolgens gefit aan de hand van de drie coëfficiënten. Elk traject heeft hiermee een eigen op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram met eigen specifieke waarden voor  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$ . De veertig functietrajecten met de waarden van  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  en ook de bijbehorende RMSE is weergegeven in Tabel C1 in Bijlage C. De gemiddelde RMSE van de functietrajecten voor de clustering is 24 vtg/u/rijstrook, met een standaarddeviatie van 12 vtg/u/rijstrook.

Aan de hand van de coëfficiënten worden de trajecten met elkaar vergeleken om trajecten met overeenkomende eigenschappen te clusteren tot categorieën. Dit wordt gedaan omdat er later een onbekend traject (gedurende het onderzoek de validatietrajecten) kan worden ingedeeld in één van de categorieën om een cluster MFD te bepalen, om daarmee vervolgens intensiteiten of reistijden mee te schatten. De drie coëfficiënten  $c_1$ ,  $c_2$  als  $c_3$  kunnen echter alleen gelijkwaardig worden vergeleken als de waarden in de zelfde orde van grootte staan. Vandaar dat de coëfficiënten afzonderlijk worden gewogen zodat de waarden van zowel  $C_1$ ,  $C_2$  als  $C_3$  voor alle trajecten verhoudingsgewijs een waarde tussen de 0 en 1 krijgen. Een waarde van 0 voor de coëfficiënt van het traject met de laagste waarde tot een coëfficiëntwaarde van 1 voor het traject met de hoogste waarde.

Na deze weging wordt de clustermethode k-means clustering algoritme toegepast [27]. In dit algoritme wordt eerst het aantal gewenste clusters gekozen waarmee gerekend gaat worden. Van te voren kan er bijvoorbeeld worden gekozen om de trajecten in 6 categorieën te verdelen, dus hiervoor moeten er dan ook 6 clusters gevormd worden. Vervolgens moeten er dan evenzoveel beginpunten worden gekozen. Aangezien het om trajecten met drie coëfficiënten gaat heeft ieder traject een punt in een driedimensionale ruimte. Er moet een gelijk aantal trajecten worden gekozen als dat er clusters gewenst zijn, die fungeren als beginpunt. In dit geval zijn dat er dus 6. Deze punten gelden als de begincentra van de clusters. De keuze welke trajecten als startpunt worden gekozen gebeurt random.

De volgende stap is om te bepalen welke van de overige trajecten bij welk clustercentrum worden ingedeeld. Dit geldt als het begin van iteratiestap 1. Per traject wordt de Sum Squared Error (SSE) berekend ten opzichte van elk clustercentrum. Deze foutmaat is een optelsom van de gekwadrateerde afstanden van elke afzonderlijke coëfficiënt ( $C_1$ ,  $C_2$  en  $C_3$ ) ten opzichte van een clustercentrum. Stel dat traject 1.1 is aangewezen als clustercentrum. Dan wordt de SSE van traject 1.2 ten opzichte van dit clustercentrum als volgt bepaald. De verschillen tussen de drie coëfficiënten worden gekwadrateerd en vervolgens bij elkaar opgeteld. Dit voorbeeld is weergegeven in Tabel 6.3 hieronder.

	Traject	C1	C2	C3
Clustercentrum	1.1	0.55	0.19	0.64
Traject	1.2	0.65	0.24	0.47
Vershil		- 0.10	- 0.04	0.17
Kwadraat		0.010	0.002	0.030
Sum Squared Error				0.042

Tabel 6.3: Voorbeeld berekening SSE

Zo wordt de SSE naar elk centra berekend. Het traject wordt vervolgens ingedeeld bij het cluster waarvoor de SSE van het traject minimaal is. Voor de trajecten die als startpunt zijn gekozen is de SSE naar de eigen cluster natuurlijk nul. Daarom telt deze niet mee en wordt dit traject ingedeeld bij de cluster die boven nul de kleinste SSE bevat.

Alle trajecten zijn na deze berekening ingedeeld bij een cluster. Vervolgens worden er nieuwe clustercentra bepaald. Dit gebeurt door het gemiddelde per coëfficiënt te nemen van de trajecten die bij de betreffende cluster zijn ingedeeld. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Tabel 6.4. In het voorbeeld bestaat een cluster uit de ingedeelde trajecten 18.1 en 34.1. Het nieuwe clustercentrum wordt bepaald door per coëfficiënt het gemiddelde van de trajecten te berekenen (laatste kolom).

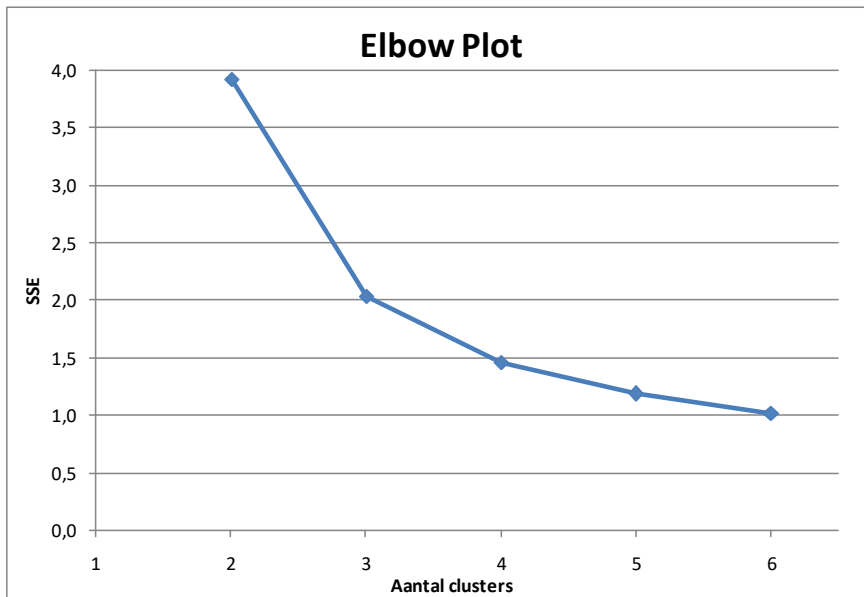
Trajecten ingedeeld in cluster	C1	C2	C3
18.1	0.004	0.181	0.537
34.1	0.087	0.215	0.452
Nieuw clustercentrum	$\frac{0.004 + 0.087}{2} = \mathbf{0.045}$	$\frac{0.181 + 0.215}{2} = \mathbf{0.198}$	$\frac{0.537 + 0.452}{2} = \mathbf{0.494}$

Tabel 6.4: Voorbeeld berekening nieuw clustercentrum

Voor elke cluster zijn dan de coördinaten van het nieuwe centrum bepaald. Hierna begint de volgende iteratie, waarin weer wordt begonnen met het per traject berekenen van de SSE ten opzichte van de nieuwe clustercentra. Ook de vervolgstappen worden herhaald. Er volgt steeds een nieuwe iteratie totdat er geen trajecten meer van cluster wisselen over de iteraties heen. De clustercentra veranderen dan namelijk ook niet meer, omdat deze dan worden bepaald uit het gemiddelde van steeds dezelfde trajecten. Als dit het geval is zijn de waarden van  $C_1$ ,  $C_2$  en  $C_3$  per cluster bekend en welke trajecten er tot elk cluster behoren. Per cluster is daarmee de SSE van de bijbehorende trajecten berekend. Dit is dus per cluster de opgetelde gekwadraterde fout van alle bij het cluster horende trajecten ten opzichte van het clustercentrum. Dit is een maat hoe representatief een clustercentrum is voor de drie eigenschappen ( $C_1$ ,  $C_2$  en  $C_3$ ) van de bijbehorende trajecten. Als de SSE's van alle clusters worden opgeteld is een maat berekend hoe goed het totale aantal clusters de eigenschappen van alle trajecten representeert.

In het voorbeeld was gekozen om de trajecten in 6 clusters onder te verdelen. Dit kan natuurlijk ook in meer of minder clusters. Hoe meer clusters, des te kleiner de totale SSE wordt, aangezien de afstand naar de centra van de clusters kleiner wordt naarmate er meer clusters aanwezig zijn. Echter is het wel gewenst om zo min mogelijk clusters te hebben om een werkbaar en behapbaar aantal clusters te hebben. Er moet dus een balans worden gezocht tussen een acceptabele SSE en het aantal clusters. Om te bepalen bij welke hoeveelheid clusters dat is wordt een Elbow Plot gemaakt [27]. Hierin wordt de totale SSE tot de clustercentra uitgezet tegen het aantal clusters. In een Elbow Plot is te zien hoeveel de totale SSE daalt bij het toevoegen van een enkele cluster. Deze fout daalt steeds minder wanneer er steeds nog een cluster wordt toegevoegd. Daarmee daalt ook de toegevoegde waarde van het toevoegen van dat extra cluster. Uiteindelijk kan er worden doorgegaan tot er evenveel clusters zijn als trajecten, dan is namelijk de fout nul. Er moet dus een balans worden gezocht tussen een acceptabele SSE en het aantal clusters, waarbij bij het toevoegen van een extra cluster de daling in SSE het niet meer waard is. Dit aantal ligt in de Elbow Plot in de "elleboog". Voor het onderzoek is het k-means clustering algoritme meerdere malen toegepast om de SSE's voor verschillende aantallen clusters te berekenen. Vervolgens zijn de resultaten met een Elbow Plot weergegeven in Figuur 6.2.





Figuur 6.2: Elbow plot bepalen optimaal aantal clusters

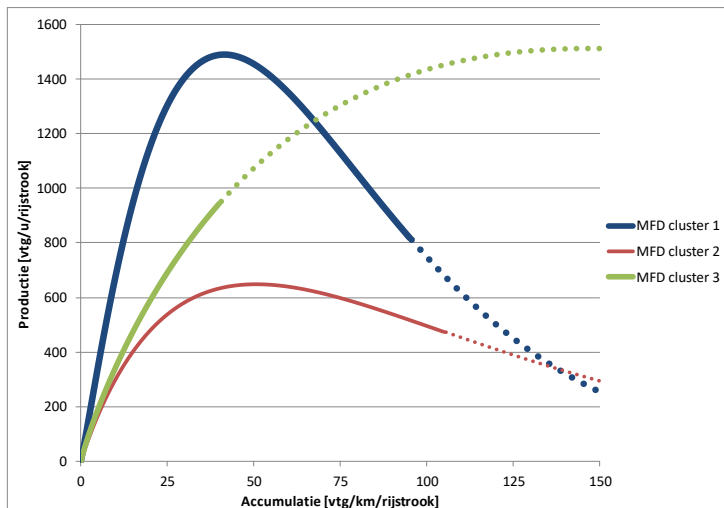
Van twee naar drie clusters halveert bijna de SSE-waarde (93%). Bij het toevoegen van weer een extra cluster daalt de SSE-waarde steeds minder hard. De daling in waarde en de procentuele daling van de SSE is in Tabel 6.5 concreet gemaakt.

Aantal clusters	SSE	Daling SSE bij toevoegen extra cluster	Procentuele daling SSE
2	3,92		
3	2,03	1,89	93%
4	1,46	0,58	40%
5	1,18	0,28	23%
6	1,01	0,17	17%

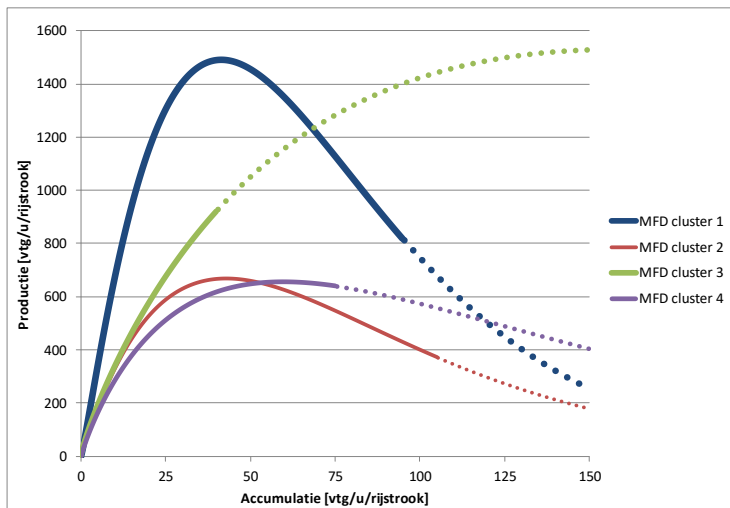
Tabel 6.5: Daling SSE bij toevoegen extra cluster

Met de Elbow Plot methode wordt het optimale aantal clusters bepaald door de waarde van het aantal clusters in “de elleboog” van de Elbow Plot. Deze elleboog of knik in de grafiek is te zien rond het aantal clusters van 3 á 5. Dit is echter nog geen duidelijke keuze bij welk aantal clusters het toevoegen van een extra cluster relatief weinig toegevoegde waarde meer heeft. Daarom wordt niet alleen naar de berekende daling in SSE gekeken, maar worden ook de MFD’s gemaakt bij 3, 4 en 5 clusters. Samen met de SSE-waardes wordt hierna bepaald hoeveel clusters er worden toegepast voor het vervolg van het onderzoek.

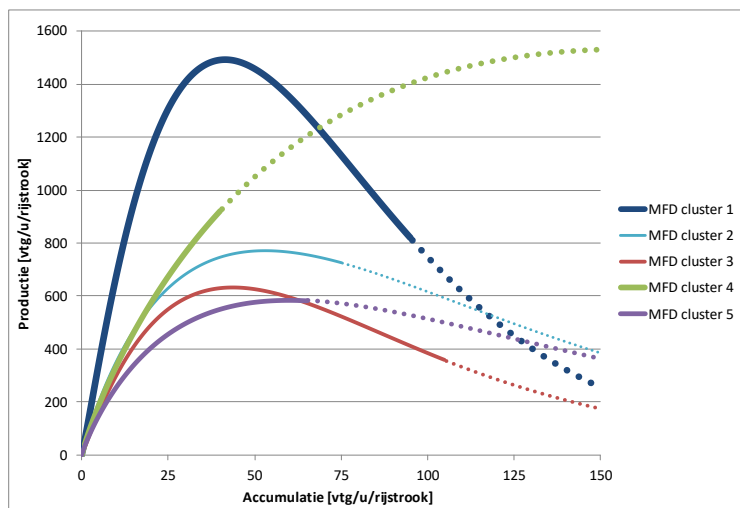
Om de coëfficiëntwaarden van de clustercentra toe te passen voor het construeren van de MFD’s moeten de weegfactoren weer ongedaan worden gemaakt. Hiermee worden de echte waarden van de coëfficiënten weer zichtbaar, zodat deze toepasbaar zijn voor de Adjusted Drake functie. Dit is gedaan voor elk cluster door de gemiddelde coëfficiëntwaardes  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  voor de bij elke cluster horende trajecten te berekenen. Na het ongedaan maken van de weegfactoren zijn de waardes van  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  zichtbaar voor elk individueel cluster. Dit is gedaan voor de situatie met 3, 4 en 5 clusters. Hoe vervolgens de MFD’s van de clusters eruit zien is weergegeven in Figuur 6.3 t/m 6.5. In deze figuren is het doorgetrokken gedeelte van het MFD het gedeelte waarop daadwerkelijke data is gefit. De stippellijn geeft aan hoe de vorm van het MFD door zou lopen bij hogere Accumulatiewaarden aan de hand van de fit. Deze waarden zijn echter niet in praktijk gemeten.



**Figuur 6.3: MFD's k-means clustering voor 3 clusters**



**Figuur 6.4: MFD's k-means clustering voor 4 clusters**



**Figuur 6.5: MFD's k-means clustering voor 5 clusters**

Uit deze figuren, samen met de daling van de SSE-waarde, moet worden bepaald bij welk aantal clusters het toevoegen van nog een extra cluster relatief weinig oplevert. In Figuur 6.3 zijn drie clusters weergegeven, die alle drie sterk van elkaar verschillen. Dit betekent dat alle drie de clustertrajecten ook echt andere eigenschappen hebben.

In Figuur 6.4 zijn de MFD's weergegeven bij het hebben van vier clusters. Hierin is te zien dat zowel cluster 1 als cluster 3 identiek zijn aan diezelfde clusters bij het hebben van drie clusters. Cluster 2 is bij het hebben van vier clusters dus uitgesplitst in cluster 2 en cluster 4.

In Figuur 6.5 zijn de MFD's weergegeven bij het hebben van vijf clusters. Ook hierin zijn cluster 1 en 4 weer identiek aan clusters 1 en 3 bij het hebben van drie clusters. Alleen wordt het tweede cluster nu zelfs uitgesplitst in drie clusters, namelijk cluster 2, 3 en 5.

Uit de figuren volgt dat drie clusters noodzakelijk zijn aangezien er dan drie MFD's ontstaan met significant verschillende eigenschappen. Bij zowel drie, vier als vijf clusters zijn steeds twee clusters identiek. De vraag is dus in hoeverre de derde cluster uitgesplitst dient te worden in meer clusters. Liever zou er iets meer nuance zijn dan bij in totaal drie clusters met grote verschillende eigenschappen en bij vijf clusters zijn de verschillen in eigenschappen tussen cluster 2, 3 en 5 al een stuk kleiner, waardoor het indelen van een onbekend traject bij één van de clusters al een stuk lastiger wordt. Aangezien ook de "elleboog" tussen de drie en vijf clusters ligt wordt besloten om in het vervolg van het onderzoek in het midden te gaan zitten en vier clusters te gebruiken.

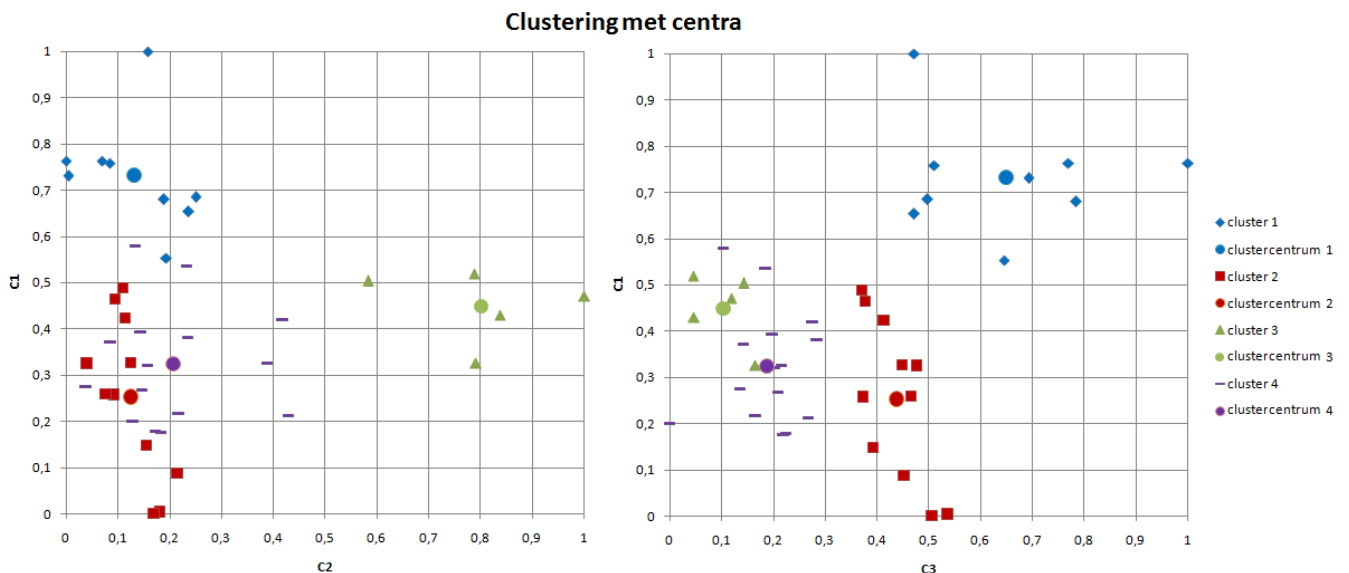
## 6.5 Resulterende clusters

Vier resulterende clusters betekent dat de trajecten van het stedelijk wegennetwerk van Den Haag worden onderverdeeld in vier categorieën. Per categorie is er een Macroscopisch Fundamenteel Diagram gemaakt, die representatief is voor de desbetreffende cluster. De clustercentra met bijbehorende coördinaten en SSE zijn weergegeven in onderstaande Tabel 6.6.

Clustercentra	C1	C2	C3	Clustercentra	Aantal functietrajecten	SSE per cluster
Cluster 1	0.73	0.13	0.65	Cluster 1	9	0.45
Cluster 2	0.25	0.13	0.44	Cluster 2	11	0.36
Cluster 3	0.45	0.80	0.10	Cluster 3	5	0.15
Cluster 4	0.32	0.21	0.19	Cluster 4	15	0.49
Gemiddelde	0.41	0.24	0.35	Totaal	40	1.46

Tabel 6.6: Coördinaten clustercentra met aantal trajecten en bijbehorende SSE

De SSE is voor cluster 3 wel het kleinst, maar het aantal trajecten dat hiertoe behoort is ook kleiner. Relatief gezien ligt de SSE per cluster daarom rond de zelfde waarde. Aangezien de waarden uit de tabel nog erg abstract zijn, zijn de clustercentra met bijbehorende trajecten in Figuur 6.6 grafisch weergegeven.



Figuur 6.6: Locatie coëfficiënten clustercentra met bijbehorende trajecten

In de plots zijn steeds twee van de drie coëfficiënten tegen elkaar uitgezet. In feite zouden de punten in een 3D-ruimte moeten liggen, aangezien er drie coëfficiënten zijn, maar in een 3D-ruimte zijn de afstanden tussen de punten visueel moeilijker in te schatten. Vandaar dat er twee plots naast elkaar staan. In de linker plot is c1 uitgezet tegen c2. In de rechter plot, die in feite de diepte van de linker plot weergeeft, is c1 uitgezet tegen c3. Om een goed beeld te hebben van de verdeling van de trajecten over de clusters zijn daarom beide plots noodzakelijk. In de linker plot is te zien dat vooral cluster 1 en 3 van elkaar verschillen en dus terecht aparte categorieën zijn. De centra van cluster 2 en 4 liggen redelijk dicht tegen elkaar aan. Echter gaat het niet om twee, maar om drie coëfficiënten. Op de rechterplot is te zien dat de centra van cluster 2 en 4 weldegelijk van elkaar verschillen, aangezien ze hierin zelfs in meerdere mate van elkaar af liggen. Wederom ligt cluster 1 verder bij de anderen vandaan.

De categorisatie wijst uit welke trajecten overeenkomende eigenschappen hebben. Daarom is in Tabel 6.7 weergegeven welke trajecten er bij welke cluster horen.

Clusters	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Trajecten	1.1	3.1	4.1	3.2
	1.2	14.1	12.1	4.2
	2.1	14.2	12.2	13.1
	2.2	18.1	20.1	13.2
	8.2	18.2	33.2	22.1
	10.1	20.2		22.2
	10.2	23.1 2015		29.1
	26.1	23.2 2015		29.2
	26.2	34.1		29.2 zonder laatste vri
		38.1		30.1
		38.2		30.2
				33.1
				34.2
				37.1
				37.2

Tabel 6.7: Indeling trajecten in clusters

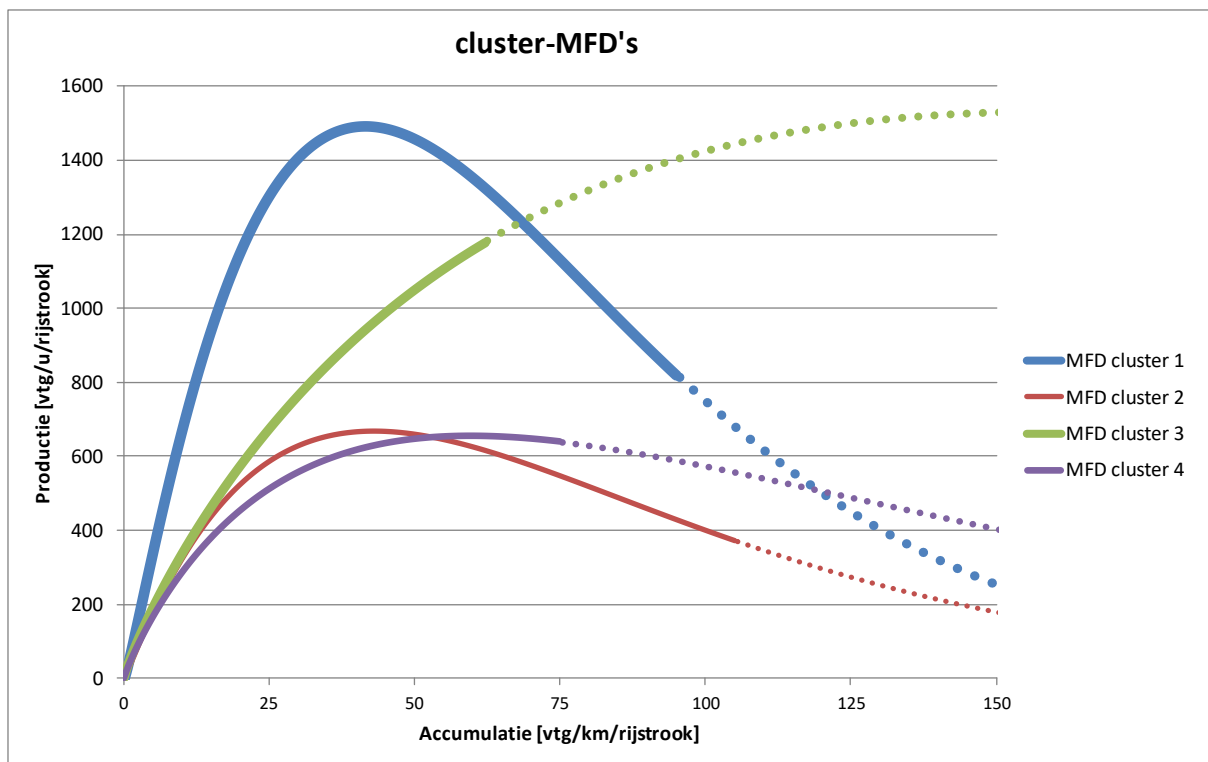
Hierin valt vooral op dat in cluster 1 de trajecten zitten met een maximum snelheid boven de 50 kilometer per uur. Verder lijkt de locatie binnen het netwerk niet doorslaggevend te zijn, aangezien in cluster 2, 3 en 4 zowel trajecten van de ring, inprikkers als de centrumring aanwezig zijn. In cluster 3 lijken de drukke wat langere trajecten met een relatief groot aantal VRI's voor te komen. Over het algemeen behoren de trajecten met tegenovergestelde rijrichting tot dezelfde cluster. Deze op het eerste oog getrokken conclusies zullen nader worden onderzocht met het verloop van de geconstrueerde op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen.

Om de coëfficiëntwaarden van de clustercentra toe te passen voor het construeren van de MFD's moeten de weegfactoren ongedaan worden gemaakt. Hiermee worden de echte waarden van de coëfficiënten weer zichtbaar, zodat deze toepasbaar zijn voor de Adjusted Drake functie. Na het ongedaan maken van de weegfactoren zijn de waardes van  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  weergegeven in Tabel 6.8.

Clusters	C1	C2	C3
Cluster 1	63,0	22,3	1,1
Cluster 2	38,6	21,8	1,0
Cluster 3	48,7	72,2	0,9
Cluster 4	42,2	28,0	0,9

Tabel 6.8: Coëfficiënten clusters voor Adjusted Drake functie

Met de coëfficiënten van de clustercentra kunnen de vier op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen gemaakt worden voor de vier trajectcategorieën zoals deze al zijn weergegeven in Figuur 6.4. Deze is op de volgende pagina in Figuur 6.7 voor de duidelijkheid wat groter weergegeven, om de eigenschappen van de afzonderlijke MFD's nader te beschrijven.



Figuur 6.7: MFD voor de vier clusters

Hierin is te zien dat cluster 1 en 3 naar ongeveer dezelfde capaciteitswaarde van de Productie stijgen. Hetzelfde gebeurt bij cluster 2 en 4. Cluster 2 en 4 liggen zelfs in zijn geheel relatief dicht bij elkaar, al kan cluster 2 langer een hogere waarde van de Productie vasthouden bij een zelfde Accumulatie en bereikt cluster 2 het capaciteitspunt bij een lagere Accumulatiewaarde dan cluster 4. Hierdoor zijn ook deze twee clusters verschillend.

De MFD's zijn vooral gebaseerd op basis van punten in de vrijedoorstreams-tak en rond het capaciteitspunt, aangezien ver gevorderde fases in de congestie-tak zelden tot nooit voorkomen in de onderzochte data. De vier MFD's zijn daarom weergegeven met een doorgetrokken lijn voor het gedeelte van de functies die met de data zijn gefit. De gestippelde lijnen zijn een weergave van hoe de vier MFD's verder zouden lopen op basis van de gefitte gedeeltes. De waarden van de Accumulatie onder de 75 vtg/km/rijstrook bepalen daardoor over het algemeen in sterke mate de complete vorm van het MFD. In deze gedeeltes is te zien dat vooral cluster 1 een stuk sterker stijgt dan de andere drie clusters. Dit duidt op een hogere vrijedoorstreams-snelheid. Dit komt overeen met de conclusie die is getrokken over de indeling van de trajecten in de clusters. In cluster 1 komen namelijk de trajecten voor met een maximumsnelheid boven de 50 kilometer per uur. De stijging van cluster 2 en 3 voor Accumulatiewaardes onder de 20 vtg/km/rijstrook is nagenoeg gelijk. Bij cluster 4 neemt te stijging al vrij snel af naarmate de Accumulatie stijgt.

Het dalen van de Productie na het bereiken van het capaciteitspunt hangt samen met de waarde voor de stremningsdichtheid dan wel Accumulatie. Dit is de waarde voor de dichtheid dan wel Accumulatie waarbij al de voertuigen stil staan en er dus geen Productie meer is. Deze situatie zal in een netwerk of op een traject haast nooit voorkomen, er is namelijk over het algemeen altijd wel een alternatieve route die wel iets doorrijdt. De vorm van de gekozen Adjusted Drake functie buigt niet helemaal terug naar een Productie van nul. De stremningsdichtheid dan wel Accumulatie voor deze functie vorm is daarom niet realistisch. Aangezien Accumulatiewaarden richting dit stremningspunt zelden tot nooit worden gemeten is dit voor het onderzoek niet probleem.

Bij cluster 3 moet echter wel nog een kanttekening worden gemaakt. De Productiewaarden blijven namelijk stijgen bij relatief hoge waarden van de Accumulatie. Dit is onrealistisch, aangezien het aantal voertuigen op 1 kilometer bij stilstand rond een waarde van 165 voertuigen per rijstrook ligt (als voertuigen een gemiddelde lengte van ongeveer 4.5 meter hebben en een afstand met de voorganger behouden van ongeveer 1.5 meter). Rond een Accumulatiewaarde van 165 vtg/km/rijstrook zou de functie terug moeten zijn bij Productiewaarden van rond de nul. Echter bij cluster 3 ligt bij deze Accumulatiewaarden ongeveer pas het capaciteitspunt. Dit komt omdat op de trajecten uit cluster 3 geen congestie voorkomt. Daardoor is het MFD alleen op data gefit uit de vrijedoorstrooms-tak. Dit resulteert in een MFD-vorm die niet genoodzaakt is naar beneden te buigen om congestiedata te fitten, waardoor deze onrealistisch laat naar beneden buigt. Trajecten zonder congestie kunnen toch goed worden ingedeeld bij dit cluster, aangezien de vrijedoorstrooms-tak de data weldegelijk mooi beschrijft. Voorwaarde bij het onderverdelen van een traject bij dit cluster is dus wel dat er geen congestie op het traject mag voorkomen.

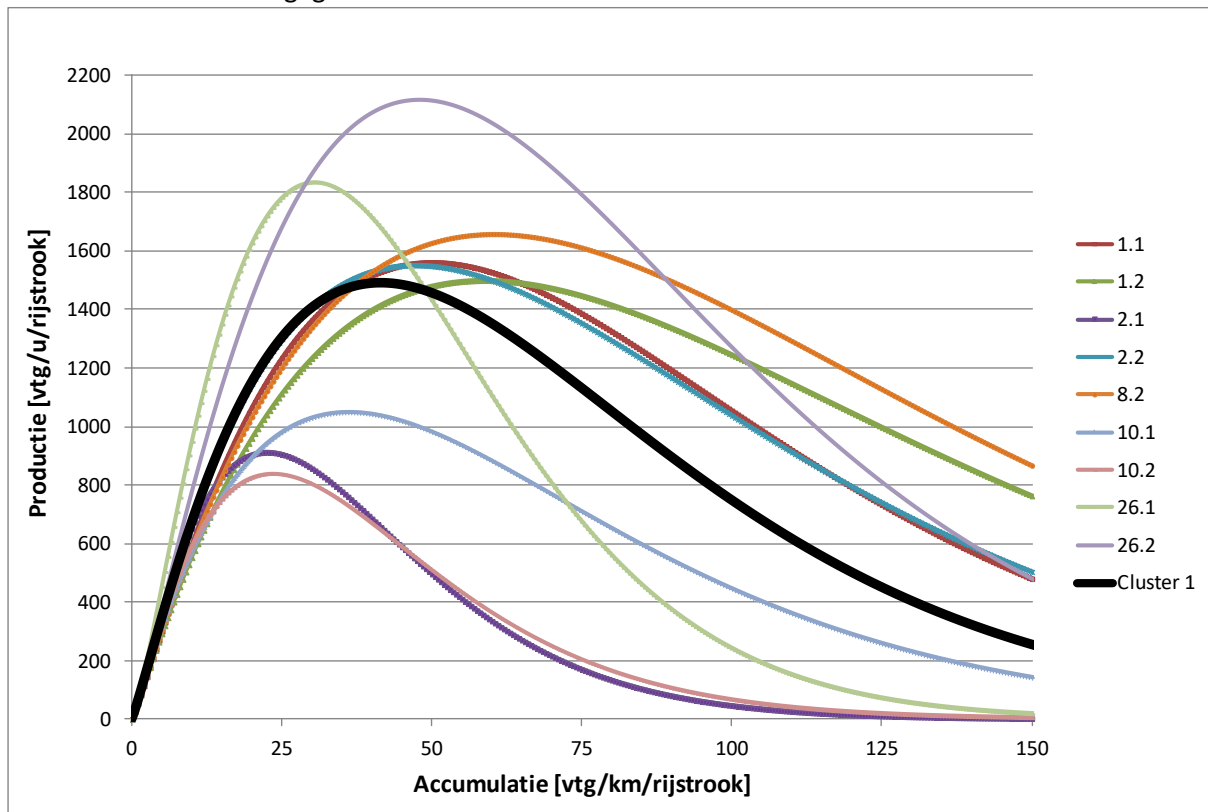


## 6.6 Kwaliteit clustering

Door de trajecten in te delen in categorieën worden de trajecten gegeneraliseerd. Alleen is de vraag hoe goed die generalisatie dan is. De coëfficiëntwaarden van de vier categorieën zijn bekend. Met behulp van de datafusie zijn ook de coëfficiëntwaarden van de afzonderlijke trajecten berekend. Eerst zal worden onderzocht in hoeverre de MFD-vorm van de clusters overeenkomt met de MFD-vorm van de bijbehorende trajecten. Vervolgens wordt vergeleken in hoeverre de RMSE per traject is gestegen door het generaliseren in categorieën.

### Cluster 1

In Figuur 6.8 hieronder zijn de MFD's van de trajecten weergegeven die bij cluster 1 horen. Ook is het MFD van cluster 1 weergegeven.

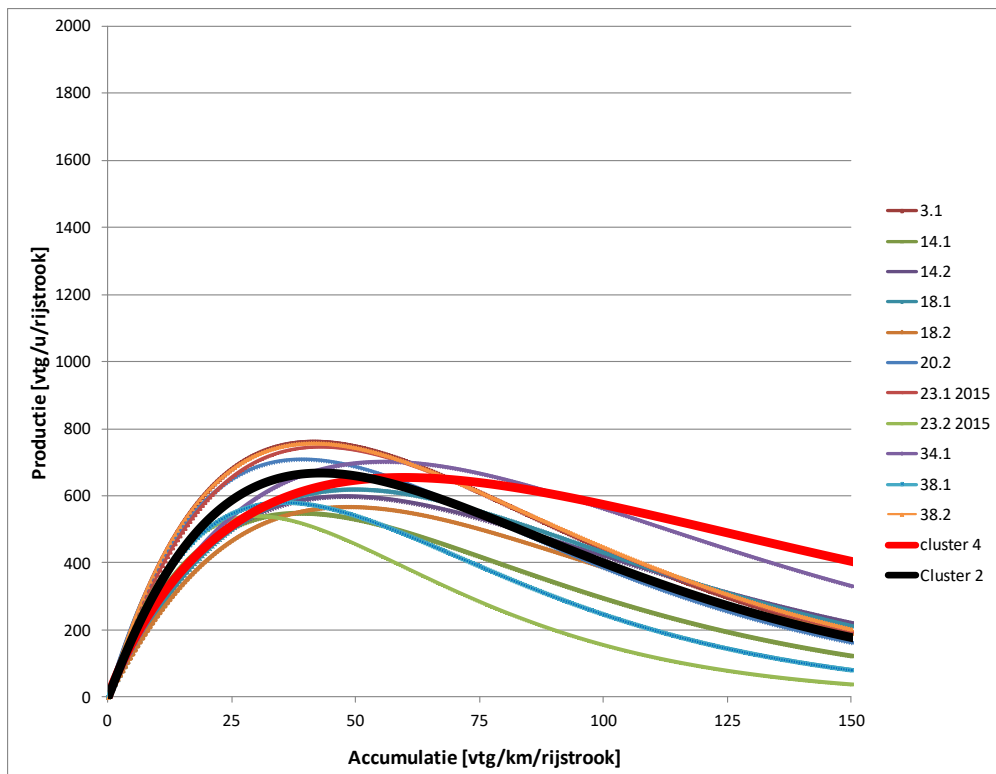


Figuur 6.8: MFD van cluster 1 met MFD's van bijbehorende trajecten

Het eerste wat opvalt is dat de MFD's nog relatief ver uit elkaar liggen. Het capaciteitspunt van de Productie varieert ongeveer tussen de 850 en de 2100 vtg/u/rijstrook en de bijbehorende Accumulatiewaarden variëren van ongeveer 25 tot 60 vtg/km/rijstrook. Dit zijn aanzienlijke verschillen. Bij het genereren van het MFD per traject is vooral de vrijedoorstrooms-tak en het capaciteitspunt doorslaggevend geweest. Dit is ook terug te zien in de figuur, aangezien de MFD's onder een Accumulatiewaarde van 20 vtg/km/rijstrook goed overeen komen.

### Cluster 2

Een zelfde overzicht is gemaakt voor cluster 2. In Figuur 6.9 is het MFD van cluster 2 weergegeven samen met de MFD's van de bijbehorende trajecten.

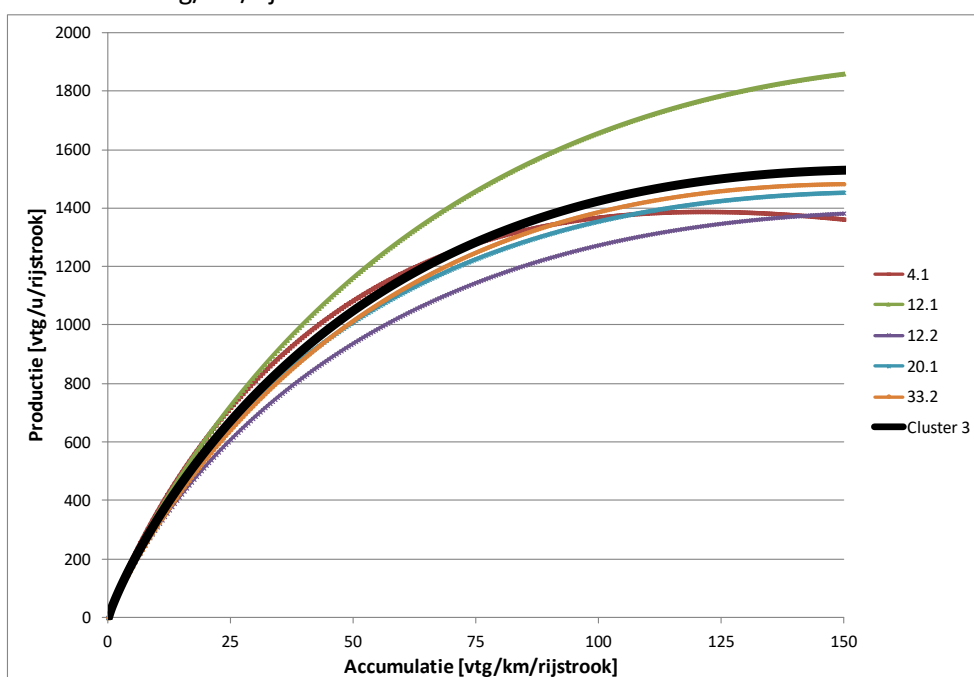


**Figuur 6.9: MFD van cluster 2 met MFD's van bijbehorende trajecten**

De figuur laat zien dat de MFD-vorm van de trajecten nog steeds van elkaar verschillen, maar in mindere mate dan bij cluster 1. Aangezien in het vorige hoofdstuk al was aangegeven dat de vorm van de MFD's van cluster 2 en 4 relatief dicht bij elkaar liggen, is ook het MFD van cluster 4 in de figuur weergegeven.

### Cluster 3

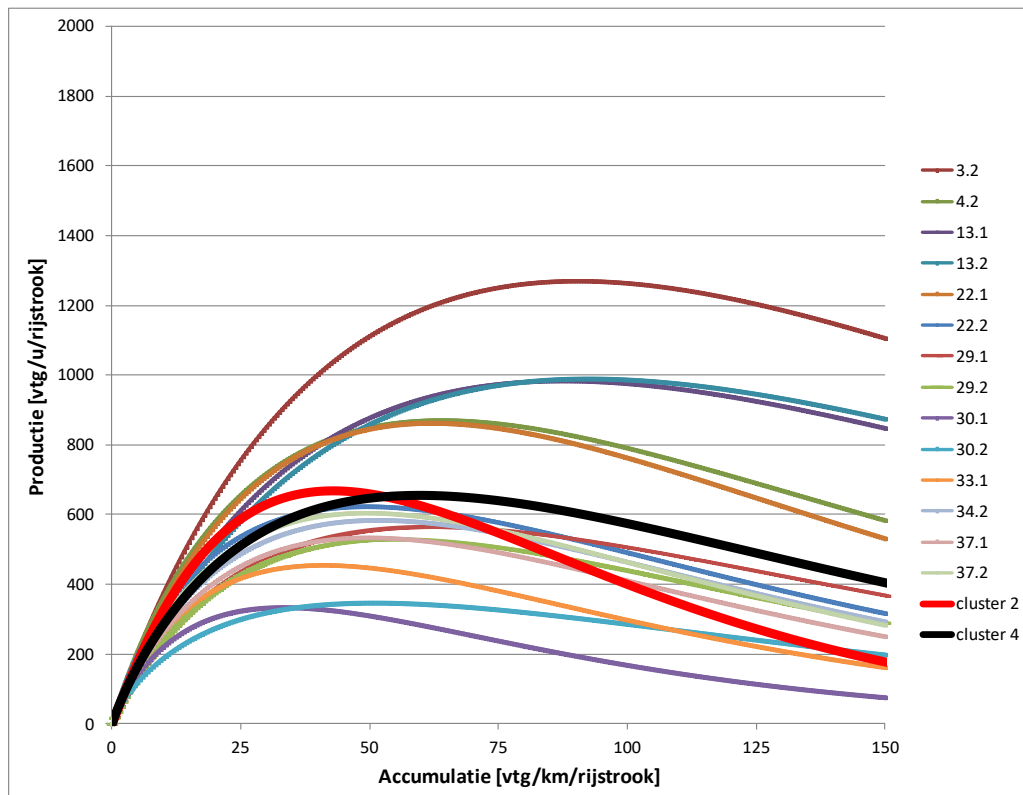
De vergelijking is ook gedaan voor cluster 3. Het MFD van cluster 3 en de MFD's van de bijbehorende trajecten is weergegeven in Figuur 6.10. De MFD-vormen van de trajecten komen weer vrij mooi overeen, vooral als wordt gekeken naar het gedeelte van de MFD's met een Accumulatiewaarde onder de 50 vtg/km/rijstrook.



**Figuur 6.10: MFD van cluster 3 met MFD's van bijbehorende trajecten**

## Cluster 4

De in Figuur 6.11 weergegeven MFD's van de trajecten van cluster 4 liggen relatief weer wat verder uit elkaar. Omdat de MFD's van cluster 2 en 4 op elkaar lijken is ook hier het MFD van cluster 2 toegevoegd aan het overzicht.



Figuur 6.11: MFD van cluster 4 met MFD's van bijbehorende trajecten

## Fout door clustering

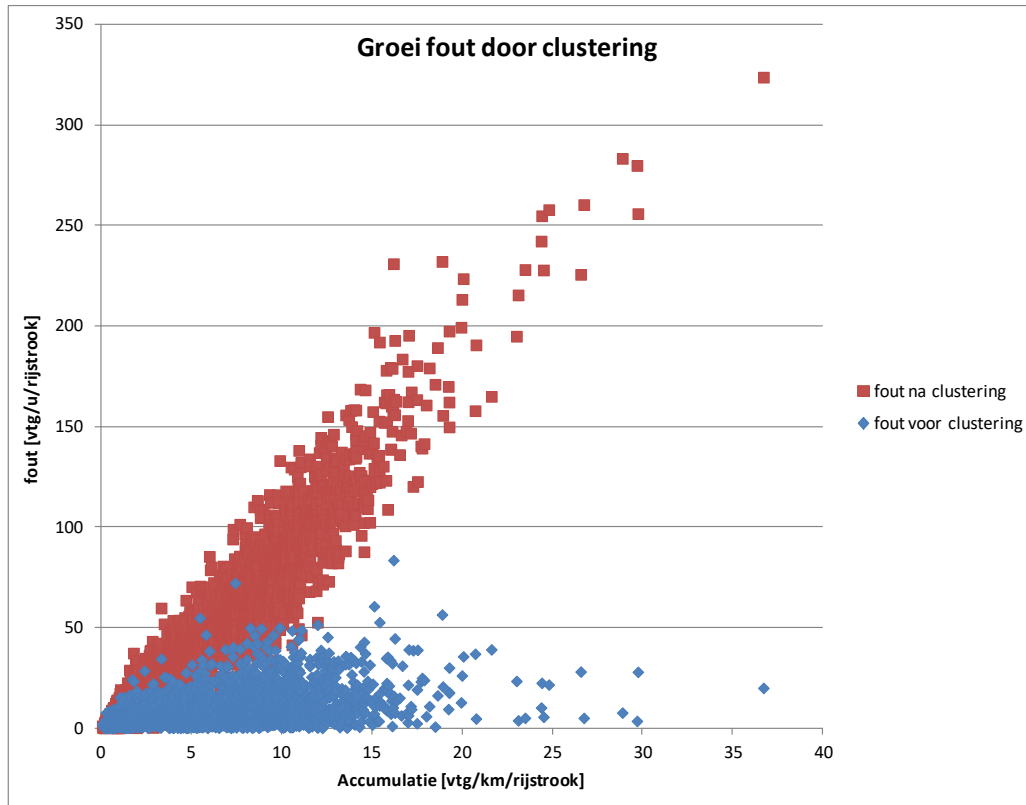
De visuele verschillen in de vorm van de MFD's vertellen echter nog niet precies hoe goed de MFD's van de categorieën de data van de trajecten precies fitten. Daarom wordt opnieuw per traject de RMSE bepaald, maar nu ten opzichte van het bijbehorende gegeneraliseerde MFD. Daarna wordt vergeleken in hoeverre de RMSE per traject is gestegen van de situatie voor het clusteren naar de gegeneraliseerde situatie na het clusteren. Deze vergelijking is per traject uitgewerkt in Tabel B2 in Bijlage C. De resultaten zijn hieronder in Tabel 6.9 per cluster weergegeven.

Cluster	Gemiddelde RMSE voor clustering	Standaarddeviatie voor clustering	Gemiddelde RMSE na clustering	Standaarddeviatie na clustering	Groei RMSE
1	35	16,4	115	63,5	340%
2	25	6,4	53	20,3	213%
3	17	5,9	24	7,3	144%
4	19	8,6	54	32,0	303%
<b>Totaal</b>	<b>24</b>	<b>11.7</b>	<b>64</b>	<b>46.7</b>	<b>263%</b>

Tabel 6.9: Groei RMSE [vtg/u/rijstrook] door clustering

De RMSE voor de clustering was gemiddeld gezien over alle trajecten 24 vtg/u/rijstrook met een standaarddeviatie van rond de 12 vtg/u/rijstrook. Dit betekent dat het traject specifieke MFD de waarde van de Productie schat met een gemiddelde afwijking van 24 vtg/u/rijstrook. Na clustering groeit deze gemiddelde afwijking naar een waarde van 64 vtg/u/rijstrook met een standaarddeviatie van ongeveer 47 vtg/u/rijstrook. Dit betekent dat de schatting van de Productie er meer dan tweeënhalve keer zover naast zit door de generalisatie.

De RMSE is een indicator van de gemiddelde afwijking. Dit zegt nog niet of deze afwijking ten opzichte van het MFD overall ongeveer gelijk is of dat deze juist groter of kleiner is voor de hogere of juist lagere waarden van de Accumulatie. Daarom is in Figuur 6.12 voor traject 17.1 de afwijking van de Productie uitgezet tegen de Accumulatie. Dit is gedaan voor zowel de situatie vóór de clustering als de situatie na de clustering. Traject 17.1 is wederom gekozen om als voorbeeld te dienen omdat dit traject representatief is voor het overgrote deel van de trajecten en omdat de datacompleteheid op het traject relatief goed is.



**Figuur 6.12: Afwijking Productie ten opzichte van de Accumulatie vóór en na clustering**

In de figuur is te zien dat de afwijking na de clustering ongeveer lineair toeneemt ten opzichte van de afwijking vóór de clustering. Dit betekent dat de waarde van de RMSE vooral groeit door de hoge waarden van de Accumulatie. Wanneer de Productie aan de hand van het MFD van de cluster geschat wordt zal de afwijking ten opzichte van de echte Productie-waarde dus steeds verder toenemen naarmate de waarde van de Accumulatie ook toeneemt. De afwijking vóór de clustering blijft ongeveer bij alle waarden van de Accumulatie gelijk. Dit betekent dat de het Macroscopisch Fundamenteel Diagram de data voor alle Accumulatiewaarden ongeveer even goed fit.

Uit deze paragraaf over de kwaliteit van de clustering is op te maken dat de ontwikkelde vier cluster-MFD's nog sterk verschillen van de traject specifiek gefitte MFD's. Daarom moet worden afgevraagd of deze cluster-MFD's wel representatief zijn om de fundamentele eigenschappen van de trajecten te beschrijven. De keuze voor een aantal extra clusters dan deze vier zou de resultaten al verbeteren, maar aangezien de bij elk cluster horende traject specifiek gefitte MFD's nog veel van elkaar verschillen zal deze verbetering slechts minimaal zijn. Toch zal er in het vervolg van het onderzoek ook verder gerekend worden met de vier ontwikkelde cluster-MFD's om exact in beeld te brengen hoe toepasbaar de cluster-MFD's zijn voor het maken van schattingen op de beschouwde trajecten.

## 7. Valideren relatie MFD voor stedelijke trajecten

In dit hoofdstuk worden de ontwikkelde op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamentele Diagrammen gevalideerd. De vraag is namelijk hoe representatief de vier MFD's zijn voor de validatietrajecten, die niet zijn gebruikt om de vier op stedelijk traject gebaseerde MFD's te ontwikkelen. Aangezien deze trajecten ook over het netwerk verdeeld liggen, met verschillende trajectlengtes, aantal VRI's en maximum snelheden, wordt er aan de hand van deze trajecten onderzocht of de ontwikkelde MFD's ook representatief zijn bij het beschrijven van andere trajecten binnen hetzelfde stedelijke wegennetwerk. Dit wordt gedaan door de validatietrajecten onder te verdelen in de vier categorieën en vervolgens wordt voor deze trajecten geanalyseerd hoe representatief de vier MFD's zijn voor de validatietrajecten.

### 7.1 Onderverdeling clusters validatietrajecten

Door de datafusie zijn de bij elkaar horende waarden van de Productie en Accumulatie niet alleen voor de functietrajecten, maar voor de validatietrajecten berekend. Er moet nog wel een MFD door de puntenwolk worden gefit. Alleen is nog niet bekend tot welk van de vier MFD-categorieën elk van de validatietrajecten behoort. De methode met de vier gedefinieerde MFD's wordt daarom gevalideerd door op elk van de validatietrajecten de functie te fitten met alle vier de MFD's. Vervolgens wordt voor elk validatietraject berekend wat de RMSE (in vtg/u/rijstrook) van de Productiedata is ten opzichte van elk van de vier MFD's. Het MFD met de kleinste RMSE en dus de kleinste fout is het MFD dat de dataset van de het traject het beste past. Tot deze cluster behoort dan het desbetreffende validatietraject. Dit wordt voor elk validatietraject bepaald, zodat bekend is tot welke cluster ze behoren en hoe groot de RMSE is. De validatietrajecten zijn in onderstaande Tabel 7.1 weergegeven onder het cluster met de kleinste RMSE. Ook is de waarde van de bijbehorende RMSE toegevoegd. Cluster 1 tot en met 4 krijgen respectievelijk 12, 4, 11 en 11 trajecten toebedeeld. Blijkbaar zijn wederom aan cluster 1 de trajecten toegewezen waar deels een maximum snelheid van meer dan 50 kilometer per uur geldt.

Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3		Cluster 4	
Traject	RMSE	Traject	RMSE	Traject	RMSE	Traject	RMSE
7.1	13	15.1	15	5.1	47	15.2	11
7.2	16	16.1	12	5.2	28	16.2	14
9.1	19	21.2	21	6.1	104	17.1	72
9.2	47	23.2 2016	34	6.2	103	17.2	65
11.1	69			19.2	33	19.1	34
11.2	80			23.1 2016	39	21.1	22
24.1	70			35.1	80	31.1	37
24.2	81			35.2	119	31.2	19
25.1	91			36.1	19	32.1	45
25.2	103			39.1	48	32.2	45
27.1	380			39.2	28	36.2	24
27.2	119						

Tabel 7.1: Categorisering validatietrajecten met bijbehorende RMSE [vtg/u/rijstrook]

## 7.2 RMSE validatietrajecten

Omdat de datapunten van de validatietrajecten door de datafusie bekend zijn, kan er ook een MFD worden gefit voor elk validatietraject afzonderlijk. Daarmee wordt de RMSE berekend voor de situatie als er geen clustering zou zijn. Dit wordt net als bij de functietrajecten gedaan door de coëfficiënten  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  voor de Adjusted Drake functie te optimaliseren, om de RMSE te minimaliseren. Daarmee is uiteindelijk voor vier situaties de RMSE berekend, namelijk:

- A. RMSE van de functietrajecten zonder clustering      C. RMSE van de validatietrajecten zonder clustering  
 B. RMSE van de functietrajecten met clustering      D. RMSE van de validatietrajecten met clustering

Hoe de RMSE-waarden van deze situaties zich binnen de gevormde clusters tot elkaar verhouden, samen met de bijbehorende standaarddeviaties, is weergegeven in Tabel 7.2.

Cluster	Functietrajecten				Validatietrajecten			
	Zonder clustering		Met clustering		Zonder clustering		Met clustering	
	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$
1	35	16	115	63	33	21	91	97
2	25	6	53	20	16	5	21	10
3	17	6	24	7	27	12	59	36
4	19	9	54	32	14	5	35	20
<b>Totaal</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>64</b>	<b>47</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>58</b>	<b>63</b>

Tabel 7.2: Gemiddelde RMSE [vtg/u/rijstrook] binnen de clusters voor de vier situaties

Zowel voor de functietrajecten als voor de validatietrajecten is de gemiddelde RMSE 24 vtg/u/rijstrook. Dit betekent dat de MFD's van de functietrajecten de data met de Adjusted Drake functie even goed fitten als de MFD's van de validatietrajecten. De gemiddelde RMSE met clustering is voor de validatietrajecten met een gemiddelde waarde van 58 vtg/u/rijstrook zelfs kleiner dan de gemiddelde RMSE met clustering voor de functietrajecten. Deze is namelijk 64 vtg/u/rijstrook. Dit betekent dat ondanks dat de clusters zijn ontwikkeld aan de hand van de functietrajecten, de validatietrajecten beter binnen deze clusters passen. Cluster 3 is slechts de enige cluster met categorisering waarin de functietrajecten beter scoren dan de validatietrajecten. Dit betekent dat de clustering ten minste even representatief is om andere trajecten binnen het zelfde stedelijk wegennetwerk in te kunnen delen.

Echter is wel in de tabel te zien dat de afwijking door het categoriseren bij zowel de functietrajecten als bij de validatietrajecten een stuk groter is. De gemiddelde RMSE van alle trajecten wanneer er niet geclusterd wordt is 24 vtg/u/rijstrook. De gemiddelde RMSE van alle trajecten wanneer er wel is geclusterd is 61 vtg/u/rijstrook. Dit betekent dat de gemiddelde afwijking van de Productie door clustering ongeveer tweeënhalve keer zo groot wordt. Om de RMSE-waarde voor de situatie waarin trajecten worden geclusterd naar beneden te krijgen, zou het toevoegen van meer clusters een oplossing kunnen zijn. Hoe meer clusters, hoe lager de RMSE-waarde. Echter is het wenselijk om zo min mogelijk categorieën te hebben. Daarnaast is de verwachting dat de RMSE-waarde niet heel hard daalt bij het toevoegen van enkele clusters, aangezien in de visualisaties van de MFD's binnen de clusters uit de vorige paragraaf al te zien is dat de MFD's nog redelijk ver uit elkaar liggen. Het aantal clusters is ook niet voor niets vastgesteld op vier. De SSE-waarde daalde ook nog maar met 23% bij het toevoegen van een extra cluster. Bij gebrek aan informatie over de Productie of Accumulatie kan het nuttig zijn om de MFD's van de categorieën te gebruiken. Voor significant betere resultaten is het echter aan te raden om een traject specifiek MFD te fitten met de Adjusted Drake functie. Dit kan dus alleen als er informatie over de Productie en de Accumulatie beschikbaar is. Voor trajecten met een gebrek aan informatie over de Productie of Accumulatie is het dus aan te raden om deze data tijdelijk in te winnen. Data voor een periode van een maand, zoals gebruikt is in dit onderzoek, resulteert al in een fit met slechts een gemiddelde afwijking in de Productie van 24 voertuigen per uur per rijstrook.



## 8. Toepasbaarheid op andere trajecten

Er zijn in de vorige hoofdstukken vier Macroscopisch Fundamentele Diagrammen ontwikkeld en er is beschreven hoe een traject specifiek Macroscopisch Fundamenteel Diagram gemaakt kan worden. Dit hoofdstuk gaat in op hoe goed deze MFD's helpen bij het schatten van intensiteiten, snelheden en reistijden op andere trajecten, waar maar één van de drie grootheden intensiteit, dichtheid of snelheid bekend is. De eerste paragraaf beschrijft op basis van welke trajecteigenschappen een traject kan worden ingedeeld bij één van de vier ontwikkelde MFD's. Als het bijbehorende cluster namelijk eenmaal bekend is, is daarmee ook de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid bekend. Vervolgens gaat paragraaf twee in op hoe de intensiteit aan de hand van de MFD's wordt geschat bij bekende reistijden en hoe goed deze schattingen van de intensiteiten dan zijn. In paragraaf drie volgt hoe de snelheid aan de hand van de MFD's wordt geschat bij bekende intensiteiten en hoe goed deze schatting dan is. In de vierde paragraaf worden de snelheidsschattingen omgezet naar reistijdschattingen. Ook hier wordt weer bij vermeld hoe goed de uiteindelijke reistijdschattingen zijn. Voor alle drie de toepassingen wordt de data niet alleen geschat aan de hand van de vier cluster-MFD's, maar ook met de traject specifiek gefitte MFD's. In de vijfde en tevens laatste paragraaf worden conclusies getrokken hoe goed de ontwikkelde MFD's toepasbaar zijn bij het schatten van intensiteiten of reistijden.

### 8.1 Trajecteigenschappen per cluster

Deze paragraaf gaat dieper in op welke trajecteigenschappen er bij elke cluster horen. Niet alleen voor de functietrajecten, maar ook voor de validatietrajecten. Hiermee worden de verbanden tussen de verschillende stedelijke routes binnen de gemeente Den Haag duidelijker. Ook nieuwe trajecten binnen hetzelfde netwerk kunnen met behulp van deze clustereigenschappen beter worden ingedeeld in een bepaald cluster.

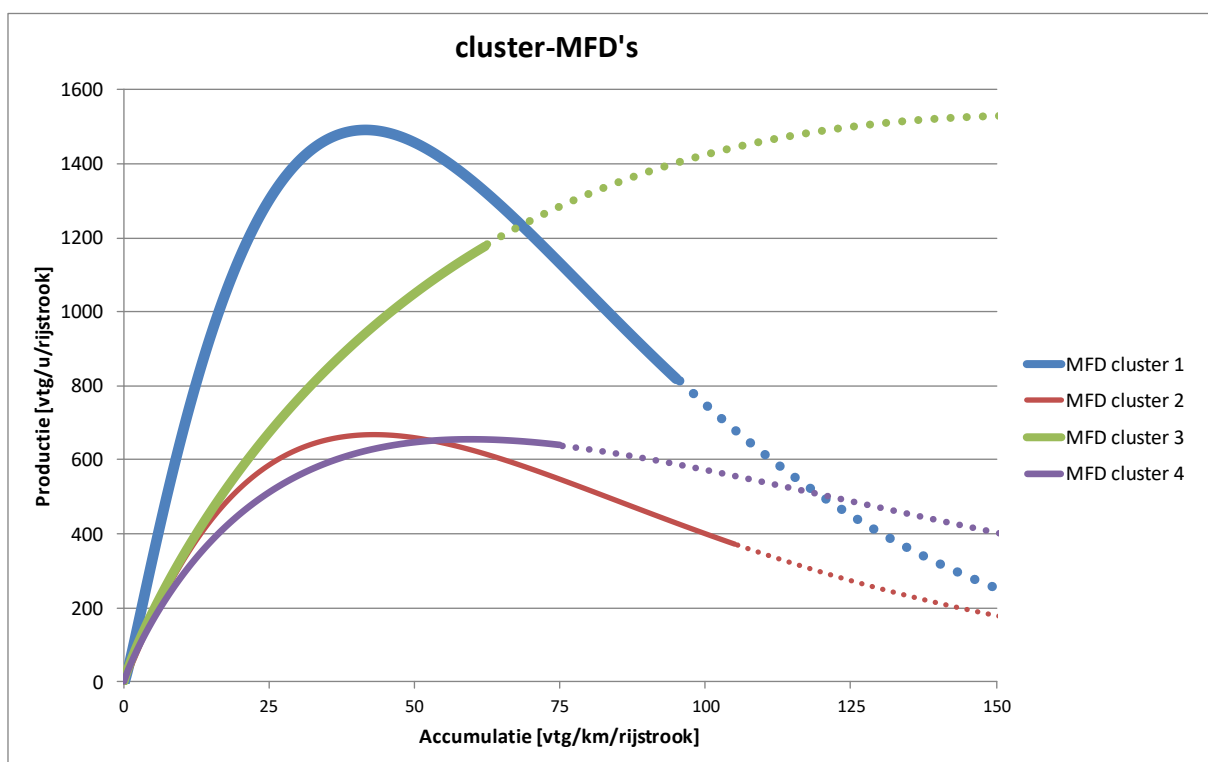
In Tabel 8.1 op de volgende pagina is een overzicht gegeven bij welke cluster zowel de functietrajecten als de validatietrajecten gedurende het onderzoek zijn ingedeeld. Cluster 2, 3 en 4 zijn daarbij ook nog onderverdeeld op basis van de functie die trajecten binnen het netwerk vervullen. Deze indeling is hetzelfde als eerder gebruikt in paragraaf 6.1 bij het categoriseren van de trajecten in functietrajecten en validatietrajecten.

Clusters	Cluster 1	Functie binnen netwerk	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	
Trajecten	1.1	Ringweg	3.1	4.1	3.2	
	1.2			5.1	4.2	
	2.1			5.2		
	2.2			6.1		
	7.1			6.2		
	7.2					
	8.2			Inprikkers/stroomwegen	14.1	12.1
	9.1	14.2	12.2		13.2	
	9.2	15.1	19.2		15.2	
	10.1	16.1	20.1		16.2	
	10.2	18.1	23.1 2016		17.1	
	11.1	18.2			17.2	
	11.2	20.2			19.1	
	24.1	21.2			21.1	
	24.2	23.1 2015			22.1	
	25.1	23.2 2015			22.2	
	25.2	23.2 2016				
	26.1					
	26.2	Centrumring	34.1		33.2	29.1
	27.1		38.1		35.1	29.2
	27.2		38.2	35.2	29.2 zonder laatste vri	
				36.1	30.1	
				39.1	30.2	
				39.2	31.1	
					31.2	
					32.1	
					32.2	
					33.1	
					34.2	
					36.2	
					37.1	
				37.2		

Tabel 8.1: Overzicht onderverdeling trajecten in de clusters

Met behulp van dit overzicht is het zaak om te onderzoeken wat de overeenkomende trajecteigenschappen binnen elk cluster zijn. Er is gekeken naar karaktereigenschappen die ook invloed hebben op de vorm van het MFD zoals de maximum snelheid, de functie die het traject binnen het netwerk heeft, de lengte van het traject en het aantal VRI's op het traject. Het duidelijkste onderscheid wordt gemaakt met cluster 1. In dit cluster zijn alle trajecten ingedeeld, waar een maximum snelheid van boven de 50 kilometer per uur geldt. De trajecten waarbij een maximum snelheid van 50 kilometer per uur geldt (alle andere trajecten van het DVM-netwerk) zijn verdeeld over de andere drie clusters, waar het lastiger is om onderscheid tussen de karaktereigenschappen te maken.

De functie die een traject binnen het netwerk heeft is niet gelijk van doorslaggevende waarde bij de indeling in clusters zoals is te zien in Tabel 8.1. De functie binnen het netwerk hangt samen met onder andere de weginrichting en de groentijden voor bepaalde stromen. Vooral deze laatste zal van invloed zijn op de capaciteitswaarden van het traject, aangezien VRI's typische bottlenecklocaties zijn binnen een traject. Daarbij zal de groentijd weldegelijk invloed hebben op het indelen van een traject in een bepaalde cluster. De verkeersstromen die de ringweg aan de buitenrand van de gemeente Den Haag volgen zullen significant meer groentijd krijgen dan de andere stromen op de VRI's langs de ringweg. Des te dichter naar het centrum, hoe belangrijker ook de andere stromen worden en dus hoe meer de groentijd wordt verdeeld over alle stromen op een VRI. Minder groentijd voor een verkeersstroom betekent een grotere kans op wachtrijvorming en hiermee een hogere waarde van de Accumulatie bij vergelijkbare waarden van de Productie. Doordat er sneller hoge waarden van de Accumulatie worden gemeten op deze trajecten wordt de capaciteit al bij lagere waarden van de Productie bereikt. Figuur 8.1, die hetzelfde is als Figuur 6.4 uit paragraaf 6.5 en de cluster-MFD's weergeeft, laat dit mooi zien. Vandaar dat deze figuur hieronder nogmaals is weergegeven.



Figuur 8.1 (= Figuur 6.4): MFD voor de vier clusters

De capaciteitswaarden van de Productie en Accumulatie per cluster zijn weergegeven in Tabel 8.2. Er is duidelijk te zien dat zowel cluster 2 als cluster 4 een beduidend lagere capaciteitswaarde hebben voor de Productie dan cluster 1 en 3. In cluster 1 en 3 zijn dan ook bijna alle trajecten van de ringweg opgenomen en in cluster 2 en 4 de trajecten binnen de ringweg, dichterbij het centrum. Daarnaast is een aantal trajecten, die geen deel uitmaken van de ringweg, ingedeeld in cluster 3. Deze trajecten zijn blijkbaar, zoals eerder in paragraaf 6.5 beschreven, zo ontworpen dat hier geen congestie op plaatsvindt.

Capaciteitspunt	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Capaciteit Productie	1491	669	1531	655
Capaciteit Accumulatie	41	43	159	60

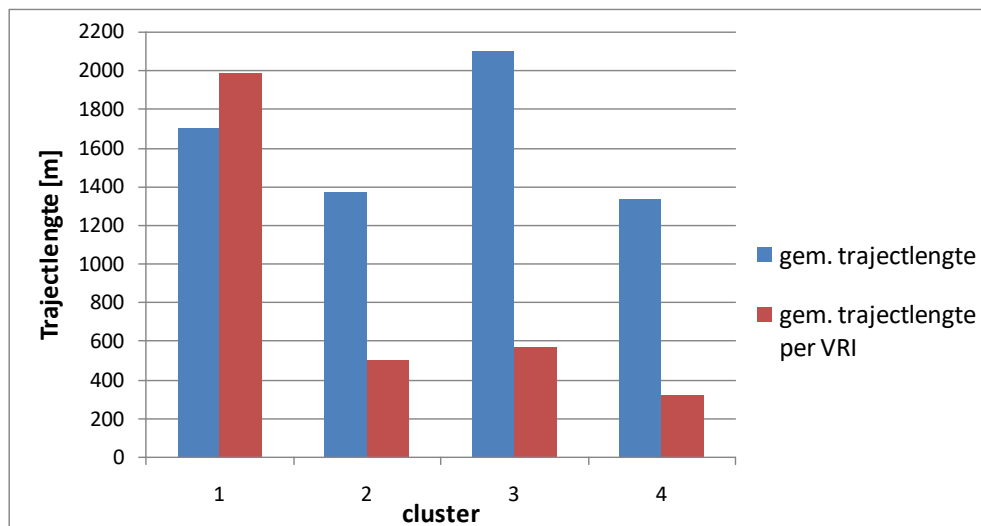
Tabel 8.2: Capaciteitspunt Productie [vtg/u/rijstrook] en bijbehorende Accumulatie [vtg/km/rijstrook] per cluster

De trajecten van de centrumring worden vaker ingedeeld in cluster 4 dan in cluster 2. Deze twee clusters hebben wel een vergelijkbare waarde van de Productie-capaciteit. Echter bij eenzelfde waarde van de Productie worden voor cluster 4 in de vrijedoorstrooms-tak hogere waarden voor de Accumulatie gemeten dan voor cluster 2. Dit betekent dat bij een zelfde Productiewaarde er meer voertuigen per kilometer aanwezig zijn op trajecten die tot cluster 4 behoren dan op trajecten van cluster 2. Ook dit komt overeen met een locatie dichters naar het centrum.

Niet alleen de maximum snelheid en de locatie binnen het netwerk zijn meegenomen in de analyse naar overeenkomstige eigenschappen per cluster, maar ook het aantal VRI's, de trajectlengte en de gemiddelde afstand tussen VRI's. In Tabel 8.3 hieronder is een overzicht gegeven van het gemiddelde aantal VRI's binnen elk cluster. Daaronder in Figuur 8.1 is de gemiddelde trajectlengte en de gemiddelde afstand tussen VRI's binnen elk cluster weergegeven.

Eigenschap	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Gemiddeld aantal VRI's	0.9	2.7	3.7	4.2
Standaarddeviatie aantal VRI's	1.4	2.0	2.2	2.7

Tabel: 8.3: Aantal VRI's en trajectlengte binnen elk cluster



Figuur 8.1: Eigenschappen clusters

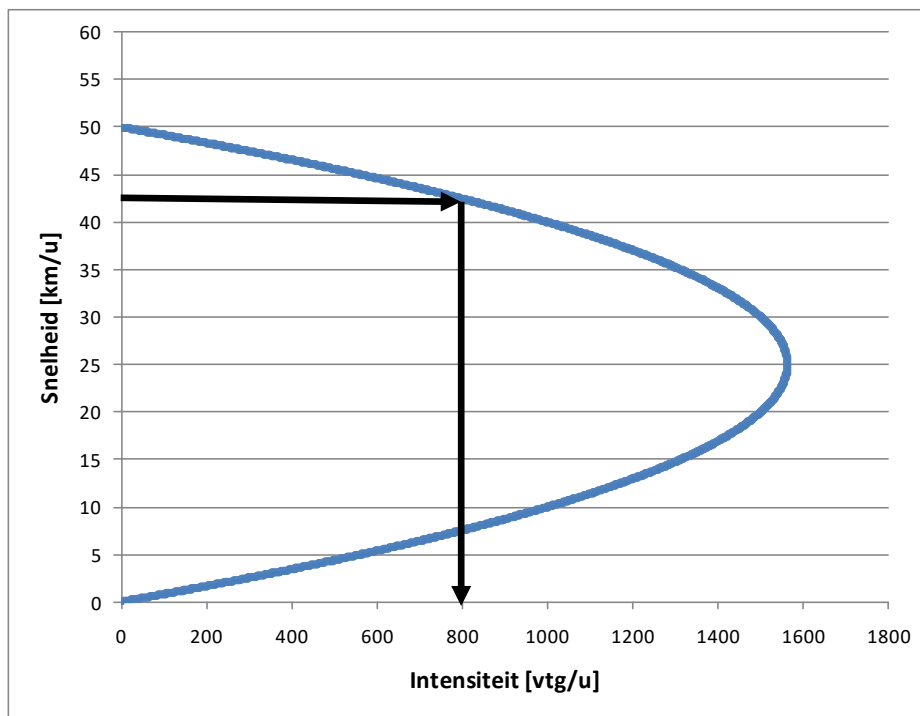
Uit de waarden van het gemiddeld aantal VRI's per cluster is op te merken dat hoe hoger het clusternummer, hoe meer VRI's er gemiddeld op de trajecten aanwezig zijn. Echter varieert de gemiddelde trajectlengte op een andere manier over de clusters. Zo hebben de wat meer overeenkomende clusters 2 en 4 wel een overeenkomende gemiddelde trajectlengte, maar het gemiddeld aantal VRI's op de trajecten ligt bij cluster 4 wel een stuk hoger dan bij cluster 2. Cluster 3 bevat over het algemeen de wat langere trajecten (met een maximum snelheid van 50 km/u).

Aangezien het gemiddelde aantal VRI's anders over de clusters varieert dan de gemiddelde trajectlengte is ook onderzocht wat de gemiddelde trajectlengte per VRI binnen elk cluster is. Deze gemiddelde afstand tussen opeenvolgende VRI's is als het ware de inverse van de VRI-dichtheid per cluster. Uit deze eigenschap blijkt dat de gemiddelde afstand tussen VRI's in cluster 1 een stuk groter is dan bij de andere drie clusters. De VRI-dichtheid van cluster 4 is het grootst. Over het algemeen wordt dus ook de afstand tussen VRI's op een traject kleiner naarmate het traject verder naar het centrum ligt.

Met behulp van de in deze paragraaf beschreven eigenschappen kan er aan een nieuw traject één van de vier cluster-MFD's worden toegekend. Ook kan er voor het nieuwe traject een traject specifiek MFD worden gefit. In beide situaties is de relatie tussen de drie grootheden intensiteit, dichtheid en snelheid daarmee bekend.

## 8.2 Reistijd bekend maar intensiteit niet

Deze paragraaf gaat in op het vraagstuk hoe goed intensiteiten kunnen worden geschat bij bekende reistijden. Wanneer reistijden gemeten worden kan er met behulp van de relatie tussen de grootheden intensiteit, dichtheid en snelheid een intensiteit worden geschat. Met bekende reistijden en de lengte van het beschouwde traject is namelijk ook de bij de reistijd horende gereden snelheid bekend. Bij deze waarde van de snelheid hoort volgens de relatie tussen snelheid en intensiteit een unieke waarde van de intensiteit. Dit is weergegeven in onderstaande Figuur 8.2. Bij een snelheid van ongeveer 43 kilometer per uur hoort bijvoorbeeld een geschatte waarde van de intensiteit (dan wel Productie) van 800 voertuigen per uur (per rijstrook).



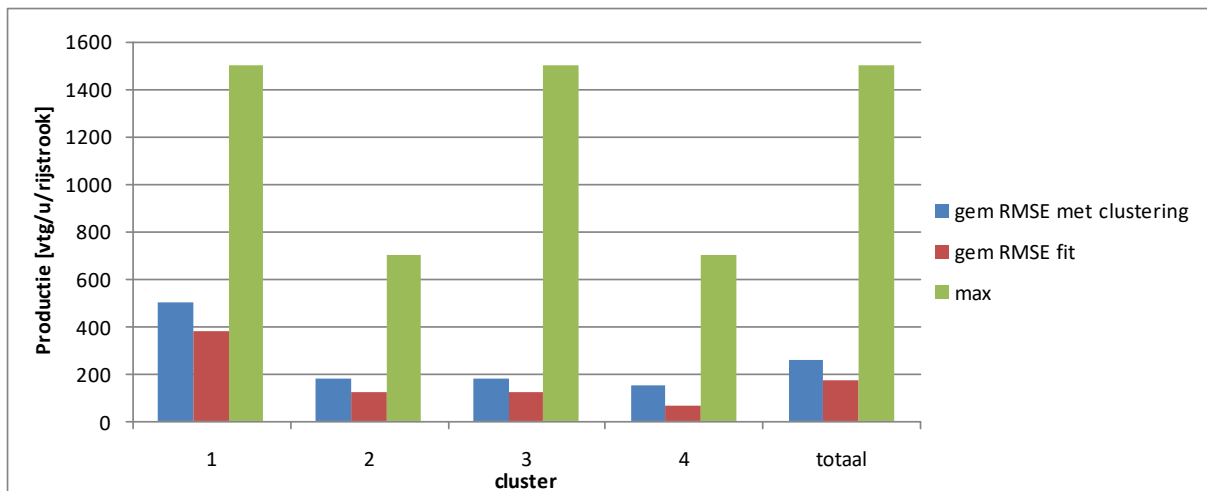
Figuur 8.2: Voorbeeld fundamentele relatie tussen snelheid en intensiteit

Om te bepalen hoe goed deze schattingen van de intensiteit dan wel de Productie zijn, wordt deze methode toegepast op alle onderzochte trajecten. Bij de bekende waarden van de reistijden worden voor zowel het cluster-MFD als voor de traject specifieke MFD-fit de geschatte waarden van de Productie vergeleken met de daadwerkelijk gemeten waarden van de Productie. De fout tussen de geschatte waarden en de daadwerkelijke waarden van de Productie wordt weer berekend met de Root Mean Square Error. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande Tabel 8.4. Hierin zijn de gemiddelde resultaten per cluster weergegeven. Ook de standaardafwijking  $\sigma$  en de bij de cluster horende maximale waarde van de Productie zijn erbij vermeld.

Cluster	Met clustering		Fit		Maximale Productie [vtg/u/rijstrook]
	Gem. RMSE [vtg/u/rijstrook]	$\sigma$ [vtg/u/rijstrook]	Gem. RMSE [vtg/u/rijstrook]	$\sigma$ [vtg/u/rijstrook]	
1	498	185	381	232	1500
2	176	67	122	59	700
3	179	92	118	58	1500
4	152	76	63	24	700
<b>Totaal</b>	<b>255</b>	<b>188</b>	<b>171</b>	<b>180</b>	<b>1500</b>

Tabel 8.4: RMSE intensiteit bij bekende reistijd

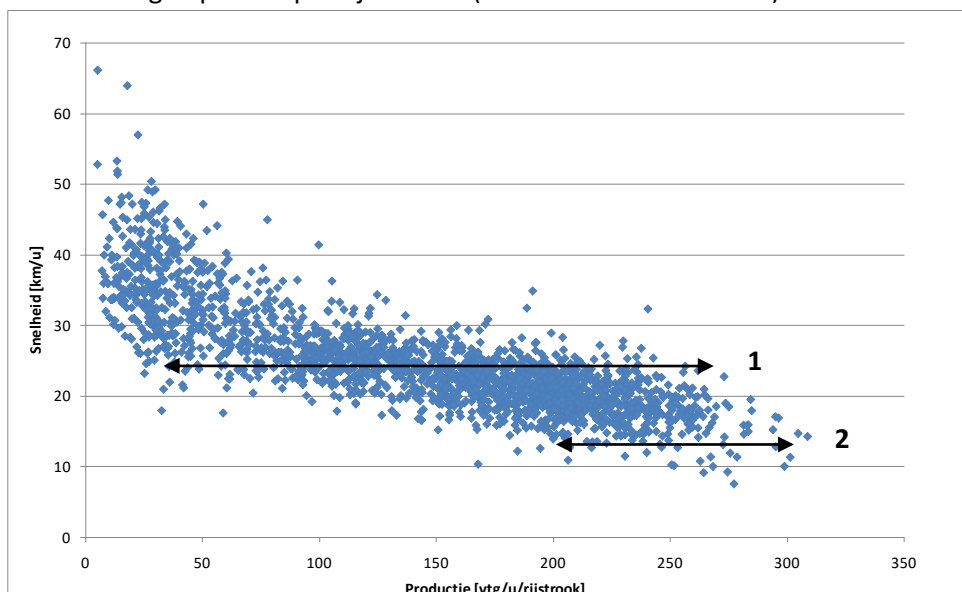
Om een betere indruk te krijgen hoe groot deze fouten eigenlijk zijn, is een deel van de gegevens grafisch weergegeven in Figuur 8.3.



**Figuur 8.3: RMSE intensiteit [vtg/u/rijstrook] bij bekende reistijd**

Zowel de RMSE van de cluster-MFD's (steeds de linker kolom) als de traject specifieke MFD's (steeds middelste kolom) zijn per bij een cluster horende trajecten vergeleken met de maximum waarde van de desbetreffende cluster (steeds rechter kolom). De RMSE van de cluster-MFD's is in alle gevallen beduidend een stuk groter. Dit betekent dat de traject specifiek gefitte MFD's een betere benadering geven van de Productiewaarde bij een bekende reistijd. De afwijkingen van de schattingen ten opzichte van de daadwerkelijke waarden van de Productie zijn relatief groot. Gemiddeld 255 vtg/u/rijstrook voor de cluster-MFD's en nog steeds 171 vtg/u/rijstrook voor de MFD-fit.

Een verklaring voor de hoge RMSE-waardes is dat in de vrijedoorstrooms-tak van het MFD voor een groot aantal waardes van de Productie dezelfde vrijedoorstrooms-snelheid kan worden gehaald. In onderstaande Figuur 8.4 is een voorbeeld gegeven waarin de waardes van de snelheid tegen de Productie zijn uitgezet voor traject 17.1. Hierin zijn deze vele waardes van de Productie met pijl 1 weergegeven voor één snelheidswaarde van ongeveer 25 kilometer per uur. Bij deze snelheid horen waardes van de Productie van 25 tot en met 250 voertuigen per uur per rijstrook, een verschil van 225 voertuigen per uur per rijstrook. Dit is verhoudingsgewijs erg veel (75%) als er wordt gekeken naar de maximaal gemeten Productiewaarde. Pas als de waardes van de snelheid tegen het capaciteitspunt komen te liggen wordt het aantal waardes van de Productie, die bij eenzelfde snelheidswaarde horen kleiner. Dit is weergegeven met pijl 2. Echter liggen hier de waardes van de Productie tussen de 200 en 300 voertuigen per uur per rijstrook, wat nog steeds een flinke marge van 100 voertuigen per uur per rijstrook is (33% t.o.v. het maximum).

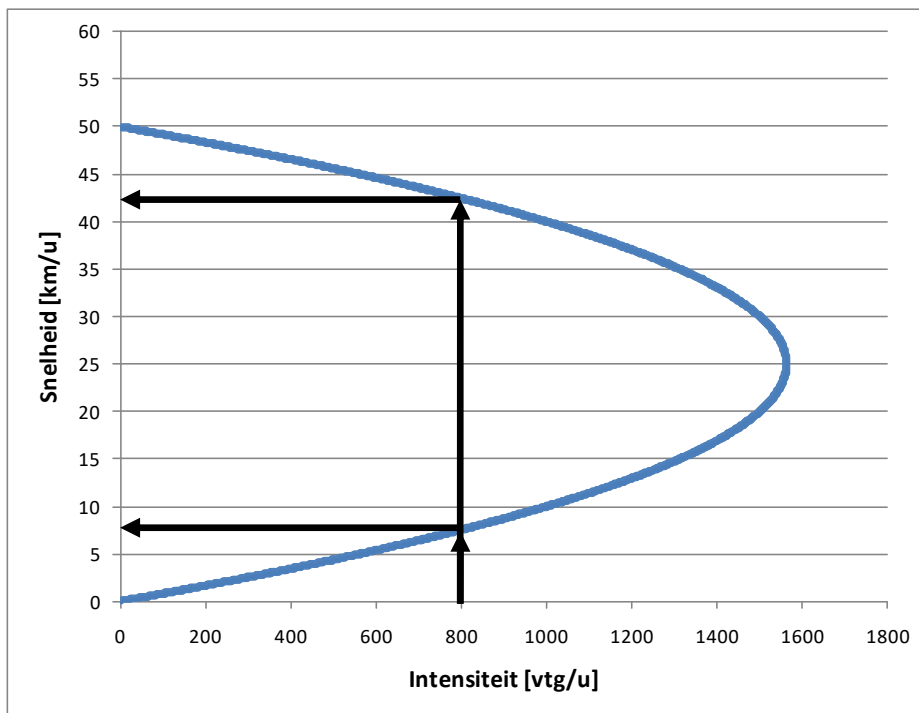


**Figuur 8.4: Spreiding Productie bij snelheidswaarden traject 17.1**



### 8.3 Intensiteit bekend maar snelheid niet

In deze paragraaf wordt juist berekend hoe goed de snelheid kan worden geschat bij een bekende intensiteit. Ook hier geldt dat als aan een traject één van de vier cluster-MFD's is toegekend of als voor het traject een traject specifiek MFD gefit is, dat de relatie tussen de drie grootheden intensiteit, dichtheid en snelheid bekend is. Bij een bekende waarde van de intensiteit kan met de relatie een bijbehorende waarde van de snelheid worden geschat en daarmee uiteindelijk ook een waarde van de reistijd. De vertaalslag naar de reistijd wordt in de volgende beschreven. Echter behoren er bij een waarde van de intensiteit steeds twee waarden van de snelheid. Een in de vrijedoorstrooms-tak en een in de congestie-tak. Dit is weergegeven in onderstaande Figuur 8.5. Voor bijvoorbeeld een intensiteit van 800 vtg/u hoort een snelheidswaarde van rond de 43 km/u in de vrijedoorstrooms-tak en een snelheidswaarde van rond de 8 km/u in de congestie-tak. Alleen het capaciteitspunt heeft slechts een enkele waarde voor de snelheid bij de maximale intensiteit.



Figuur 8.5: Voorbeeld fundamentele relatie tussen snelheid en intensiteit

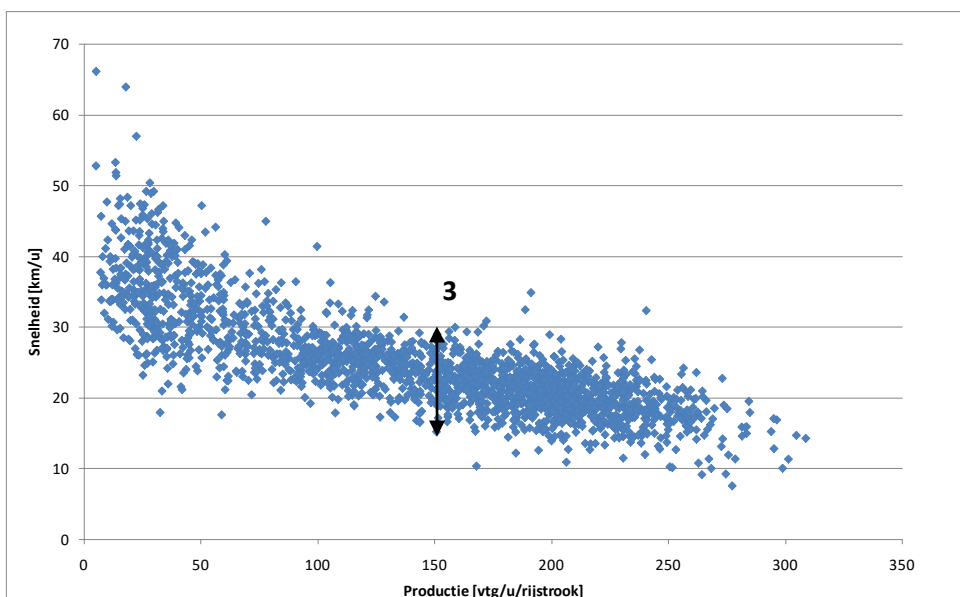
Als er bij het schatten van de snelheid een waarde uit de verkeerde tak wordt genomen, zal de fout in de schatting al snel groot worden. In het voorbeeld is het een afwijking van 35 kilometer per uur bij een intensiteit van 800 vtg/u. Deze afwijking is wel afhankelijk van de gemeten intensiteit. Naarmate de intensiteit dichter naar het capaciteitspunt komt te liggen, des te kleiner wordt de afwijking tussen de twee snelheidswaardes. Aan de intensiteitwaarde valt verder niet te zien welk van de twee takken de gemeten waarde betrekking heeft. Dit kan hoogstens worden afgeleid uit trends, door bezettingsgraden of door de intensiteiten van nabijgelegen VRI's op trajecten mee te nemen in de bepaling of de verkeersstroom in congestie is of niet. Een voorbeeld voor een trend is dat het bekend is dat er op een bepaald wegvak in de ochtendspits standaard congestie optreedt.

Tijdens het onderzoek is gebleken dat op de onderzochte trajecten weinig tot geen congestie voorkomt. Als er al congestie voorkomt is het daarbij ook nog eens geen zware congestie, waardoor de intensiteiten nog redelijk dicht bij het capaciteitspunt liggen. Hier zijn de afwijkingen tussen beide takken een stuk kleiner.

Ook voor het schatten van de snelheid wordt weer de Root Mean Squared Error gebruikt om de afwijking aan te geven tussen de geschatte waarden en de daadwerkelijke waarden van de snelheid. Dit is weer gedaan voor alle onderzochte trajecten voor zowel het cluster-MFD waartoe het traject behoort als voor het traject specifieke gefit MFD. De vergelijking van de geschatte waarden en de daadwerkelijke waarden is voor beide MFD's voor alle trajecten op twee manieren uitgevoerd. Hiervoor is elk cluster-MFD en elk traject specifiek gefit MFD in het capaciteitspunt horizontaal doormidden "geknipt", waardoor de vrijedoorstrooms-tak en de congestie-tak afzonderlijk te beschouwen zijn.

Op de eerste manier zijn al de intensiteitwaardes uitsluitend vergeleken met de vrijedoorstrooms-tak. Deze manier heet vanaf nu daarom ook de Vrijedoorstrooms-tak methode. Op deze manier worden niet alleen de vrijedoorstrooms-intensiteiten maar ook de congestie-intensiteiten met de vrijedoorstrooms-tak vergeleken. Aangezien er maar op weinig van de onderzochte trajecten enige congestie is waargenomen zal de afwijking naar verwachting niet dramatisch groot zijn door het verkeerd inschatten van de correcte tak. De tweede manier vergelijkt de data met de correcte tak. Intensiteiten die in de vrijedoorstroomstak behoren zijn met de vrijedoorstroomstak vergeleken en ditzelfde voor de congestie-intensiteiten. Voor de onderzochte trajecten is dit namelijk bekend door alle data die is verzameld tijdens het onderzoek. Daarmee zijn beide manieren te vergelijken en kan worden geconcludeerd hoeveel slechter de schatting wordt wanneer alle data uitsluitend met de vrijedoorstrooms-tak wordt vergeleken. De tweede manier wordt in het vervolg de Bekende-tak methode genoemd. Benadrukt moet worden dat bij het schatten van de snelheid gedurende een andere maand of op een nieuw traject natuurlijk niet bekend is in welk van de twee takken de intensiteitwaarde zich bevindt. Om deze waarden toch met de juiste tak te kunnen vergelijken zouden dan, zoals eerder besproken, trends of bezettingsgraden of intensiteiten van naburige trajecten moeten worden meegenomen in de beschouwing.

Te verwachten is dat de schatting van de snelheid aan de hand van de Productie een stuk beter zal zijn dan de schatting van de Productie aan de hand van de reistijd. De reden hiervoor is dat verhoudingsgewijs de verticale marge (aangegeven met pijl 3 in Figuur 8.6) een stuk kleiner is dan de horizontale marge bij het schatten van de Productie bij een bekende reistijd. De snelheidswaardes bij een Productie van 150 vtg/u/rijstrook lopen bijvoorbeeld van rond de 15 tot 30 km/u. Dit is slechts een marge van 15 km/u ten opzichte van de totale reikwijdte van de snelheid van 60 km/u (van 8 tot 68 km/u). Verhoudingsgewijs is dit dus slechts 25% ten opzichte van de 75% bij het schatten van de Productie aan de hand van de reistijd.

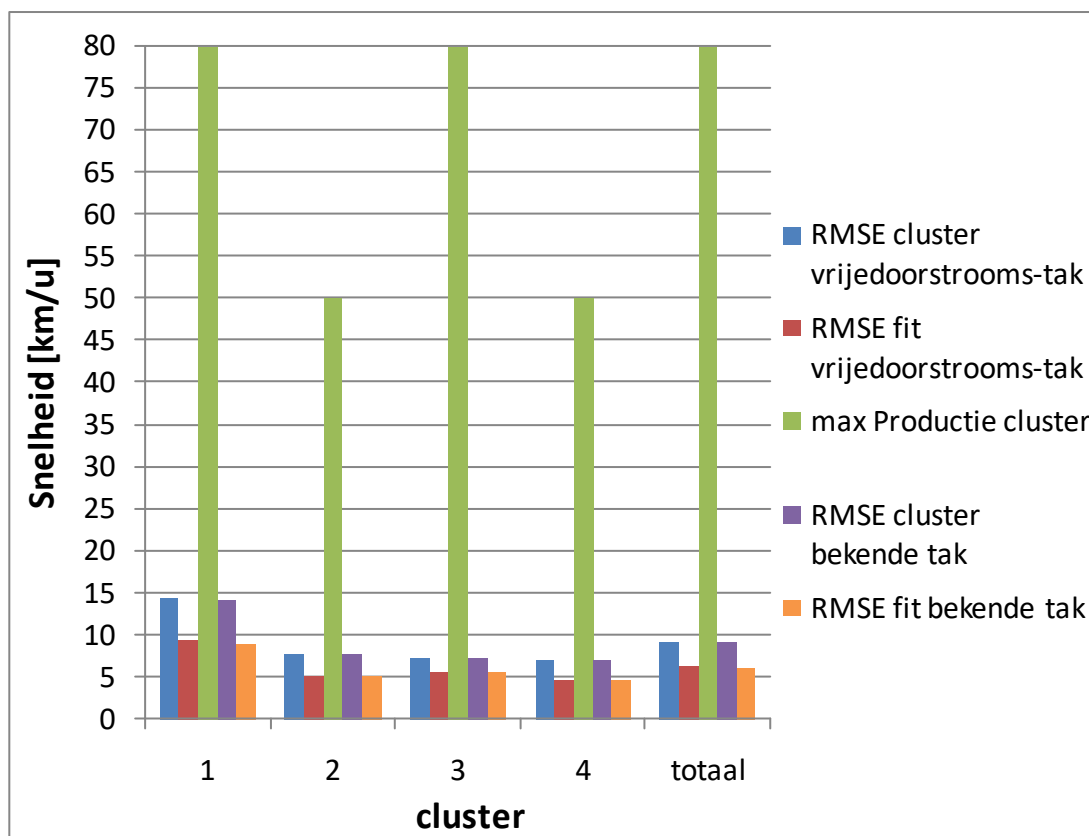


**Figuur 8.6:** Spreiding snelheid bij Productiewaarden traject 17.1

De resulterende RMSE-waardes van de schattingen voor de cluster-MFD's en de gefitte MFD's van alle trajecten zijn in Tabel 8.5 weergegeven voor zowel de Vrijedoorstrooms-tak methode als de Bekende-tak methode. In Figuur 8.7 is weer een deel van de gegevens grafisch weergegeven om een betere indruk te krijgen van hoe deze afwijkingen zich tot elkaar verhouden.

Cluster	Vrijedoorstrooms-tak				Bekende-tak				Maximale snelheid
	Met clustering		Fit		Met clustering		Fit		
	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	
1	14,4	6,9	9,3	4,2	14,1	7,0	8,8	3,9	80
2	7,7	2,8	5,1	1,4	7,6	2,8	5,0	1,4	50
3	7,2	2,9	5,7	2,7	7,2	2,9	5,7	2,7	80
4	7,1	2,8	4,7	1,8	7,0	2,8	4,7	1,8	50
<b>Totaal</b>	<b>9,2</b>	<b>5,3</b>	<b>6,2</b>	<b>3,3</b>	<b>9,1</b>	<b>5,2</b>	<b>6,1</b>	<b>3,1</b>	<b>80</b>

Tabel 8.5: RMSE snelheid [km/u] bij bekende intensiteit



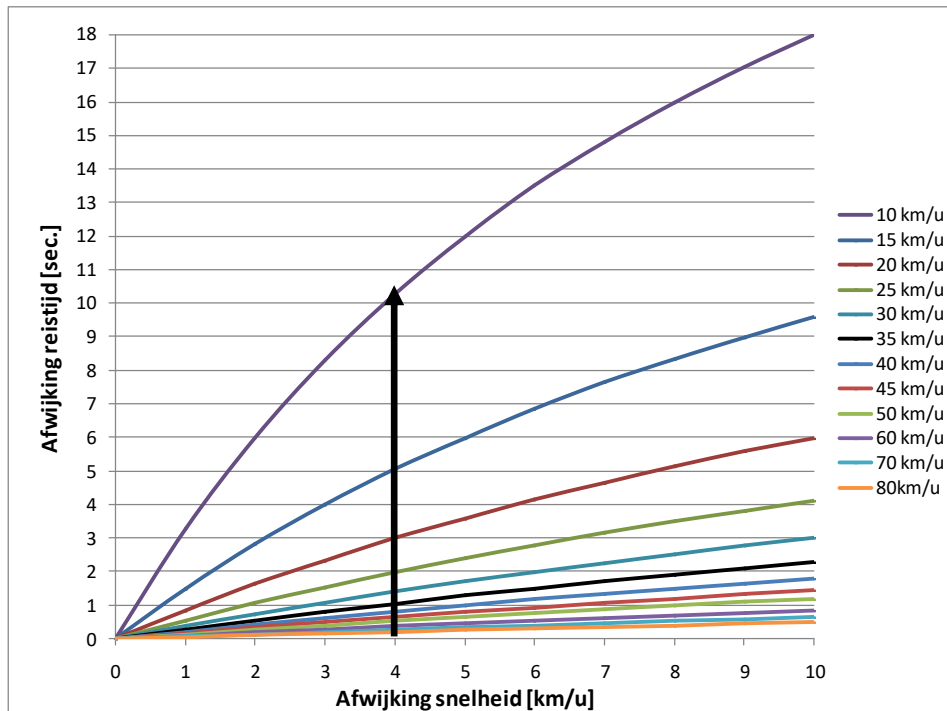
Figuur 8.7: RMSE snelheid [km/u] per cluster bij bekende intensiteit

Hierin is te zien dat vooral cluster 1 iets grotere afwijkingen laat zien dan de andere drie clusters. Dit komt vooral omdat op de trajecten van cluster 1 over het algemeen een hogere maximum snelheid geldt van boven de 50 km/u. Daardoor is de spreiding relatief ook iets groter. In cluster 3 zijn slechts een klein aantal trajecten met een maximum snelheid boven de 50 km/u. Verder valt op dat de RMSE-waardes voor de Bekende-tak methode slechts minimaal beter zijn dan de Vrijedoorstrooms-tak methode. Over alle trajecten gezien scheelt het namelijk slechts 0.1 km/u wanneer bekend is tot welke tak de intensiteitswaarde behoort. Voor beide methodes is het gefit MFD volgens de RMSE wel 3.0 km/u beter in de schatting dan voor het cluster-MFD.

De RMSE is wellicht een wat wetenschappelijke foutindicator. Om de afwijking in de schattingen wat toegankelijker en beter begrijpelijk te maken voor niet-wetenschappers zijn de afwijkingen in Bijlage D weergegeven met de Mean Absolute Error (MAE) als foutindicator [28]. Zoals de naam al zegt geeft de MAE een gemiddelde waarde van de absolute afwijking tussen geschatte waarden en de daadwerkelijke waarden.

## 8.4 Intensiteit bekend maar reistijd niet

Met de afwijkingen in snelheden zijn uiteindelijk de afwijkingen in reistijden te bepalen. Een afwijking in de snelheid verhoudt zich echter niet één op één tot de afwijking in reistijd. Een zelfde afwijking in de snelheid weegt bij lage gereden snelheden veel zwaarder door dan bij hoger gereden snelheden. Hoe hoger de gereden snelheid, hoe kleiner de reistijdafwijking bij overeenkomende snelheidsafwijkingen. Dit is geïllustreerd met onderstaande Figuur 8.8.



Figuur 8.8: Afwijking reistijd bij afwijking snelheid per 100m voor verschillende gereden snelheden

Hierin is te zien dat bij een afwijking in de snelheid van 4 km/u leidt tot verschillende afwijkingen in reistijd per 100 meter bij verschillende gerede snelheden:

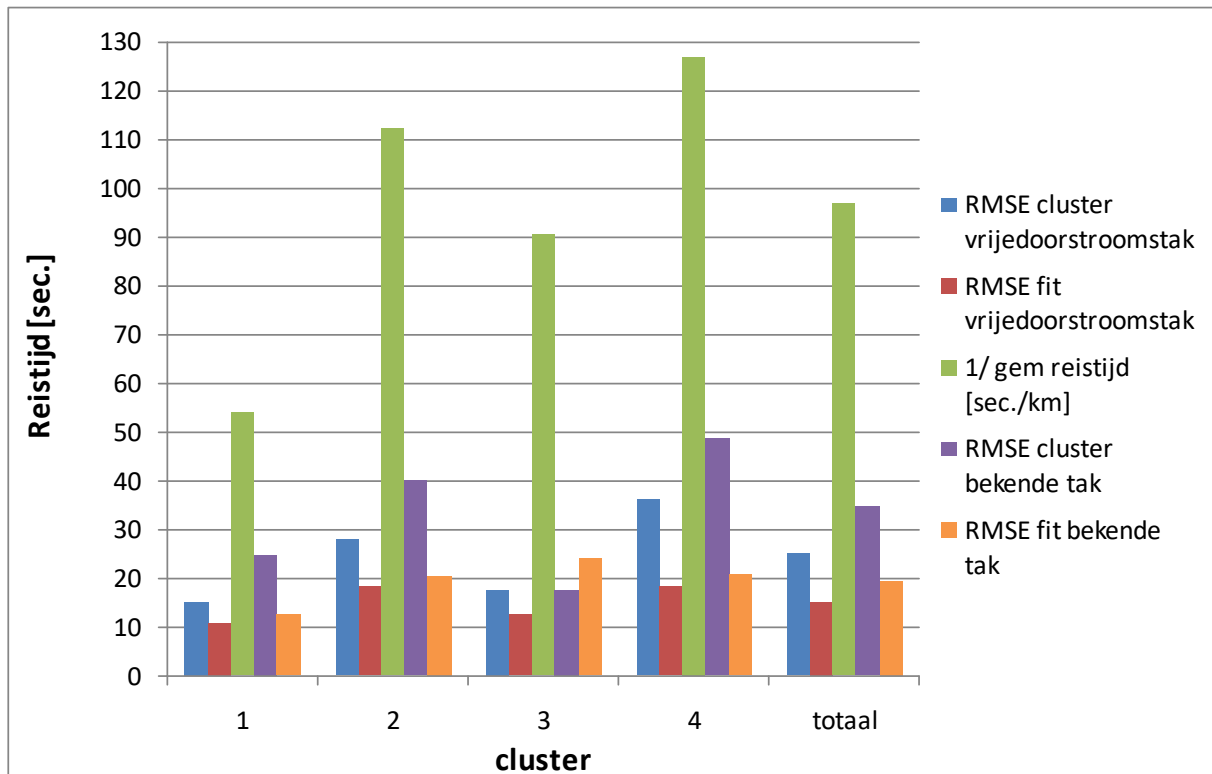
- Bij 50 km/u hoort een afwijking van ongeveer 0,5 sec.,
- bij 35 km/u een afwijking van ongeveer 1 sec.,
- bij 25 km/u een afwijking van ongeveer 2 sec.,
- bij 15 km/u een afwijking van ongeveer 5 sec. en
- bij 10 km/u zelfs een afwijking van ongeveer 10,25 seconde.

Hoe lager de gereden snelheid hoe groter de afwijking in snelheid relatief is en dus hoe groter daarmee de absolute afwijking in reistijd per eenheid van lengte is. Ook geldt dat des te langer het traject is, des te langer de afwijking in snelheid doorweegt en daarmee wordt de afwijking in reistijd ook des te groter. Om de afwijking in reistijden voor de onderzochte trajecten met elkaar te kunnen vergelijken is steeds de afwijking in reistijd op het traject omgerekend naar afwijking in reistijd per kilometer.

De RMSE van de reistijd per kilometer is berekend voor zowel de Vrijdoorstrooms-tak methode als voor de Bekende-tak methode. Binnen elke methode is de RMSE berekend ten opzichte van zowel het cluster-MFD als voor het traject specifiek gefit MFD. De trajecten zijn weer onderverdeeld in de bijbehorende clusters om trajecten met overeenkomende eigenschappen met elkaar te kunnen vergelijken. Ook is per cluster de gemiddelde reistijd per kilometer voor de bij de cluster horende trajecten berekend. Met deze gemiddelde reistijd per kilometer is te vergelijken hoe groot de RMSE's relatief zijn. De resultaten van de RMSE-berekeningen zijn weergegeven in Tabel 8.6 op de volgende pagina, waarna in Figuur 8.9 weer een aantal waardes grafisch zijn weergegeven voor de beeldvorming bij de waardes.

Cluster	Vrijedoorstrooms-tak				Bekende-tak					
	Met clustering		Fit		Met clustering		Fit		Gem. reistijd/km	$\sigma$
	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$	Gem. RMSE	$\sigma$		
1	15	7	11	6	25	17	13	10	54	8
2	28	14	18	10	40	43	20	11	112	26
3	18	8	13	7	17	8	24	34	90	11
4	36	24	18	11	49	63	21	14	127	23
<b>Totaal</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>35</b>	<b>44</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>97</b>	<b>35</b>

Tabel 8.6: RMSE reistijd [sec./km.] bij bekende intensiteit



Figuur 8.9: RMSE reistijd [sec.] per cluster bij bekende intensiteit

Opvallend is dat de RMSE-waardes kleiner zijn wanneer de reistijden worden vergeleken met de vrijedoorstrooms-tak dan wanneer de reistijden worden vergeleken met de juiste tak. Dit komt doordat snelheden in de congestietak over het algemeen lager worden geschat dan dat ze zijn. Zoals eerder beschreven is het verschil in reistijd groter naarmate de gereden snelheid lager ligt. Om de fout in reistijd te beperken is het dus beter om de gereden snelheid hoger in te schatten dan lager. Over het algemeen wordt er daardoor een kleinere afwijking in de reistijd gemeten wanneer de waardes, die net in de congestie-tak zitten, met de vrijedoorstrooms-tak worden vergeleken dan met de congestie-tak. In Tabel 8.7 op de volgende pagina is een voorbeeld gegeven waaruit dit blijkt.



Situatie	Snelheid [km/u]	Tijd om 1 km af te leggen [sec.]	Vershil tov normale snelheid [sec.]	Vershil tov normale snelheid [%]
Snelheid + 2 km/u	10	360	90	20
Snelheid normaal	8	450	0	0
Snelheid – 2 km/u	6	600	-150	-33

Tabel 8.7: Voorbeeld verklaring RMSE [km/u] bekende tak groter

In de tabel is weergegeven dat bij een afwijking van 2 km/u rond een gereden snelheid van 8 km/u het beter is om de snelheid met 2 km/u te overschatten dan te onderschatten. Bij een overschatting zit de schatting er 90 seconde naast, waar de schatting er bij een onderschatting 150 seconde naast zit. Dit is meer dan 1,5 keer zo veel.

Voor de Vrijedoorstreams-tak methode zijn de RMSE's in reistijd per kilometer het kleinst. De afwijking voor het cluster-MFD is gemiddeld 25 seconde per kilometer en voor het Fit-MFD gemiddeld 15 seconde per kilometer. De afwijkingen van de geschatte reistijden ten opzichte van de verschillende MFD's zijn ook weer berekend met de MAE als indicator. Deze zijn weergegeven in Bijlage D. Daarmee worden de in Tabel 8.6 weergegeven RMSE-waarden toegankelijker en beter begrijpelijk voor niet-wetenschappers. De MAE-waardes zijn bij de Vrijedoorstreams-tak methode 20 seconde per kilometer voor het cluster-MFD en 10 seconde per kilometer voor het Fit-MFD.

## 8.5 Toepasbaarheid ontwikkelde MFD's

Deze laatste paragraaf neemt de resultaten van het onderzoek mee om een conclusie te trekken over hoe goed de ontwikkelde MFD's toepasbaar zijn bij het schatten van intensiteiten of reistijden. Wanneer er op een stedelijk traject alleen reistijden óf intensiteiten gemeten worden, kan de ander geschat worden met behulp van een op een stedelijk traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram. In dit onderzoek zijn er twee varianten van stedelijk traject gebaseerde MFD's ontwikkeld. Namelijk het cluster-MFD en het traject specifiek gefit MFD.

Voor het toepassen van de ontwikkelde cluster-MFD's moet een traject eerst worden ingedeeld bij één van de vier clusters. Dit gaat op basis van een aantal trajecteigenschappen als snelheidslimiet, trajectlengte en de VRI-dichtheid op het traject. Als het traject aan de hand van deze eigenschappen is ingedeeld bij een cluster, is de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid bekend. Aan de hand van gemeten reistijden (en daarmee snelheden) kunnen met deze relatie intensiteiten worden geschat. Het onderzoek wijst echter uit dat deze intensiteitschatting met een gemiddelde RMSE van 255 vtg/u/rijstrook er al snel behoorlijk naast zit. Het ligt aan de toepassing maar er wordt afgeraden om intensiteiten te schatten aan de hand van de ontwikkelde vier cluster-MFD's. Voor de gemeente Den Haag is dit echter geen groot probleem, aangezien door de stad heen ongeveer 250 VRI's liggen, die voor alle aanvoerrichtingen de intensiteiten meten.

Met de cluster-MFD's kunnen aan de andere kant met gemeten intensiteiten ook reistijden worden geschat. In paragraaf 8.4 is te zien dat dit een schatting met een gemiddelde RMSE van 25 sec/km oplevert. Aangezien de reistijd over een kilometer traject gemiddeld 97 seconde bedraagt, komt dit overeen met een relatieve fout van 26%. Wanneer de foutmaat MAE met een waarde van 20 sec/km wordt gebruikt is deze relatieve fout 21%. Wel is er een risico bij het toepassen van de cluster-MFD's. Aangezien de cluster-MFD's niet geheel representatief zijn voor het omvatten van de fundamentele eigenschappen van alle trajecten bestaat de kans namelijk dat er een ander cluster wordt gekozen, dan de best passende cluster. Daarmee zullen de schattingen van zowel de intensiteiten als de reistijden slechter worden. Ook bestaat de kans dat de best passende cluster nog steeds niet geheel representatief is voor het betreffende traject.

Voor het toepassen van een traject specifiek gefit MFD moet eerst een meting gedaan worden om het MFD te fitten. Gedurende het onderzoek is een meetperiode van een maand gekozen. Na het filteren van aggregatieperioden met onvoldoende of foutieve data bleven er nog ruim voldoende aggregatieperioden over om het MFD te construeren. Het is afhankelijk van de kwaliteit en de compleetheid van de data hoelang de meetperiode moet zijn, maar naar verwachting zal een kortere periode van twee á drie weken ook voldoende zijn. Als het traject specifieke MFD gefit is zijn de relaties tussen intensiteit, dichtheid en snelheid bekend. Aan de hand van gemeten reistijden (en daarmee snelheden) kunnen daarmee intensiteiten worden geschat. Het onderzoek wijst uit dat ook deze intensiteitschattingen er nog behoorlijk naast zitten met een gemiddelde RMSE van 171 vtg/u/rijstrook. Deze zijn al een beter dan voor de methode met het cluster-MFD maar er wordt ook afgeraden om intensiteiten te schatten aan de hand van het gefit MFD.

Aan de andere kant kunnen met gemeten intensiteiten ook reistijden worden geschat met behulp van het traject specifiek gefit MFD. Deze schattingen leveren met een gemiddelde RMSE van 15 sec/km een stuk betere schatting op dan met het cluster-MFD. Aangezien de reistijd over een kilometer traject nog steeds gemiddeld 97 seconde bedraagt, is de relatieve fout voor een traject specifiek gefit MFD 15%. Wanneer de foutmaat MAE wordt gebruikt is de relatieve fout met een MAE van 10 sec/km zelfs 10%. Wanneer de resultaten van de cluster-MFD's en de traject specifiek gefitte MFD's worden vergeleken moet worden geconcludeerd dat de voorkeur sterk ligt bij een traject specifiek gefit MFD. Een investering is nodig om tijdelijk extra metingen te doen, maar de reistijdschatting gaat er sterk op vooruit.

## 9. Conclusie deelvragen hoofdonderzoeksvraag 1

Het eerste gedeelte van het onderzoek, met als doel om een duidelijker en completer beeld te krijgen van de informatie die uit de data te halen is, is nu afgerond. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt daarmee antwoord gegeven op de in paragraaf 1.4 geformuleerde deelonderzoeksvragen van de eerste hoofdonderzoeksvraag. Het antwoord op de eerste hoofdonderzoeksvraag zal in hoofdstuk 17, samen met het antwoord op de tweede hoofdonderzoeksvraag, worden geformuleerd. In de tweede paragraaf van dit hoofdstuk worden vervolgens nog een aantal aannames en bevindingen, die tijdens het eerste deel van het onderzoek naar boven kwamen, ter discussie gesteld.

### 9.1 Antwoorden deelvragen hoofdonderzoeksvraag 1

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de opeenvolgende deelonderzoeksvragen van de eerste hoofdonderzoeksvraag.

#### *1.1 Hoe goed kan er een op stedelijk traject gebaseerd stedelijk Macroscopisch Fundamenteel Diagram worden bepaald uit data van intensiteiten, reistijden en bezettingsgraden?*

Een op traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram wordt bepaald uit de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid op het traject. Wanneer twee van deze drie grootheden bekend zijn, kan de derde aan de hand van de relatie worden berekend. In het onderzoek zijn twee methodes onderzocht om tot twee van de drie benodigde grootheden te komen. De eerste methode gebruikt de data van snelheden (uit reistijden en trajectlengte) en (gewogen) intensiteiten. De tweede methode gebruikt (gewogen) bezettingsgraden om de dichtheid te verkrijgen, en (gewogen) intensiteiten.

Met behulp van datafusie is voor beide methoden per aggregatieperiode de ene grootheid tegen de ander uitgezet om een datapunt te berekenen. Met een groot aantal aggregatieperiodes verspreid over een hele maand wordt er een puntenwolk zichtbaar, die de fundamentele relatie voor het specifieke traject beschrijft. Beide methodes laten een vergelijkbare vorm van het typische Macroscopisch Fundamenteel Diagram zien. Echter bij de tweede methode, die de relatie op bezettingsgraden baseert, mist de congestie-tak. Blijkbaar worden bij het wegen van de bezettingsgraden de hoge bezettingsgraden voor een deel afgevlakt door lagere waarden. Vermoedelijk komt dit doordat er bij drukte een aantal voorsorteervakken (voor links- of rechtsafslaand verkeer) worden geblokkeerd door de wachtrij van de stroom die rechtdoor wil. Hierdoor blijven de lange lussen van de voorsorteervakken voor links- en rechtsafslaand verkeer onbezet.

Afgezien van de waarden bij grote drukte komen de puntenwolken van beide methodes ver overeen. De eerste methode, die op snelheden is gebaseerd, laat echter wel zowel de vrijedoorstrooms-tak als de congestie-tak zien. Het is juist ook van belang dat deze congestie-tak zichtbaar is, om ook de doorstroom op het traject te kunnen bepalen op de drukkere momenten waarbij zelfs congestie kan zijn ontstaan. De eerste methode, met snelheden en (gewogen) intensiteiten, laat de fundamentele relaties dus beter zien en wordt daarom gekozen voor het fitten van de op traject gebaseerde stedelijke Macroscopisch Fundamentele Diagrammen.

Door de puntenwolk is een op traject gebaseerd stedelijk Macroscopisch Fundamenteel Diagram te tekenen die de vorm van de puntenwolk beschrijft. Dit is gedaan door de Adjusted Drake functie door de puntenwolk heen te fitten. Op een aantal testtrajecten bleek deze functieform een betere fit te hebben dan de tot op heden vaak gebruikte derdegraads polynoom. Over alle 78 trajecten gezien bleek de Adjusted Drake functie een fit te hebben met een gemiddelde RMSE van 24 voertuigen/uur/rijstrook.

## *1.2 Wat is het verband tussen op stedelijk traject gebaseerde Macroscopische Fundamentele Diagrammen van verschillende stedelijke routes binnen eenzelfde netwerk?*

Voor alle 78 trajecten is een traject specifiek gefit MFD gemaakt. Elk gefit MFD laat de fundamentele karakteristieken zien van het desbetreffende traject. Om te zien of er verbanden bestaan tussen de 78 ontwikkelde MFD's, zijn de trajecten gecategoriseerd aan de hand van de parameters van de gefitte MFD's. Eerst zijn alle trajecten in twee groepen verdeeld: de Functietrajecten en de Validatietrajecten. Daarna zijn de Functietrajecten door middel van een clusteralgoritme gecategoriseerd in een aantal categorieën. Per categorie is er een cluster-MFD ontwikkeld, die de fundamentele relaties weergeeft voor de bij het cluster horende trajecten. Vervolgens zijn deze cluster-MFD's gevalideerd door middel van de Validatietrajecten.

Uit de clustering volgt dat er vier categorieën trajecten (met bijbehorende cluster-MFD's) zijn te onderscheiden aan de hand van de traject specifiek gefitte MFD's, waarin onder andere de vrijedoorstrooms-snelheid en het capaciteitspunt te herkennen zijn. Buiten deze fundamentele eigenschappen komen er ook een aantal andere trajecteigenschappen binnen deze categorieën overeen. Daarbij moet gedacht worden aan trajecteigenschappen als de snelheidslimiet, de trajectlengte, de ligging van het traject ten opzichte van het netwerk, percentage groentijd voor de doorgaande stroom en de VRI-dichtheid op het traject.

Binnen het stedelijk wegennetwerk van Den Haag bepaalt over het algemeen de ligging van het traject ten opzichte van het netwerk grotendeels in welk van de vier categorieën het betreffende traject wordt ingedeeld. Deze ligging van het traject hangt namelijk nauw samen met een aantal andere eigenschappen als het percentage groentijd voor de doorgaande stroom, de VRI-dichtheid en ook de snelheidslimiet. Naarmate een traject dichter naar het centrum van het stedelijk wegennetwerk komt te liggen, des te lager het percentage groentijd voor de belangrijkste doorgaande stroom, des te hoger de VRI-dichtheid, des te lager de snelheidslimiet en daarmee ook des te lager de vrijedoorstrooms-snelheid en het capaciteitspunt van het op traject gebaseerde stedelijk MFD.

### *1.3 Welke data-inwinning is nodig om het op stedelijk traject gebaseerde Macroscopisch Fundamenteel Diagram op andere trajecten te kunnen ontwikkelen?*

Er is data nodig van ten minste twee van de drie grootheden intensiteit, dichtheid en snelheid om een Macroscopisch Fundamenteel Diagram te ontwikkelen. Als er twee van de drie bekend zijn is de derde uit te rekenen en kan er ook een traject specifiek gefit MFD gemaakt worden als er genoeg datapunten berekend zijn. In het onderzoek zijn aggregatieperioden van een kwartier voor een hele maand gebruikt. Afhankelijk van de datakwaliteit en compleetheid is de verwachting dat data van twee á drie weken ook al voldoet.

Dichtheid is degene van de drie grootheden die echter niet direct te meten is, dus deze kan bijvoorbeeld worden berekend als de andere twee grootheden bekend zijn. Een andere mogelijkheid is om de dichtheid af te leiden uit bezettingsgraden. Echter zoals onder deelonderzoeksvraag 1.1 vermeld geeft deze methode niet de gewenste resultaten. Daarom moet er data ingewonnen worden van intensiteiten en snelheden (of reistijden met bekende trajectlengte) voor een voldoende aantal aggregatieperioden om een op traject gebaseerd stedelijk MFD te ontwikkelen.

Een tweede mogelijkheid is om een traject in te delen bij één van de vier clusters met bijbehorend cluster-MFD, om de fundamentele relatie op een traject te bepalen. Dit indelen van een traject bij één van de vier clusters kan op basis van de onder deelonderzoeksvraag 1.2 genoemde fundamentele- en trajecteigenschappen. Wanneer de cluster-relaties tussen intensiteit, dichtheid en snelheid bekend is, hoeft alleen nog maar de intensiteit of snelheid gemeten te worden om de andere grootte te kunnen schatten.

Wanneer een traject specifiek gefit MFD wordt ontwikkeld had deze, zoals onder deelonderzoeksvraag 1.1 vermeld, een gemiddelde fit door de puntenwolk met een RMSE van 24 vtg/u/rijstrook. Wanneer de Functietrajecten bij een cluster worden ingedeeld, groeit de foutwaarde van het cluster-MFD ten opzichte van de datapunten naar een RMSE van 64 vtg/u/rijstrook. Wanneer de datapunten van de Validatietrajecten met het bijbehorende cluster-MFD worden vergeleken is de RMSE 58 vtg/u/rijstrook. Wanneer een traject wordt ingedeeld bij een cluster is de fout van het cluster-MFD ten opzichte van de datapunten gemiddeld dus meer dan dubbel zo groot dan wanneer er een traject specifiek gefit MFD ontwikkeld wordt. Als de datapunten van zowel de Functietrajecten als de Validatietrajecten met het bijbehorende cluster-MFD's worden vergeleken is de gemiddelde RMSE 61 vtg/u/rijstrook.

#### *1.4 Hoe kan een voor een stedelijk traject specifiek ontwikkeld Macroscopisch Fundamenteel Diagram helpen bij het schatten van de intensiteit of reistijd op dat traject?*

Wanneer er een traject specifiek gefit MFD of een cluster-MFD voor een traject bekend is, is ook de fundamentele relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid op dat traject bekend. Als reistijden gemeten worden, kan met deze relatie de intensiteit worden geschat. Andersom kunnen er aan de hand van de relatie reistijden geschat worden, wanneer er intensiteiten worden gemeten.

Als de reistijd gemeten is hoort hier, bij een bekende trajectlengte, een snelheidswaarde bij. Vervolgens hoort er aan de hand van het MFD een unieke waarde van de intensiteit bij. Wanneer deze schatting van de intensiteit echter wordt vergeleken met de daadwerkelijk gemeten intensiteit, zit de schatting er gemiddeld over al de trajecten naast met een RMSE van 171 vtg/u/rijstrook voor het traject specifiek gefit MFD. Wanneer de daadwerkelijk gemeten intensiteit wordt vergeleken met de schattingen aan de hand van de cluster-MFD's, zit deze schatting er zelfs gemiddeld over al de trajecten naast met een RMSE van 255 vtg/u/rijstrook.

Als de intensiteit gemeten is horen hier aan de hand van een MFD twee snelheidswaardes bij. Een snelheidswaarde in de vrijedoorstrooms-tak en een waarde in de congestie-tak, die beide omgerekend kunnen worden naar een reistijd per kilometer. Echter is uit de data niet direct op te maken met welk van de twee takken van het MFD de intensiteitwaarde vergeleken dient te worden. Dit probleem is in het onderzoek op twee verschillende manieren aangepakt. Met de eerste methode (de Vrijedoorstrooms-tak methode) worden alle intensiteitwaarden met de vrijedoorstrooms-tak vergeleken, ongeacht de tak waartoe ze daadwerkelijk behoren. De tweede methode (Bekende-tak methode) vergelijkt de intensiteitwaarde met de juiste tak, aangenomen dat deze wel bekend zou zijn. Voor beide methoden zijn de reistijden per kilometer aan de hand van de intensiteiten geschat met zowel het traject specifiek gefit MFD als met het cluster-MFD.

Met de Vrijedoorstrooms-tak methode is de fout berekend tussen de daadwerkelijke waarde van de reistijd per kilometer en de geschatte reistijd per kilometer. Wanneer de schatting wordt gedaan aan de hand van het traject specifiek gefit MFD is de RMSE gemiddeld over alle trajecten 15 seconde per kilometer. Wanneer de schatting wordt gedaan aan de hand van het cluster-MFD is deze RMSE gemiddeld 25 seconde per kilometer. Er is ook berekend dat de reistijd over een kilometer traject gemiddeld 97 seconde is. Dit betekent dat de schatting aan de hand van het traject specifiek gefit MFD en het cluster-MFD er respectievelijk relatief 15% en 26% naast zit met de Vrijedoorstrooms-tak methode.

Ook met de Bekende-tak methode is de fout berekend tussen de daadwerkelijke waarde van de reistijd per kilometer en de geschatte reistijd per kilometer. Wanneer de schatting wordt gedaan aan de hand van het traject specifiek gefit MFD is de RMSE gemiddeld over alle trajecten 19 seconde per kilometer. Wanneer de schatting wordt gedaan aan de hand van het cluster-MFD is deze RMSE gemiddeld 35 seconde per kilometer. De gemiddelde reistijd over een kilometer traject is nog steeds 97 seconde. Dit betekent dat de schatting aan de hand van het traject specifiek gefit MFD en het cluster-MFD er respectievelijk relatief 20% en 36% naast zit met de Bekende-tak methode. De fout met de Bekende-tak methode is dus groter dan met de Vrijedoorstrooms-tak methode voor de onderzochte trajecten. Een verklaring hiervoor is dat er op de onderzochte trajecten relatief weinig ernstige congestie voorkomt. Hierdoor is de fout ten opzichte van de vrijedoorstrooms-tak slechts beperkt. Aan de andere kant kan bij het afleiden van de reistijd de snelheid beter overschat worden dan onderschat. Bij een onderschatting van de snelheid wijkt de reistijd relatief verder af van de daadwerkelijke reistijd dan bij een overschatting van de snelheid. Bij de Vrijedoorstrooms-tak methode worden congestie-waarden altijd overschat en bij de Bekende-tak methode worden de waarden zowel over- als onderschat. Blijkbaar weegt het aantal onderschattingen zover door dat de totale gemiddelde fout voor de Bekende-tak methode groter is voor de gemeente Den Haag.



## 9.2 Discussie deelonderzoeksvragen eerste deel

Tijdens het eerste deel van het onderzoek zijn een aantal aannames gedaan en beslissingen genomen. In deze paragraaf worden een aantal van deze aannames en beslissingen nogmaals ter discussie gesteld. Er wordt namelijk beredeneerd hoe de uitkomsten van het onderzoek anders zouden kunnen zijn wanneer deze aannames of beslissingen anders waren genomen. Ook worden er een aantal aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

De eerste beslissing die in deze paragraaf wordt benoemd is de tijdsperiode waarover data wordt ingezameld voor het ontwikkelen van een op traject gebaseerd MFD. Gedurende het onderzoek is een periode van een maand aan data verzameld. In feiten kun je met twee datapunten al een MFD fitten, maar de vraag is hoe representatief deze fit dan voor de werkelijkheid zou zijn. Er zou gezegd kunnen worden dat op des te meer data het MFD wordt gebaseerd, des te representatiever het MFD wordt voor de werkelijke situatie en des te beter de schattingen aan de hand van het MFD worden. Echter vanwege praktische overwegingen is het gewenst om zo min mogelijk punten te hoeven verzamelen om al een representatief beeld te krijgen. Een maand aan data bleek uit het onderzoek al ruim voldoende. Er zou dus een afweging gemaakt moeten worden hoe lang de meetperiode precies dient te zijn om zowel praktisch niet te lang, als representatief voor de werkelijkheid te zijn. Er is al aangegeven dat dit voor de gemeente Den Haag naar verwachting rond de 2 à 3 weken is. Echter een exacte meetperiode zou nog nader onderzocht kunnen worden.

Het tweede punt is de exacte kwaliteit van het verzamelen van de intensiteitdata. Op maar een klein aantal trajecten was intensiteitdata bekend van zowel NDW-meetlussen als van VRI-koplussen. Paragraaf 4.3 liet al zien dat er kleine verschillen zitten tussen de gemeten intensiteiten, waar de meetlussen niet eens zo ver van elkaar verwijderd liggen. Voor dit onderzoek was het consistentier om zoveel mogelijk de intensiteiten van de koplussen te gebruiken, aangezien de koplussen op aanzienlijk meer locaties en dus ook op meer trajecten aanwezig waren dan de NDW-meetlussen. Toch is het interessant om te onderzoeken wat de verschillen in intensiteiten tussen de twee databronnen veroorzaakt.

Het derde punt van aandacht is de gebruikte functievorm van het MFD. In het onderzoek is de Adjusted Drake functie gebruikt om de datawolken te fitten. Echter is al aangegeven dat deze functievorm een minder geschikte vorm heeft om zware congestie weer te geven. Ook het punt waarop het zo druk is dat het verkeer op het gehele traject tot stilstand is gekomen (op het punt van stremmingsdichtheid), geeft onrealistische waarden weer. Een nog betere functievorm zal uiteindelijk leiden tot nog betere resultaten van zowel de fit als de schattingen. Aangezien er weinig ernstige congestie op de trajecten in het wegennetwerk van Den Haag voorkomt, zal een verbeterde MFD-vorm naar verwachting de schattingen voor het Haagse wegennetwerk maar in kleine mate verbeteren. Voor andere stedelijke wegennetwerken, waar wellicht meer (ernstige) congestie voorkomt, is een functievorm die de datawolken nog beter beschrijft wellicht wel wenselijk. Het wordt daarom ook aanbevolen om een functievorm te ontwikkelen die zowel de vrijedoorstroomstak als de congestie-stak nog beter beschrijft.

Het gebruik van bezettingsgraden om een MFD te ontwikkelen is ook in het onderzoek opgenomen. Gedurende het onderzoek bleken hogere waarden van bezettingsgraden afgevlakt te worden door lagere waarden. De exacte oorzaak zou onderzocht moeten worden, al bestaat een sterk vermoeden dat het komt doordat voorstorteerstroken voor links- en rechtsafslaand verkeer worden geblokkeerd door rechtdoorgaand verkeer bij grote drukte. Of de afvlakking er middels het gebruik van een andere methode eruit te halen is zou nader onderzocht moeten worden.

Samenhangend met dit onderwerp is het wellicht ook interessant om te onderzoeken hoe goed de reistijdschattingen zouden zijn wanneer er wél gebruik wordt gemaakt van de datafusiemethode tussen gewogen bezettingsgraden en gewogen intensiteiten. Als bezettingsgraden worden genomen in plaats van de reistijden wordt de relatie een stijgende relatie in plaats van een concave relatie. Een echte congestietak zit hier dus niet in. Dit maakt de relatie tussen de bezettingsgraad en de intensiteiten een stuk eenvoudiger. Daarnaast is er het voordeel dat slechts de VRI als databron gebruikt hoeft te worden voor deze datafusiemethode. Voor de gemeente Den Haag voldoet de tijdens het onderzoek gebruikte methode vanwege de uitgebreide databeschikbaarheid. Voor de toepassing op andere stedelijke wegennetwerken met een kleinere databeschikbaarheid zou onderzocht kunnen worden hoe goed de reistijdschattingen uiteindelijk zouden worden wanneer het MFD wordt bepaald uit bezettingsgraden en intensiteiten.

Het volgende punt is de keuze voor het aantal clusters. Als er meer clusters zouden zijn gebruikt, gaat ook de foutmaat van het schatten van reistijden met de cluster-MFD's omlaag. Hoever de fout in de reistijdschatting daalt bij het toevoegen van één of meerdere clusters is niet duidelijk. Wanneer er meer clusters worden toegevoegd, wordt echter ook de kans groter dat een traject niet wordt ingedeeld bij het optimale cluster. Dit komt door de verschillende eigenschappen van de clusters. Hoe meer clusters, des te meer overlap in eigenschappen en des te lastiger een traject is in te delen bij het juiste cluster. Wanneer een cluster bij een niet-optimaal cluster wordt ingedeeld, kan de fout in de reistijdschatting zelfs groter worden. Wat de exacte effecten van deze invloeden op de reistijdschatting zijn, zou nader kunnen worden onderzocht.

Nog een punt met betrekking tot de clustering is dat nu alle trajecten met een snelheidslimiet van boven de 50 km/u blijkbaar in één cluster (cluster 1) worden ingedeeld. Voor de andere clusters worden steeds de trajecten ingedeeld met een snelheidslimiet van 50 km/u. De vraag is of er een cluster-MFD toegevoegd zou moeten worden, wanneer er ook (deel)trajecten zijn met een snelheidslimiet van 30 km/u. Op de trajecten van het DVM-netwerk, waarop dit onderzoek is gebaseerd, komt deze snelheidslimiet niet voor.

Een derde punt met betrekking tot de clusters is de vraag of trajecten überhaupt kunnen worden geclusterd op een representatieve manier, of dat een traject specifiek gefit MFD te uniek is voor een betreffend traject. Uit paragraaf 6.6 bleek dat de ontwikkelde vier cluster-MFD's nog sterk verschillen van de traject specifiek gefitte MFD's. Ook met het schatten van zowel de intensiteiten, snelheden als reistijden bleken de cluster-MFD's significant minder goede resultaten op te leveren. De keuze voor een aantal extra clusters dan de ontwikkelde vier zou de resultaten verbeteren, maar aangezien de bij elk cluster horende traject specifiek gefitte MFD's veel van elkaar verschillen zal deze verbetering slechts minimaal zijn. Het ontwikkelen van een clustermethode die omvattend en representatief is voor traject specifiek gefitte MFD's behoeft nader uitgebreid onderzoek.

Een laatste punt van discussie is de toepasbaarheid van het schatten van snelheden en reistijden op trajecten waar meer congestie op voorkomt. Binnen het DVM-netwerk van de gemeente Den Haag komt er relatief weinig ernstige congestie voor. Voor stedelijke wegennetwerken waarop meer congestie voorkomt, zal de schatting met behulp van de Vrijedoorstrooms-tak methode gaan groeien naarmate er meer congestie op het wegennetwerk voorkomt. Dit pleit ook voor het gebruik van het traject specifiek gefit MFD. Wanneer dit niet mogelijk is, is er nog de mogelijkheid om de Bekende-tak methode toe te passen. Voordat deze methode echt effectief zal worden, moet worden onderzocht wat de beste manier is om te bepalen of een gemeten intensiteit in de vrijedoorstrooms-tak behoort of in de congestie-tak. Er valt namelijk niet direct aan de gemeten waarde te zien tot welke van de twee takken de waarde betrekking heeft. Dit kan wellicht worden afgeleid uit trends, door het gebruik van bezettingsgraden of door de intensiteiten van nabijgelegen VRI's op trajecten mee te nemen in de bepaling of de verkeersstroom in congestie is of niet. Hoe dit precies zou moeten worden aangepakt behoeft uitgebreid nader onderzoek.

## 10. Onderzoek naar de prestatie-indicator

In het eerste gedeelte van dit onderzoek is een methode ontwikkeld om de informatie over verkeersstromen binnen het wegennetwerk completer te maken. Hoe completer de informatie over de verkeersstromen door het stedelijk wegennetwerk, hoe beter het beeld is van de verkeerskundige prestaties van het wegennetwerk en verschillende onderdelen hiervan. Hoe beter dit beeld is, des te beter de prestaties kunnen worden beoordeeld. Echter zoals in de eerste twee hoofdstukken al is beschreven, is het nog niet zo eenvoudig om deze prestaties eenduidig weer te geven op een manier, waarmee deze bruikbaar en communiceerbaar is voor alle partijen van beleid tot weggebruiker.

Dit tweede gedeelte van het onderzoek (hoofdstuk 10 t/m 16) gaat dan ook in op de tweede hoofdonderzoeksvraag. Dit vraagstuk verdiept zich in welke maatstaf het meest geschikt is, om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk en verschillende onderdelen hiervan, op een eenduidige en communiceerbare manier weer te geven. In dit hoofdstuk wordt eerst het huidige gebruik van prestatie-indicatoren weergegeven. Daarna volgt een beschrijving van de aanpak, om tot een beoordeling van prestatie-indicatoren te komen. In hoofdstuk 17 wordt vervolgens een algemene conclusie van beide hoofdonderzoeksvragen beschreven.

## 10.1 Het weergeven van de prestatie-indicator

De prestaties van een wegennetwerk kunnen op vele manieren worden weergegeven. Aangezien de prestaties vaak achteruit gaan wanneer er congestie binnen het netwerk ontstaat, zou het logisch kunnen zijn om de prestaties te koppelen aan de hoeveelheid congestie binnen het netwerk. Echter is het een probleem dat er geen universeel geaccepteerde definitie van congestie in de praktijk wordt gevonden. Zo laat Aftabuzzaman [29] al een overzicht van dertien definities van congestie zien, waarbij deze zijn ingedeeld in de drie groepen: vraag-capaciteit gerelateerde, vertraging-reistijd gerelateerde en kosten gerelateerde congestie. Deze definities van congestie zijn weergegeven in Bijlage E. Dat het begrip niet eenduidig is, is niet het enige probleem. Het is ook wenselijk om de prestaties van het wegennetwerk te kunnen bepalen, wanneer er geen (ernstige) congestie op het netwerk voorkomt.

Een grote verscheidenheid aan prestatie-indicatoren wordt, zoals in paragraaf 2.3 beschreven, in de praktijk gebruikt om een bepaalde mate van Mobiliteit of Bereikbaarheid uit te drukken. Zoals in deze paragraaf tevens is uitgelegd, hebben de begrippen Mobiliteit en Bereikbaarheid ook geen universeel geaccepteerde definitie. Beide begrippen zijn afhankelijk van verschillende perspectieven en doeleinden, waardoor de Mobiliteit of Bereikbaarheid kan worden uitgedrukt met behulp van een grote diversiteit aan prestatie-indicatoren. Dit leidt ertoe dat de prestaties van eenzelfde netwerk op een verschillende en soms zelfs tegenstrijdige manier worden beoordeeld door verschillende partijen die met beleid, ontwerp, advies, management, beheer, onderhoud of het gebruik van het wegennetwerk bezig zijn. Bij het evalueren van de prestaties van het wegennetwerk en bij het maken van beleid zijn deze tegenstrijdigheden tussen verschillende partijen niet handig. Ook het gebruik van meerdere verschillende indicatoren binnen één proces van beleid tot weggebruiker, is niet wenselijk. Maar de vraag is aan welke eigenschappen een indicator moet voldoen, om de prestaties op het wegennetwerk voor alle partijen geschikt weer te geven.

De prestaties van een wegennetwerk kunnen op allerlei manieren worden weergegeven [30]. Zo kan dit bijvoorbeeld in termen van milieuemissies (uitlaatgassen/geluid), ruimtegebruik (netwerkdichtheid), veiligheid (aantal verkeersongevallen en ernst van de ongevallen), leefbaarheid (prettig straatbeeld, genoeg groen, genoeg parkeerplaatsen), comfort (staat van het asfalt) of in verkeerskundige termen (doorstroom). Om de complexiteit van het probleem enigszins te beperken, ligt de focus van dit onderzoek op het verkeerskundige aspect van de prestaties van het wegennetwerk. Daarbij gaat het dus om de doorstroming ofwel de afwikkeling van het verkeer. Op welke manier deze doorstroming dan wel afwikkeling wordt uitgedrukt, wordt nader onderzocht in een aanvullend literatuuronderzoek naar de verkeerskundige prestatie-indicator.

Vanwege deze afweging passen ook de termen Mobiliteit en Bereikbaarheid niet helemaal in het beeld van een verkeerskundige prestatie-indicator. Beide termen impliceren, ook volgens Figuur 2.4 uit paragraaf 2.3, een netwerkcomponent te bevatten. Deze netwerkcomponent bevat de locaties van activiteiten, dan wel de infrastructurele voorzieningen voor Mobiliteit (die volgens de figuur als directe input geldt voor de Bereikbaarheid). De indicator zou effectief iets moeten zeggen over de verkeerskundige prestaties van het netwerk en niet iets over het netwerk zelf. Hierdoor komt de indicator ook los te staan van de robuustheid van het netwerk. De robuustheid en het ontwerp van het netwerk zijn namelijk een middel om de verkeerskundige prestaties te verbeteren en geen indicator op zich.

De afweging om de focus te leggen op het verkeerskundige aspect van de prestaties betekent ook dat alleen het autoverkeer wordt bekeken. De prestaties van openbaar vervoerssystemen, fietsersstromen en voetgangersstromen worden daarom buiten beschouwing gelaten.

## 10.2 Aanpak beoordeling prestatie-indicatoren

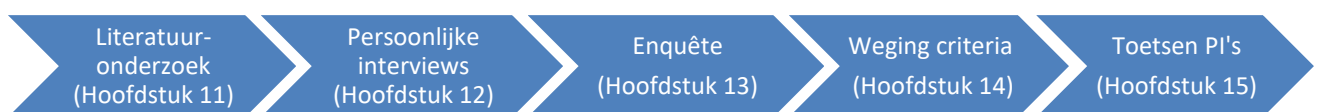
De verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk moeten dus met een indicator op een bepaalde manier worden weergegeven. In de praktijk is er een groot aantal van deze prestatie-indicatoren te vinden. Deze paragraaf beschrijft de onderzoeks aanpak, om tot een bepaling te komen van de meest geschikte indicator om de verkeerskundige prestaties weer te geven. De onderzoeksmethode van het in paragraaf 2.3 genoemde onderzoek van Hoogendoorn-Lanser et al. [17] vormt de basis van deze onderzoeks aanpak.

Allereerst moet worden onderzocht welke gewenste eigenschappen de prestatie-indicatoren kunnen hebben. Daarom is er eerst een literatuuronderzoek uitgevoerd naar gebruikte verkeerskundige prestatie-indicatoren. Hieruit is een overzicht gecreëerd van gewenste criteria, waaraan deze indicatoren zoal zouden kunnen voldoen.

Om dit overzicht compleet te krijgen zijn er ook persoonlijke interviews afgenomen met diverse mensen, die met verkeerskundige prestaties van het Haags wegennetwerk bezig zijn. In deze interviews zijn ook de formuleringen van de in de literatuur gevonden criteria aangescherpt. Door het opstellen van deze criteria is een lijst van criteria gecreëerd, waaraan een verkeerskundige prestatie-indicator aan zou kunnen voldoen. Wanneer een prestatie-indicator aan al de criteria voldoet, betekent dit dat de indicator de perfecte maatstaf is om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te geven. Echter zal geen enkele bestaande indicator aan al de criteria kunnen voldoen.

Daarom is er vervolgens bepaald wat het belang van ieder individueel criterium ten opzichte van de andere van het totaal aantal criteria is, om uiteindelijk de indicatoren aan de hand van de criteria te kunnen toetsen. De weging van de criteria wordt gedaan middels een enquête. Met deze enquête wordt bij diverse partijen onderzocht wat het belang is van de verschillende individuele criteria. Het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews vormen de input voor deze enquête. Door de criteria aan de hand van de enquête door verschillende partijen te laten beoordelen, volgt hier dus uit wat de diverse partijen belangrijk vinden in een verkeerskundige prestatie-indicator. Dus de belangrijkste eigenschappen van de verkeerskundige prestatie-indicator komen daarmee voor zowel het collectief, als voor de diverse partijen naar boven. Hiermee worden de verschillen in behoeften tussen de diverse partijen geëvalueerd. Het is een voordeel als een indicator aan zoveel mogelijk van de meest belangrijke criteria voldoet. Het is echter een nadeel wanneer een indicator niet aan de meest belangrijke criteria voldoet.

Uit de resultaten van de enquête is een weging van de criteria afgeleid. Met deze weging kunnen alle denkbare bestaande prestatie-indicatoren worden getoetst hoe geschikt ze zijn, om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te kunnen geven. Ook kan met deze weging eenvoudig in kaart worden gebracht door welke specifieke criteria een indicator goed scoort. Daarnaast kan, op basis van de criteria die de indicator eventueel nog mist, worden onderzocht hoe de betreffende indicator nog verbeterd zou kunnen worden. Hieronder in Figuur 10.1 is nogmaals schematisch weergegeven wat de verschillende stappen zijn in het onderzoek naar de meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator.



**Figuur 10.1: Stappen in toetsingsmethode voor meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator**

### 10.3 Toetsingsmethodes verkeerskundige prestatie-indicatoren

Door de in de vorige paragraaf beschreven aanpak wordt voor een andere toetsingsmethodiek gekozen dan gebruikt is in Hoogendoorn-Lanser et al. [17]. Een aantal aanpassingen van deze methodiek leiden tot de eerste in dit afstudeeronderzoek gebruikte toetsingsmethode “Totaalscore met wegingsfactoren”. De tweede toetsingsmethode is gebaseerd op de door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Ook deze tweede toetsingsmethode “Meest belangrijke criteria beroepspraktijk”, wordt toegepast op de verkeerskundige prestatie-indicatoren om te analyseren welke indicatoren aan zoveel mogelijk van de belangrijkste indicatoren voldoen. Beide toetsingsmethoden worden hieronder achtereenvolgens uitgebreider beschreven.

#### *Toetsingsmethode 1: Totaalscore met wegingsfactoren*

Door de in de vorige paragraaf beschreven aanpak wordt voor een andere toetsingsmethodiek gekozen dan gebruikt is in Hoogendoorn-Lanser et al. [17]. In dit door het Kennisinstituut voor Mobiliteit uitgevoerde onderzoek wordt namelijk voor 19 criteria individueel bepaald of de indicatorgroep goed, matig of slecht voldoet aan het betreffende criterium. Vervolgens wordt er per criterium een score aan opgehangen van respectievelijk +1, 0 en -1. Op basis van de gemiddelde score van al de criteria wordt vervolgens berekend hoe goed een groep van prestatie-indicatoren presteert bij het weergeven van de bereikbaarheid. Alle 19 criteria wegen hiermee dus even zwaar mee in de eindscore. Echter wordt verwacht dat niet elk criterium door alle partijen even belangrijk wordt gevonden, bij de bepaling welke indicator het meest geschikt is om verkeerskundige prestaties weer te geven. Om dit te onderzoeken wordt voor het afstudeeronderzoek de enquête ontwikkeld. Ook de score van goed, matig of slecht kan in sommige gevallen leiden tot onenigheid in de beoordeling. Om dit te voorkomen zal ook deze manier van het geven van scores anders worden aangepakt. Aan de hand van de bovengenoemde aanpassingen op de onderzoeks aanpak van Hoogendoorn-Lanser et al. [17] wordt de eerste toetsingsmethode: Totaalscore met wegingsfactoren toegepast op de verkeerskundige prestatie-indicatoren. Hieronder is beschreven hoe de weging van de criteria zal worden aangepakt en hoe de verkeerskundige prestatie-indicatoren worden getoetst.

Het doel van de enquête is om uiteindelijk elke denkbare verkeerskundige prestatie-indicator met behulp van onderstaande Formule 10.1 [31] op waarde te kunnen schatten. De totaalscore  $U$  van een prestatie-indicator hangt hierbij af van het al dan niet voldoen aan eigenschappen door de indicator en een door de resultaten van de enquête bepaalde wegingsfactor per eigenschap.

$$U = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad \text{Formule 10.1}$$

In de enquête wordt de deelnemers een aantal voor de indicator positieve criteria (1 tot en met  $n$ ) voorgelegd. De deelnemer dient per criterium een waarde te geven voor de mate hoe belangrijk diegene het criterium vindt. Wanneer alle resultaten binnen zijn, wordt er aan de hand hiervan per criterium een wegingsfactor  $\alpha$  bepaald ( $\alpha_1$  t/m  $\alpha_n$ ). Deze wegingsfactoren hebben een positieve waarde tussen een minimum en een maximum waarde en geven aan hoe belangrijk het criterium ten opzichte van de andere criteria mee dient te wegen in de totaalscore. De wegingsfactoren worden bepaald voor elke individuele deelnemersgroep door een score per criterium te berekenen aan de hand van het gemiddelde van de scores, die door de deelnemers binnen die groep in de enquête zijn gegeven. Dit wordt gedaan voor alle in het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews gevonden criteria. Hiermee wordt per criteria een score per deelnemersgroep berekend, die overeenkomt met de uiteindelijke wegingsfactor per criteria. Vervolgens worden ook de wegingsfactoren voor de criteria berekend voor de Totale beroepspraktijk. Deze wegingsfactoren worden berekend door per criterium steeds het gemiddelde over de wegingsfactoren van de individuele deelnemersgroepen te nemen. Zo wordt het aantal deelnemers per deelnemersgroep irrelevant voor de berekening van de Totale beroepspraktijk. Elke deelnemersgroep wordt hierdoor even zwaar meegewogen in de wegingsfactoren, wat niet het geval zou zijn als de gemiddelden simpelweg over alle individuele deelnemers van de enquête berekend zouden worden.



Vervolgens stellen  $x_1$  t/m  $x_n$  binaire waarden voor, die aangeven of een prestatie-indicator aan een criterium voldoet (waarde van 1) of niet (waarde van 0). Wanneer alle wegingsfactoren zijn bepaald, kan met behulp van Formule 10.1 vervolgens elke denkbare prestatie-indicator worden getoetst aan de hand van het al dan niet voldoen aan gewenste eigenschappen met bijbehorende wegingsfactoren. Voor elke verkeerskundige prestatie-indicator wordt een totaalscore  $U$  berekend, om te bepalen hoe geschikt de betreffende indicator is, om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te geven. Aan des te meer criteria een indicator voldoet, des te hoger de totaalscore en daarmee des te beter de indicator wordt gewaardeerd. Als een indicator aan geen van de criteria voldoet krijgt de verkeerskundige prestatie-indicator een totaalscore van nul. Als een indicator aan alle criteria voldoet krijgt de verkeerskundige prestatie-indicator een totaalscore die gelijk is aan de optelsom van de wegingsfactoren binnen de deelnemersgroep of de Totale beroepspraktijk.

### *Toetsingsmethode 2: Meest belangrijke criteria beroepspraktijk*

Ook worden de verkeerskundige prestatie-indicatoren getoetst door middel van een tweede toetsingsmethode. Deze is gebaseerd op het voldoen aan de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria. Per deelnemersgroep wordt geanalyseerd welke criteria het hoogst worden gewaardeerd in de enquête. Zo wordt in kaart gebracht welke eigenschappen van een verkeerskundige prestatie-indicator per deelnemersgroep het meest belangrijk worden gevonden. Binnen elke deelnemersgroep wordt de score per criterium berekend aan de hand van het gemiddelde van de scores, die door de deelnemers binnen die groep in de enquête zijn gegeven.

Nadat deze scores berekend zijn, wordt er per deelnemersgroep een top 5 meest belangrijke criteria gemaakt. Wanneer criteria een zelfde score hebben, krijgen deze criteria ook dezelfde positie binnen de top 5. Binnen de toppen 5 van de deelnemersgroepen staan een bepaald aantal criteria met een bijbehorende door de betreffende deelnemersgroep toegekende score. Wanneer een criterium in meerdere toppen 5 van de deelnemersgroepen voorkomt, zullen deze toegekende scores bij elkaar opgeteld worden. Slechts wanneer een criterium dus daadwerkelijk in een top 5 voorkomt zal de betreffende score worden meegenomen. Criteria die vaak in de toppen 5 voorkomen scoren hiermee dus hoog. De berekening is dus niet gebaseerd op welk binnen de toppen 5 genoemde criterium gemiddeld over alle deelnemersgroepen het hoogst scoort. Dan wordt namelijk dezelfde ranglijst gecreëerd als in de eerste toetsingsmethode. Ook als een criterium door slechts één groep als dusdanig belangrijk wordt ervaren dat deze op plaats 1 van de top 5 staat met een hoge score, zou deze met gemiddelde waarden over alle deelnemersgroepen heen heel hoog kunnen scoren. Dit zou niet representatief zijn voor de belangrijkste eigenschappen van het geheel van alle deelnemersgroepen.

Met de hierboven beschreven toekenning van scores aan de in de toppen 5 genoemde criteria ontstaat er een eindscore per criterium voor de meest belangrijk bevonden criteria. Op basis van deze eindscore worden deze meest belangrijk bevonden criteria gerangschikt in een ranglijst met de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria voor een verkeerskundige prestatie-indicator.

Om te onderzoeken welke verkeerskundige prestatie-indicatoren aan de ranglijst van de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria voldoen, worden de indicatoren ook op basis van deze ranglijst geanalyseerd. De ranglijst van de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria wordt van boven naar beneden afgewerkt als filter op de verkeerskundige prestatie-indicatoren. Wanneer een indicator niet aan het betreffende criterium voldoet, valt deze af. Zo wordt de hele ranglijst van meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk afgewerkt. De overblijvende indicatoren gelden dan als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicatoren, omdat deze zoveel mogelijk voldoen aan de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden eigenschappen van verkeerskundige prestatie-indicatoren.



## 11. Aanvullend literatuuronderzoek prestatie-indicator

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van het specifieke literatuuronderzoek naar prestatie-indicatoren voor wegennetwerken. Het doel van dit gedeelte van het literatuuronderzoek is het onderzoeken welke gewenste eigenschappen de prestatie-indicatoren kunnen hebben. De gevonden eigenschappen zullen als input dienen voor de enquête, om uiteindelijk in Formule 10.1 te kunnen dienen als toetsingscriteria. Ook zullen de eigenschappen in de tweede toetsingsmethode, die de indicatoren op basis van de belangrijkste criteria toetst, worden toegepast.

Uit de literatuur wordt allereerst gezocht naar in de praktijk gebruikte prestatie-indicatoren van wegennetwerken. Als basis hiervoor worden een aantal onderzoeken gebruikt, die de prestatie-indicator vanwege de grote diversiteit aan gebruikte indicatoren, ter discussie stelt. Hierin worden een groot aantal indicatoren genoemd, die afhankelijk van het doel zijn onderverdeeld in een aantal categorieën. De belangrijkste en meest genoemde prestatie-indicatoren die in de onderzoeken naar voren komen, worden in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk beschreven. Buiten deze beschreven indicatoren zijn ook de andere prestatie-indicatoren, die in de verschillende onderzoeken naar voren kwamen, in Bijlage F opgesomd. In deze bijlage is ook het zoekpad beschreven dat tijdens het aanvullend literatuuronderzoek naar de prestatie-indicator is gevolgd. Dit zoekpad is ook globaal beschreven gedurende de literaturomkadering uit paragraaf 2.3 en de eerste paragraaf van dit hoofdstuk. De lijst van 86 tijdens het literatuuronderzoek gevonden prestatie-indicatoren zal later in het onderzoek worden getoetst, om te bepalen welke de meest geschikte is voor de in dit afstudeeronderzoek beschreven toepassing.

De prestatie-indicatoren uit het literatuuronderzoek hebben ieder een aantal eigenschappen. Dit wil zeggen dat de indicatoren een aantal karakteristieken van prestaties laten zien. Deze kunnen betrekking hebben op bijvoorbeeld de grootte of de eenheden waarin de prestatie is uitgedrukt, de grootte van het gebied waarop de indicator betrekking heeft, of hoe goed de indicator te visualiseren is. In de tweede paragraaf wordt uitgelegd hoe op basis van de in het literatuuronderzoek gevonden prestatie-indicatoren een aantal criteria wordt opgesteld, die de eigenschappen van de indicatoren omvatten. De paragraaf beschrijft niet direct welke specifieke criteria er in welk onderzoek zijn gevonden, maar wel wordt de aanpak uitgelegd die is gebruikt voor het ontwikkelen van de lijst van criteria. In Bijlage G is een compleet overzicht gegeven van al de criteria met bijbehorende beschrijving. Zowel bij het zoeken naar prestatie-indicatoren als bij het opstellen van de criteria wordt in het achterhoofd gehouden, dat de prestatie-indicatoren uiteindelijk getoetst zullen worden op basis van het verkeerskundige aspect van de prestaties.

## 11.1 Prestatie-indicatoren literatuur

In de literatuur zijn er vele indicatoren bekend die een bepaald aspect van de prestaties van een wegennetwerk weergeven. Of dit nu de mate van congestie, bereikbaarheid of mobiliteit is [21], de meesten zeggen wel iets over het verkeerskundige aspect van de prestaties. Echter omdat de doelen, behoeften en wensen van prestatie-indicatoren tussen partijen verschillen zijn vele verschillende soorten indicatoren ontwikkeld, die steeds weer een ander deel van de verkeerskundige prestatie weergeven. Geen enkele indicator is eenduidig en compleet genoeg om geschikt te zijn voor alle partijen, die gebruik maken van verkeerskundige prestatie-indicatoren.

Zo wordt in zowel Aftabuzzaman [29], Rao en Rao [32] als in Tsubota [33] een breed scala aan prestatie-indicatoren ter discussie gesteld. Het algemene beeld is dat de meeste indicatoren maar een deel van de gewenste informatie weergeven. Vandaar dat in deze onderzoeken de prestatie-indicatoren, afhankelijk van het doel, zijn onderverdeeld in een aantal categorieën van indicatoren. Een voorbeeld hiervan is de indeling naar: snelheid, reistijd en vertraging, volume, level of service, vraag/capaciteit gerelateerd, kosten gerelateerd en overig. In Bijlage H is de getoetste lijst van prestatie-indicatoren ook naar deze indeling weergegeven. Een aantal van de belangrijkste en meest genoemde prestatie-indicatoren, die in de onderzoeken worden genoemd, wordt hieronder kort beschreven. Het betreft de Volume/Capaciteit-ratio, Level Of Service, Travel Time Index, Voertuigverliesuren, de Reistijdnorm en Reistijdbetrouwbaarheid.

De Volume/Capaciteit-ratio wordt in alle drie de rapporten Aftabuzzaman [29], Rao en Rao [32] en Tsubota [33] genoemd. Deze ratio laat de verhouding zien tussen het volume in aantal voertuigen over een bepaalde tijdsperiode (of omgerekend naar intensiteit) ten opzichte van de capaciteit van het weggedeelte voor het aantal voertuigen over diezelfde gemeten tijdsperiode. Hiermee wordt dus duidelijk gemaakt hoe dicht de doorstroom tegen de capaciteit aanzit. De V/C-ratio wordt in alle drie de rapporten ook in combinatie met de Level of Service gebruikt. Hierbij valt elke berekende waarde met behulp van de V/C-ratio binnen één van de zes service niveaus. Elk van deze service niveaus geeft een bepaalde mate weer van de doorstroom en de vrijheid voor de gewenste rijnsnelheid en het maken van manoeuvres. Hieronder in Tabel 11.1 is de definitie van de service niveau per niveau weergegeven, zoals deze in Rao en Rao [32] en Tsubota [33] wordt gebruikt.

V/C-ratio	Level Of Service	Prestatie
<b>0.00 t/m 0.60</b>	A	Stelt vrije doorstroom voor. Individuele weggebruikers worden niet beïnvloed door andere weggebruikers. Vrijheid voor gewenste rijnsnelheid en het maken van manoeuvres is zeer groot.
<b>0.61 t/m 0.70</b>	B	Stelt stabiele doorstroom voor. De aanwezigheid van andere weggebruikers heeft echter een kleine invloed op de vrijheid voor gewenste rijnsnelheid en het maken van manoeuvres.
<b>0.71 t/m 0.80</b>	C	Stelt nog steeds stabiele doorstroom voor. Echter wordt de invloed op de vrijheid voor gewenste rijnsnelheid en het maken van manoeuvres nu beïnvloed door de aanwezigheid van de andere weggebruikers.
<b>0.81 t/m 0.90</b>	D	Stelt doorstroom met een hoge dichtheid voor. Vrijheid voor gewenste rijnsnelheid en het maken van manoeuvres is er niet door de aanwezigheid van de andere weggebruikers.
<b>0.91 t/m 1.00</b>	E	Stelt het doorstroomniveau vlakbij het capaciteitspunt voor. Alle snelheden gereden snelheden zijn iets gereduceerd en zijn nagenoeg uniform voor de gehele stroom. Vrijheid voor het maken van een manoeuvre is extreem klein.
<b>Groter dan 1.00</b>	F	Stelt zeer instabiele doorstroom of congestie voor.

Tabel 11.1: Combinatie van LOS tabellen uit Rao en Rao [32] en Tsubota [33]

Een derde prestatie-indicator die in al de drie rapporten en ook in Kaparias en Bell [30] wordt genoemd is de Travel Time Index (TTI of reistijdfactor). Deze indicator geeft de verhouding weer tussen de gemaakte reistijd over een weggedeelte ten opzichte van de vrijedoorstrooms-reistijd op datzelfde weggedeelte. Dit geeft dus een bepaalde mate van de vertraging weer. Wanneer een wegvak optimaal en dus zonder vertraging wordt afgelegd, hoort hier dus een TTI van 1.0 bij. Wanneer de reistijd over het wegvak dubbel zo groot is als voor de situatie zonder vertraging, hoort hier een TTI van 2.0 bij.

Voertuigverliesuren is binnen Nederland op snelwegen een veelgebruikte maat om de verkeerskundige prestaties weer te geven. In Noordegraaf et al. [34] en in Hoogendoorn-Lanser et al. [17] wordt een beschrijving gegeven hoe voertuigverliesuren worden berekend en vervolgens gebruikt. Het aantal voertuigverliesuren stelt het totaal aantal uren vertraging voor, dat is opgelopen door de totale verkeersstroom over een bepaalde tijdsperiode. Hierbij wordt dus niet alleen de duur van de file, maar ook het aantal voertuigen dat vertraging ondervindt, meegenomen bij het bepalen van de prestaties. Wanneer dit aantal voertuigverliesuren wordt gecombineerd met het gemiddelde aantal inzittenden per voertuig en/of het reismotief, kan er zelfs een indicatie gegeven worden van de economische schade die is opgelopen door de vertragingen.

Binnen de gemeente Den Haag geldt op dit moment volgens de Haagse Nota Mobiliteit [1], zoals al eerder in paragraaf 1.1 is beschreven, een prestatie-indicator in enige vorm van een reistijdnorm samen met enige mate van betrouwbaarheid. Voor verschillende locaties binnen de stad is namelijk een reistijdnorm opgesteld, waarbinnen deze locaties vanaf de stadsrand van Den Haag in 95% van de gevallen te bereiken moet zijn.

Ook voor de afdeling Bereik en Verkeers Management (BVM) binnen de gemeente Den Haag is een indicator, die reistijden combineert met enige mate van betrouwbaarheid, de doelstelling. De visie van BVM is namelijk dat “BVM zorgt voor een betrouwbare reis in en om Den Haag” [35]. De reistijdbetrouwbaarheid is hierin dus van belang. Over reistijdbetrouwbaarheid op zich is al een heel scala aan prestatie-indicatoren beschikbaar. Zo zijn in Abma [36] allerlei indicatoren gegeven die iets zeggen over de reistijdbetrouwbaarheid. De vraag is alleen of de verkeerskundige prestatie-indicator uit de Haagse Nota Mobiliteit [1] volledig, eenduidig en communiceerbaar is. Dit zal moeten blijken uit de persoonlijke interviews en de waarderingen uit de enquête.

Naast de hierboven beschreven meest voorkomende indicatoren, zijn er nog een groot aantal andere indicatoren te vinden in de literatuur. Een overzicht van de tijdens dit onderzoek gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren is te vinden in Bijlage F. Deze lijst van 86 prestatie-indicatoren zal later in het onderzoek worden getoetst. In Bijlage H is deze lijst vervolgens weergegeven in de indeling naar: snelheid, reistijd en vertraging, volume, level of service, vraag/capaciteit gerelateerd, kosten gerelateerd en overig. Verkeerskundige prestatie-indicatoren die niet in de lijsten zijn opgenomen of nog moeten worden ontwikkeld, kunnen echter altijd later nog aan de hand van de criteria worden getoetst met behulp van de in dit onderzoek ontwikkelde toetsingsmethode.

## 11.2 Criteria literatuur

De prestatie-indicatoren uit de literatuur hebben allemaal een aantal eigenschappen. Vervolgens worden er op basis van deze eigenschappen criteria opgesteld. Door het opstellen van criteria wordt er een lijst gecreëerd van criteria, waaraan de verkeerskundige prestatie-indicator aan zou kunnen voldoen. Het onderzoek Hoogendoorn-Lanser et al. [17] uitgevoerd door het KIM, vormt de basis bij het opstellen van deze criteria. Zoals al in paragraaf 10.2 vermeld, vormt dit onderzoek namelijk de basis van het gehele onderzoek naar de meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator, aangezien in het betreffende onderzoek al een groot aantal criteria wordt benoemd. De criteria zijn onderverdeeld in drie categorieën, namelijk Beleidsrelevantie, Operationaliseerbaarheid en Communiceerbaarheid. Deze categorisering wordt gehandhaafd, aangezien er op deze manier vanuit drie verschillende relevante perspectieven naar de criteria wordt gekeken. Door de criteria in drieën te verdelen wordt het aantal criteria ook wat beter te behappen.

De criteria binnen de categorie Beleidsrelevantie beschouwen de indicatoren vanuit het hoogste schaalniveau. Deze criteria hebben namelijk betrekking op het eerste stadium en de meest algemene vorm van de beeldvorming van de prestaties van een wegennetwerk. De categorie bevat criteria die iets zeggen over het perspectief van waaruit de prestaties worden bepaald, de manier waarop een verkeerskundige prestatie-indicator wordt gebruikt om beleid te ontwikkelen en uit te voeren en die iets zeggen over wat de effecten van het beleid zijn op het algemene verkeersbeeld.

De Operationaliseerbaarheid bevat de criteria die zich wat verder specificeren naar een lager schaalniveau. Deze categorie richt zich niet meer op het algemene verkeersbeeld, maar omvat criteria die de prestaties van het wegennetwerk verder differentiëren naar bepaalde maten van ruimte, tijd en motief. Daarnaast bevat de Operationaliseerbaarheid criteria over de uitvoerbaarheid van het bepalen van de verkeerskundige prestaties.

Het derde perspectief vanuit waar criteria voor de verkeerskundige prestatie-indicator zijn opgesteld is de Communiceerbaarheid. Deze categorie richt zich op hoe goed de prestaties van een wegennetwerk zijn te communiceren tussen diverse groepen, die met verkeerskundige prestaties te maken hebben. Met deze criteria wordt getest hoe goed een bepaalde mate van de prestaties kan worden overgebracht tussen verschillende actoren met verschillende vakinhoudelijke kennis.

In Hoogendoorn-Lanser et al. [17] is al een hele lijst van criteria verzameld. Deze lijst zal voor dit afstudeeronderzoek worden aangepast. Dit gebeurt op basis van de focus op de verkeerskundige kant van de prestaties. Daarnaast wordt de lijst aangepast op basis van de eenduidigheid. In plaats van te bepalen of een criteria goed, matig of slecht presteert moeten criteria namelijk wellicht verder worden uitgesplitst of specifieker worden gedefinieerd om te bepalen of aan een criteria wordt voldaan (score van 1) of niet (score van 0). Vervolgens wordt de lijst van criteria aangevuld door andere in de literatuur gevonden criteria.

Zo wordt in Kaparias en Bell [30] een met Hoogendoorn-Lanser et al. [17] vergelijkbaar onderzoek beschreven. Ook in dit onderzoek worden namelijk de eigenschappen van prestatie-indicatoren ter discussie gesteld. Weer een andere kijk op en classificatie van deze eigenschappen leidt tot een vergelijkbare opsomming van criteria. De bij deze eigenschappen horende criteria die in Hoogendoorn-Lanser et al. [17] niet worden genoemd worden daarom aan de lijst met criteria toegevoegd. Daarnaast wordt de lijst aangevuld dan wel aangepast met criteria, die volgen uit de in de vorige paragraaf genoemde papers over prestatie-indicatoren. In de meeste gevallen wordt er in de betreffende papers al aangegeven welke criteria een rol spelen. Een compleet overzicht van al de criteria met bijbehorende beschrijving is weergegeven in Bijlage G.



## 12. Persoonlijke interviews

In het vorige hoofdstuk is de basis gelegd om het belang van verschillende eigenschappen van verkeerskundige prestatie-indicatoren te kunnen wegen. Een criterialijst is ontwikkeld uit verschillende in een literatuuronderzoek gevonden onderzoeken. Om deze lijst aan te vullen en te toetsen op relevantie, begrijpbaarheid en compleetheid, wordt er een aantal interviews gehouden met verschillende personen die betrokken zijn bij het gebruik van verkeerskundige prestatie-indicatoren.

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt beschreven wie er geïnterviewd zijn en welke vragen er aan deze personen zijn gesteld. De tweede paragraaf zal vervolgens ingaan op de overkoepelende antwoorden en bevindingen die uit de interviews naar voren kwamen.

### 12.1 Interview betrokkenen verkeerskundige prestatie-indicator

Gedurende het literatuuronderzoek is een criterialijst ontwikkeld. Deze lijst vormt de basis voor de interviews. Het doel van de interviews is om de lijst aan te vullen en zo duidelijk mogelijk te maken om middels een enquête aan te kunnen bieden aan verschillende groepen binnen de beroepspraktijk, die te maken hebben met verkeerskundige prestatie-indicatoren. Er zijn individuele interviews gehouden met vijf medewerkers met verschillende functies binnen de afdeling Bereik en Verkeersmanagement van de gemeente Den Haag. Daarnaast zijn diverse collega's op de werkvloer benaderd om hun mening over de verkeerskundige prestatie-indicator te geven. Dit werd gedaan om vanuit verschillende perspectieven de behoeften beter in beeld te krijgen van de gemeentelijke beroepspraktijk en daarmee ook vanuit het oog van een overheidsorganisatie. Om ook de behoeften vanuit de wetenschappelijke kant te polsen is er aanvullend ook een persoonlijk interview afgenomen met assistent professor Dr. V.L. Knoop, die werkzaam is binnen de sectie Operations & Management of Transport Systems van de faculteit Civil Engineering & Geosciences aan de TU Delft. Gedurende de individuele interviews stonden de volgende vragen centraal:

1. *Welke verkeerskundige prestatie-indicator gebruikt u in praktijk (en wanneer)?*
2. *Wat is het doel van de prestatie-indicator/Wat zou de prestatie-indicator moeten weergeven?*
3. *Voldoet de verkeerskundige prestatie-indicator volgens u in wat de indicator zou moeten weergeven?*
4. *Mist u iets dat deze verkeerskundige prestatie-indicator niet laat zien?*
5. *Wat zijn volgens u belangrijke eigenschappen van een verkeerskundige prestatie-indicator?*
6. *Mist u nog eigenschappen/criteria in de criterialijst?*

De eerste drie vragen zijn bedoeld als inleiding, om de geïnterviewde persoon zelf vanuit zijn eigen vakgebied te laten denken over welke verkeerskundige prestatie-indicatoren er daadwerkelijk in de verschillende functies binnen de gemeente Den Haag gebruikt worden en wanneer. Ook welk doel deze indicatoren hebben en of ze daar ook aan voldoen moet naar voren komen. Daarna wordt er doorgevraagd op de uiteindelijke behoeften en wensen van de geïnterviewde persoon, om te onderzoeken wat zij nu echt belangrijk vinden in een verkeerskundige prestatie-indicator. Hieruit moet naar voren komen welke eigenschappen van een verkeerskundige prestatie-indicator wenselijk zijn en welke criteria daarbij horen. Zo wordt er toegewerkt naar de zesde vraag, waarmee de criterialijst eventueel kan worden aangevuld of aangepast. Gedurende de interviews wordt ook gelet op de vakinhoudelijke kennis over verkeerskundige prestatie-indicatoren van de geïnterviewde personen om de begrijpbaarheid van de gebruikte terminologie in de criterialijst te toetsen.

## 12.2 Overkoepelende antwoorden interviews

Tijdens de interviews kwam al snel een belangrijk punt naar voren. De medewerkers van de gemeente Den Haag zijn met verschillende aspecten in het proces van het maken van beleid, het onderzoek, het ontwerp, de uitvoering tot aan het beheer van wegennetwerken bezig. Hierdoor zijn ook de gewenste eigenschappen en de gebruikte indicatoren verschillend van elkaar. Zo bestaat er binnen de afdeling al een divers beeld van de verkeerskundige prestaties van het wegennetwerk. Dat de kijk op en de behoeften voor eigenschappen van een meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator al binnen één afdeling uiteen lopen, benadrukt nogmaals dat dit al helemaal een probleem wordt wanneer er nog meer (externe) groepen bij betrokken raken. Eenduidigheid is daarom zeer gewenst, ook voor het communiceren van de prestaties tussen de verschillende actoren vanaf het maken van beleid tot het beheer van wegennetwerken. Maar ook voor doeleinden als onderzoek en advies op het gebied van verkeer en vervoer is eenduidigheid belangrijk.

De behoeften van de geïnterviewde personen richtten zich vooral op criteria op het gebied van betrouwbaarheid, begrijpbaarheid, duidelijkheid en de communiceerbaarheid van de prestaties. Huidige indicatoren worden vaak te uiteenlopend, onvolledig en/of te complex ervaren. De waarde van een indicator mag over het algemeen wel complex zijn om te berekenen, zolang de uitkomst maar op een eenvoudige en eenduidige manier naar anderen kan worden overgebracht. Zoals de indicator op dit moment beleidsmatig binnen de gemeente Den Haag is gedefinieerd voldoet deze niet aan de operationele wensen aan de uitvoeringskant. Een mogelijke reden hiervoor is de geleidelijke tendens om de individuele reiziger steeds meer informatie te verstrekken voor een deur tot deur reis, onafhankelijk van de route- of voertuigkeuze. Daarmee vormt zich een kloof tussen de beleidskant en de uitvoeringskant. De beleidskant kijkt vanuit een netwerkperspectief en richt zich vooral op de optimalisatie van het totale netwerk. Aan de andere kant wordt er vanuit de uitvoeringskant informatie verstrekt aan de gebruikerskant, waarmee de focus dus niet alleen op het totale netwerk ligt maar ook op de optimalisatie van de individuele reiziger. Aan de ene kant staat dus het netwerk centraal en aan de andere kant staat de gebruiker centraal, waarbij deze laatste wel afhankelijk is van de door de totale stroom overgebleven beschikbare capaciteit. Dit leidt tot tegenstrijdige ideeën over de prestaties, het ontwerp en de inrichting van het wegennetwerk [21].

Er is dus vooral behoefte naar eenduidigheid in het analyseren en weergeven van verkeerskundige prestaties, waarbij de indicator voor alle partijen begrijpbaar, duidelijk, uitlegbaar en communiceerbaar is. De meest genoemde indicator die gedurende de interviews hiermee in verband werd gebracht was de reistijd met een toevoeging van een bepaalde mate van betrouwbaarheid. De reistijd tussen een herkomst en een bestemming geeft informatie over de vlotheid van reizen voor de gebruiker, ongeacht route of vervoermiddel. Gemiddelde reistijden van verkeersstromen over wegvakken geven weer informatie over de doorstroom van verkeer. Gemiddelde vertraging kan ook worden berekend wanneer de gemiddelde reistijd wordt vergeleken met een vrijedoorstroomsreistijd. Wanneer de kans op vertraging aan de reistijdinformatie wordt toegevoegd is ook de mate van betrouwbaarheid van de reistijd bekend. Communicatie van reistijden met een mate van betrouwbaarheid richting de reiziger biedt een beeld van de status van het netwerk. De keuze voor een bepaalde route en vervoersmiddel, met bijbehorende reistijd en kans op vertraging, is vervolgens aan de individuele gebruiker zelf. De kans op vertraging wordt bij het maken van deze keuze geaccepteerd. Door het geven van correcte en duidelijke informatie met een bepaalde mate van betrouwbaarheid creëer je begrip, een juist beeld van de prestaties en daarmee acceptatie bij de gebruiker. Uit de keuzes die de gebruikers nemen, volgen verkeersstromen over het netwerk. Het is dan de taak aan de netwerkbeheerder om een voldoende robuust netwerk met voldoende capaciteit te kunnen bieden met betrouwbare informatie om de verkeersstromen te verwerken. Aan de hand van de prestatie-indicator is te zien hoe goed het wegennetwerk op bepaalde delen presteert. De “Reistijd met een bepaalde mate van betrouwbaarheid” wordt hiervoor tijdens de persoonlijke interviews als begrijpbaar, duidelijk en communiceerbaar ervaren.

Duidelijk is in ieder geval dat de huidige verkeerskundige prestatie-indicator volgens de Haagse Nota Mobiliteit [1] niet aan al de genoemde behoeften van de geïnterviewde personen voldoet. Voor verschillende locaties binnen de stad is een reistijdnorm opgesteld, waarbinnen deze locaties vanaf de stadsrand van Den Haag in 95% van de gevallen te bereiken moet zijn. Echter is het niet eenvoudig om uit te rekenen wanneer deze norm binnen een bepaalde periode gehaald wordt en wanneer niet. De herkomsten en bestemmingen van individuele voertuigen zijn namelijk heel lastig tot niet te traceren. Ook mag de vertraging voor de overige 5% onbeperkt zijn. Nog een nadeel aan deze prestatie-indicator is dat er maar twee echte prestaties uit kunnen volgen. De prestatie is namelijk “goed” wanneer de norm gehaald wordt en “slecht” wanneer niet aan de norm voldaan kan worden. Over welke periode minimaal gemeten dient te worden, is ook niet aangegeven. Door al deze gebreken wordt de indicator niet als betrouwbaar, begrijpbaar, duidelijk en communiceerbaar ervaren. Daarom zal ook deze verkeerskundige indicator worden getoetst, om te onderzoeken of de indicator aangepast of zelfs vervangen dient te worden om de verkeerskundige prestaties van het Haagse wegennetwerk beter in beeld te krijgen.



## 13. Enquête

Met de input van het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews is uiteindelijk een enquête ontwikkeld. De eerste paragraaf van dit hoofdstuk gaat in op hoe deze enquête uiteindelijk is opgezet. Ook wordt in deze paragraaf beschreven naar welke partijen de enquête is verstuurd. De tweede paragraaf geeft een overzicht van de getoetste criteria. Samen met een inleidende tekst vormt de eerste vraag, tot welke van de zes partijen de deelnemer behoort, en de weging van alle 46 criteria de complete inhoud van de online enquête. In Bijlage I is de exacte weergave van deze online enquête door middel van screenshots weergegeven.

### 13.1 Opzet enquête

In de enquête wordt de deelnemers gevraagd om aan te geven hoe belangrijk ze een individueel criterium vinden als eigenschap voor een verkeerskundige prestatie-indicator. Deze methode, gebaseerd op stated preference [31], onderzoekt de voorkeur van gebruikers van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Deze methode wordt gehanteerd omdat de voorkeuren voor criteria moeilijk direct uit het gebruik van de indicatoren kunnen worden gehaald (revealed preference). Elk van de 46 criteria wordt gewogen aan de hand van het geven van een heel getal tussen de 1 en de 6 zoals weergegeven in onderstaande Tabel 13.1. Met de resulterende scores van de criteria kan uiteindelijk Formule 10.1 uit paragraaf 10.3 worden ingevuld.

Mate van Belang	Overbodig	Onbelangrijk	Enigszins Onbelangrijk	Enigszins Belangrijk	Belangrijk	Noodzakelijk
Bijbehorende Score	1	2	3	4	5	6

Tabel 13.1: Indeling naar mate van belang met bijbehorende score

Er zijn zes keuzemogelijkheden om de mate van belang aan te geven. In deze waarderingschaal is bewust gekozen voor een even aantal keuzemogelijkheden. Er is gekozen om de mate van belang op te delen in een belangrijke kant en een onbelangrijke kant. De scheidingslijn tussen belangrijk en onbelangrijk zit er dus precies tussenin. Op deze manier worden twijfelende deelnemers gedwongen om een keuze te maken tussen de belangrijke kant en de onbelangrijke kant van de waardering. Voor een veilige en neutrale middenweg kan dus niet worden gekozen. De scheidingslijn is in het midden gelegd om de waardering van criteria zo veel mogelijk te laten verschillen. Aan de zes scores is ook een korte betekenis gegeven om een beter beeld te krijgen bij het geven van een bepaalde score. Zo wordt elk criterium en tevens door elk van de deelnemers op dezelfde manier beoordeeld. Door de scheidingslijn in het midden te hebben konden de beschrijvingen aan beide kanten ook in gelijke verhouding worden weergegeven.

De keuze voor een bepaalde score begint niet bij 0, maar bij een waarde van 1 in de oplopende waardering. Het hebben van een bepaalde eigenschap voor een verkeerskundige prestatie-indicator zou namelijk altijd iets positiefs bij moeten dragen aan de totaalscore over de 46 criteria. Vandaar dat een criteria altijd een positieve waarde boven nul moet krijgen. Het aantal keuzemogelijkheden om de mate van belang aan te geven mag niet te groot, maar ook zeker niet te klein zijn. Als het aantal mogelijkheden te groot wordt, is er nog maar moeilijk onderscheid te maken welke waardering het criterium dient te krijgen. Het aantal keuzemogelijkheden mag ook niet te laag zijn, aangezien de deelnemers wel een aantal keuzemogelijkheden moet krijgen om hun mening door te kunnen laten wegen. Hoe meer keuzemogelijkheden, des te beter ook de verschillen in meningen tussen deelnemers(groepen) te onderscheiden zijn.

De criteria moeten gewogen worden door personen, die zelf vanuit hun vakgebied gebruik maken van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Zij zijn het tenslotte die met de indicatoren aan de slag gaan bij het beleid, onderzoek, ontwerp, uitvoering tot aan het beheer van wegennetwerken en de bijbehorende verkeerskundige prestaties. Daarom zijn voor dit afstudeeronderzoek een aantal organisaties benaderd. Deze organisaties zijn onderverdeeld in een zestal deelnemersgroepen met een verschillende benadering van verkeerskundige prestaties, op basis waarvan een weging van de criteria wordt gebaseerd. Zo zijn niet alleen de verschillen in belang tussen de onderlinge criteria te analyseren, maar ook de verschillen tussen deze deelnemers groepen. Onderstaande Tabel 13.2 geeft de groepen met bijbehorende benaderde organisaties en/of afdelingen weer. Binnen de organisaties en afdelingen is gevraagd aan medewerkers, die binnen hun vakgebied te maken hebben met de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken, de enquête met hun vakinhoudelijke kennis en benadering in te vullen.

<b>1. Gemeente Den Haag onderverdeeld in afdelingen</b>
- BVM (Bereikbaarheid en verkeersmanagement) - DSO/verkeer (Dienst Stedelijke Ontwikkeling) - IBDH (ingenieursbureau Den Haag) - Bestuur Den Haag
<b>2. Gemeenten</b>
- Gemeente Den Haag - Gemeente Amsterdam - Gemeente Rotterdam
<b>3. Provincies</b>
- Provincie Noord-Holland - Provincie Zuid-Holland - MRDH (MetropoolRegio Rotterdam – Den Haag)
<b>4. Landelijk</b>
- Rijkswaterstaat
<b>5. Ingenieurs/adviesbureaus</b>
- Goudappel Coffeng B.V. - Royal Haskoning DHV - DTV Consultants - Arcadis - Sweco
<b>6. Onderzoek</b>
- NDW (Nationale Databank Wegverkeersgegevens) - TNO (Nederlandse organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek) - CROW (Oorspronkelijk afkorting van: Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek) - TU Delft professoren (Masterrichting Transport & Planning)

**Tabel 13.2: Organisaties en afdelingen waar de enquête naartoe is gestuurd**

De deelnemersgroep Gemeente Den Haag is ook al vertegenwoordigd in de deelnemersgroep Gemeenten. Aangezien deze waarderingen niet dubbel meegerekend dienen te worden, zijn de scores van de deelnemersgroep Gemeente Den Haag niet meegenomen in de totaalscores van de gehele beroepspraktijk.

## 13.2 Getoetste criteria

Beleidsrelevantie	
1	Moet een waarde van deur tot deur zijn
2	Moet een waarde voor een enkele gebruiker zijn
3	Moet een waarde voor de totale stroom zijn
4	Samenstelling verkeer (voertuigtype) moet worden meegenomen
5	Moet prognostiseerbaar zijn (moeten voorspellingen mee gemaakt kunnen worden van effecten)
6	Moet te vergelijken zijn met eerder berekende indicatoren om scenario's mee te kunnen vergelijken
7	Moet de kosteneffectiviteit van beleid zichtbaar maken
8	Moet effecten weergeven van verkeersbeleid (nieuwe infra, aanpassing bestaande infra, etc.)
9	Moet effecten weergeven van ruimtelijk beleid (aanleg nieuwe bedrijventerreinen, woonwijken, etc.)
10	De omvang van congestie moet zichtbaar zijn in termen van tijd
11	De omvang van congestie moet zichtbaar zijn in termen van ruimte
Operationaliseerbaarheid	
12	Moet eenvoudig meetbaar zijn (beschikbaarheid, continue inwinning, tegen redelijke kosten, voldoende nauwkeurig en betrouwbaar)
13	Moet afhankelijk zijn van één gemeten grootheid
14	Differentiatie van wegvak tot hele netwerk moet mogelijk zijn
15	Differentiatie naar herkomstgebieden moet mogelijk zijn
16	Differentiatie naar bestemmingsgebieden moet mogelijk zijn
17	Differentiatie naar reismotieven moet mogelijk zijn
18	Differentiatie naar wegcategorie binnen netwerk moet mogelijk zijn
19	Differentiatie naar tijdvakken moet mogelijk zijn
20	Differentiatie naar modaliteit moet mogelijk zijn
21	Differentiatie naar personen- en goederenvervoer moet mogelijk zijn
22	Differentiatie naar bestuurders en passagiers moet mogelijk zijn
23	Moet eenvoudig vertaalbaar zijn naar uitvoering/uitvoeringsprojecten
24	Moet eenvoudig reproduceerbaar zijn (altijd zelfde rekenmethode, ondanks tijdstap, regio, etc.)
25	Moet "real-time"(onmiddellijk) te meten/gebruiken zijn
26	Moet een mate van beschikbare capaciteit bevatten
Communeerbaarheid	
27	Grafische weergave op kaart moet mogelijk zijn
28	Grafische weergave met grafieken, diagrammen en tabellen moet mogelijk zijn
29	Moet aansluiten bij het huidige beeld van bereikbaarheid (bij burger/beleidsmakers/etc.)
30	Tevredenheid/verwachting van de (weg)gebruiker moet kunnen worden meegenomen
31	Moet een mate van betrouwbaarheid bevatten van de te meten eigenschap
32	Uitdrukken in eenduidige eenheden moet mogelijk zijn
33	Uitdrukken in een index moet mogelijk zijn (om direct te kunnen vergelijken)
34	Uitdrukken in een absolute waarde moet mogelijk zijn (om een concreet getal te hebben)
35	Moet uit te drukken zijn in een continue waarde
36	Moet uit te drukken zijn in een schaalverdeling
37	Moet uit te drukken zijn in aantal voertuigen per tijdseenheid (intensiteit)
38	Moet uit te drukken zijn in aantal voertuigen per afstand (dichtheid)
39	Moet uit te drukken zijn in snelheid
40	Moet uit te drukken zijn in reistijd
41	Moet uit te drukken zijn in vertraging
42	Moet uit te drukken zijn in afgelegde afstand (per tijdseenheid)
43	Moet uit te drukken zijn in bezettingsgraad weg
44	Moet uit te drukken zijn in (gegeneraliseerde) kosten
45	Moet uit te drukken zijn in wachtrijlengte
46	Moet uit te drukken zijn in aantal stops

Tabel 13.3: In de enquête getoetste criteria



In Tabel 13.3 op de vorige pagina is een overzicht gegeven van de 46 in de enquête getoetste criteria. Deze lijst van criteria is het resultaat van de in het literatuuronderzoek en de tijdens de persoonlijke interviews gevonden criteria. De indeling naar de categorieën Beleidsrelevantie, Operationaliseerbaarheid en Communiceerbaarheid wordt, zoals in paragraaf 11.2 beschreven, vanuit Hoogendoorn-Lanser et al. [17] gehandhaafd. Op deze manier wordt er vanuit drie verschillende perspectieven naar de criteria gekeken. Tevens wordt het grote aantal van 46 criteria door de indeling in drie categorieën beter te bevatten voor de deelnemer aan de enquête. In Bijlage G zijn de criteria weergegeven met een bijbehorende korte uitleg.

Het voordeel van de manier van toetsen is dat eventuele nieuwe criteria later getoetst kunnen worden, zonder dat de andere criteria opnieuw getoetst hoeven te worden. Alle criteria hebben een aparte score gekregen en zijn dus onafhankelijk van elkaar wat betreft de mate van belang in een verkeerskundige prestatie-indicator. Het is echter wel van belang om bij een latere toetsing van nieuwe criteria dezelfde zes keuzemogelijkheden met bijbehorende beschrijving van de mate van belang te handhaven om vergelijkbare resultaten te verkrijgen.

De enquête bestaat uit een inleidende tekst in het onderwerp en wat van de deelnemer verwacht wordt. Vervolgens is de eerste vraag in welk werkveld van de in de vorige paragraaf genoemde organisaties en afdelingen binnen de gemeente Den Haag de deelnemer actief is. Vervolgens wordt de mate van belang van de 46 criteria bepaald. Tot slot wordt er na verzending een dankwoord gegeven en wat contactinformatie voor eventuele vragen. De online enquête is ontwikkeld met behulp van Google Forms [37]. In Bijlage I is de exacte weergave van de online enquête door middel van screenshots weergegeven.

## 14. Weging criteria

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de online enquête beschreven. In de eerste paragraaf zal voor de zes benaderde groepen per groep worden aangegeven hoeveel medewerkers er aan de online enquête hebben deelgenomen. Vervolgens wordt er per groep de top 5 meest belangrijke criteria gegeven. Deze vijftallen van criteria vormen bij elkaar een ranglijst van criteria, die door de beroepspraktijk als meest belangrijke eigenschappen worden ervaren voor een verkeerskundige prestatie-indicator. Deze lijst van meest belangrijke eigenschappen wordt gebruikt om de tweede toetsingsmethode, met meest belangrijke criteria beroepspraktijk, uit te voeren. In de tweede paragraaf worden de wegingsfactoren bepaald voor de 46 criteria voor zowel de deelnemersgroepen als voor de totale beroepspraktijk. Deze wegingsfactoren worden gebruikt om de eerste toetsingsmethode, met totaalscore wegingsfactoren, uit te voeren. In deze tweede paragraaf wordt ook de ranglijst van meest belangrijke criteria vergeleken met de ranglijst naar score van de wegingsfactoren.

### 14.1 Meest belangrijke criteria

Na enige tijd op antwoorden te hebben gewacht, waarbinnen ook een herinnering is gestuurd, is de hoeveelheid respons per benaderde organisatie en afdeling bekend. Van sommige van deze organisaties en afdelingen binnen de zes groepen zijn er te weinig reacties binnengekomen om de verschillende lagen binnen de groepen te kunnen vergelijken. Vandaar dat de behoeften naar verkeerskundige prestatie-indicatoren verder op groepsniveau worden geanalyseerd. Oorspronkelijk waren er 72 deelnemers. Van de deelnemers was er echter één die alles even belangrijk vond en dus voor alle criteria dezelfde score gaf. Dit was juist niet de bedoeling van het onderzoek, aangezien de verschillen in mate van belang tussen de criteria wordt onderzocht. Vandaar dat de resultaten van deze ene deelnemer als uitschieters en dus als ongeldig worden beschouwd en daarom in de verdere analyse van de resultaten niet worden meegenomen. De verdeling van de overgebleven 71 deelnemers over de groepen is weergegeven in onderstaande Tabel 14.1. Binnen de groep Gemeenten is ook het gehele aantal deelnemers van de groep Gemeente Den Haag opgenomen.

Groepen	Aantal deelnemers
Gemeente Den Haag	22
Gemeenten (met gemeente Den Haag)	27
Provincies	13
Landelijk	5
Ingenieurs/adviesbureaus	17
Onderzoek	9
Totaal	71

Tabel 14.1: De hoeveelheid respons op de enquête per deelnemersgroep

Per groep is vervolgens geanalyseerd welke criteria het hoogst scoren. Zo wordt in kaart gebracht welke eigenschappen van een verkeerskundige prestatie-indicator voor de deelnemersgroepen over de gehele beroepspraktijk heen het meest belangrijk worden gevonden. In Tabel 14.2 op de volgende pagina is per groep de top 5 hoogst scorende criteria weergegeven.

De top 5 criteria per deelnemersgroep is samengesteld op basis van de gemiddelde score per criterium binnen de groep. Wanneer criteria een zelfde score hadden, hebben deze criteria ook dezelfde positie binnen de top 5 gekregen. Vandaar dat binnen sommige deelnemersgroepen meer dan vijf criteria binnen de top 5 zijn opgenomen. Binnen de deelnemersgroep Onderzoek zijn zelfs zeven criteria binnen de top 5 opgenomen, aangezien er vier criteria op plaats 4 staan.

Criteria Top 5	Gemeente Den Haag	Gemeenten	Provincies	Landelijk	Ing/adv - bureaus	Onderzoek
1	12	12	40	3 en 9	6	24
2	40	27	19 en 41		10 en 32	32
3	5, 19, 20 en	40		29, 32 en 40		20
4	27	3, 5 en 19	3 en 20		28 en 31	5, 10, 27 en 28
5						

Tabel 14.2: Top 5 hoogst beoordeelde criteria per deelnemersgroep

Uit de top 5 van de verschillende groepen volgt in totaal een zestiental criteria. Deze zestien criteria zijn volgens de beroepspraktijk blijkbaar de meest belangrijke criteria voor een verkeerskundige prestatie-indicator. Om te bepalen welke van deze zestien criteria over de deelnemersgroepen heen het hoogst scoren, is van deze criteria een ranglijst naar eindscore van de criteria binnen de toppen 5 samengesteld. Hoe deze score exact tot stand is gekomen wordt verwezen naar de in paragraaf 10.3 beschreven tweede toetsingsmethode. De resulterende ranglijst is weergegeven in onderstaande Tabel 14.3. Deze lijst wordt gebruikt om de tweede toetsingsmethode, met de meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk, uit te voeren.

Ranglijst	Criterium	Korte beschrijving
1	40	Uit te drukken in reistijd
2	32	Uit te drukken in eenduidige eenheden
3	3	Waarde voor de totale stroom
4	20	Differentiatie naar modaliteit
5	19	Differentiatie naar tijdvakken
6	27	Grafische weergave op kaart
7	10	Omvang congestie zichtbaar in termen van tijd
8	28	Grafische weergave grafieken, diagrammen en tabellen
9	5	Prognostiseerbaar
10	24	Eenvoudig reproduceerbaar
11	12	Eenvoudig meetbaar
12	41	Uit te drukken in vertraging
13	9	Effecten van ruimtelijk beleid
14	6	Te vergelijken met eerder berekende indicatoren
15	29	Aansluiten huidige beeld bereikbaarheid
16	31	Mate van betrouwbaarheid

Tabel 14.3: Ranglijst meest belangrijke criteria voor de beroepspraktijk

Het uitdrukken van de verkeerskundige prestaties in een bepaalde mate van reistijd komt uit deze ranglijst van meest belangrijke criteria voor de beroepspraktijk als beste naar voren. Blijkbaar is het uitdrukken van de prestaties in een bepaalde mate van reistijd over alle deelnemersgroepen heen gezien het meest begrijpelijk en meest compleet in het gebruik. Toch wordt dit criterium niet genoemd binnen de deelnemersgroepen Ingenieurs/adviesbureaus en Onderzoek. Binnen deze groepen staat criterium 40 (uit te drukken in reistijd) respectievelijk slechts op plaats 14 en 29 van de 46 criteria. Uit Tabel 14.2 blijkt al dat er niet één criterium is dat in alle toppen 5 van de deelnemersgroepen voorkomt. Blijkbaar is er dus geen criterium dat universeel door alle deelnemersgroepen als meest belangrijk wordt ervaren in een verkeerskundige prestatie-indicator.

## 14.2 Wegingsfactoren criteria

In de vorige paragraaf is een ranglijst van een zestiental criteria gebaseerd op de bij de deelnemersgroepen horende top 5 criteria met bijbehorende score. In deze paragraaf wordt een ranglijst gecreëerd, waarbij niet alleen de top vijf belangrijkste criteria per deelnemersgroep in beschouwing worden genomen, maar juist alle 46 criteria. Hiervoor wordt per criteria een wegingsfactor voor zowel de individuele deelnemersgroepen als voor de totale beroepspraktijk berekend.

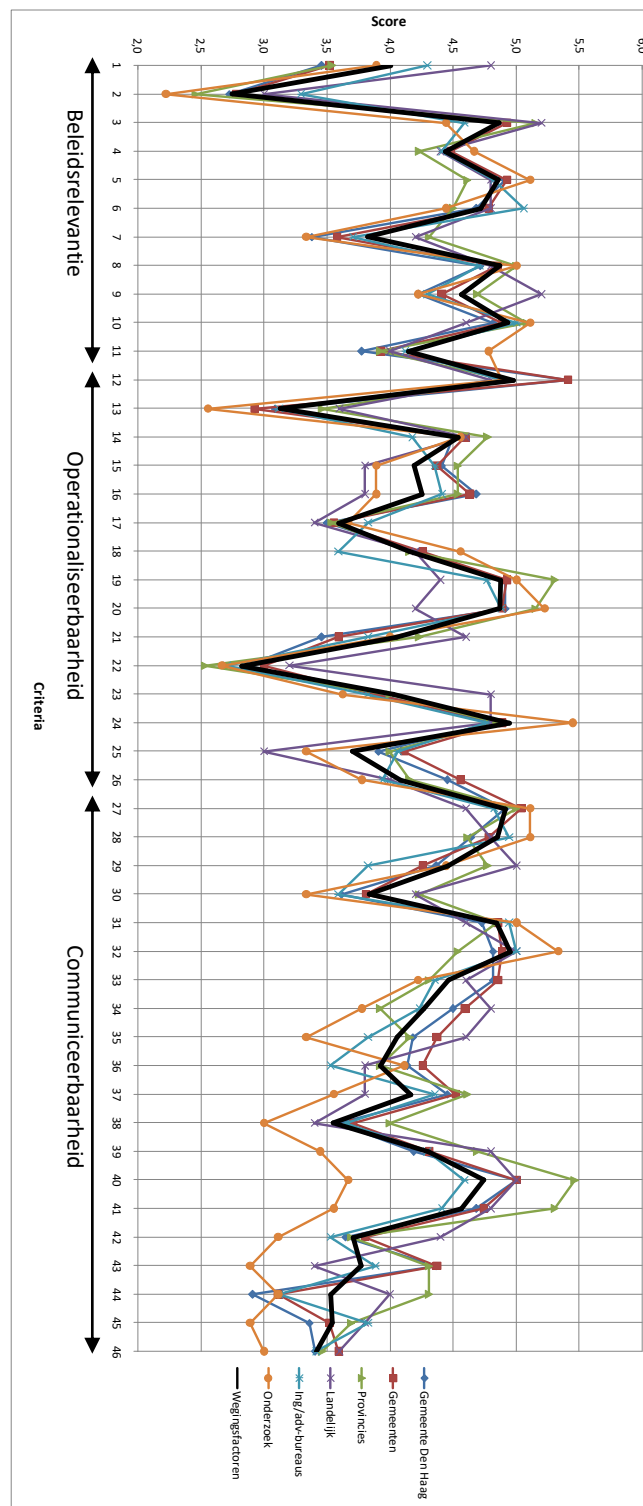
Op de volgende pagina in Figuur 14.1 zijn de resulterende wegingsfactoren per criteria weergegeven voor zowel de deelnemersgroepen als voor de totale beroepspraktijk. De punten die de scores aangeven zijn verbonden door lijnen. Deze stellen geen relatie voor tussen de verschillende criteria, maar dienen als visuele hulp. Als de lijn er namelijk tussenuit wordt gehaald is de figuur slechts een wirwar van punten. Met behulp van de lijn zijn er nog enigszins verbanden tussen de verschillende deelnemersgroepen waar te nemen. Bij elkaar horende criteria zijn ook zo dicht mogelijk bij elkaar geplaatst in de lijst, ook door de categorisering naar Beleidsrelevantie, Operationaliseerbaarheid en Communiceerbaarheid. De criteria die enigszins met elkaar te maken hebben staan dus wel bij elkaar. Wat opvalt in Figuur 14.1 is dat het merendeel van de pieken en dalen voor alle deelnemersgroepen overeenkomt. Dat wil zeggen dat als een criterium binnen een deelnemersgroep hoog scoort, dat dit criterium meestal ook door de andere deelnemersgroepen als belangrijker wordt ervaren. Er zijn relatief weinig criteria die door de ene deelnemersgroep als heel belangrijk worden ervaren, waar deze criteria door andere deelnemersgroepen als onbelangrijk worden gewaardeerd. Criteria waar dit wel gebeurt is bijvoorbeeld van criterium 33 tot en met 46. Deze criteria, die de eigenschap hebben om de prestaties in een bepaalde grootheid of eenheid uit te drukken, worden door de deelnemersgroep Onderzoek aanzienlijk als minder belangrijk gewaardeerd dan door de andere deelnemersgroepen. Blijkbaar is het voor onderzoeksdoeleinden een stuk minder belangrijk hoe de verkeerskundige prestaties worden uitgedrukt dan voor andere doeleinden.

Bij het vergelijken van de verschillende deelnemersgroepen is het ook van belang om na te gaan hoe hoog de criteria over het algemeen door de deelnemersgroepen worden gewaardeerd. Als een bepaalde deelnemersgroep alle criteria standaard hoger waardeert dan de ander wordt het vergelijken van de criteria complex. Onderstaande Tabel 14.4 geeft per deelnemersgroep de gemiddelde waardering over al de criteria. Ook de spreiding van de score over al de criteria is in deze tabel aangegeven met de standaard afwijking. Hieruit blijkt dat alleen de deelnemersgroep Onderzoek over het algemeen een lagere score toebedeelt aan een criterium en dat ook de spreiding tussen belangrijke en onbelangrijke criteria groter is. De manier van scores van de andere deelnemersgroepen komt sterk overeen.

Deelnemersgroep	Gemiddelde waardering criteria	Standaardafwijking waardering criteria
Gemeente Den Haag	4,2	0,66
Gemeenten	4,3	0,64
Provincies	4,3	0,65
Landelijk	4,3	0,60
Ing/adv-bureaus	4,2	0,59
Onderzoek	4,0	0,85

Tabel 14.4: Mate van score door verschillende deelnemersgroepen

In Bijlage I is per criterium aangegeven wat de wegingsfactor per deelnemersgroep is. Ook is de spreiding van de afwijking van de waarderingen met behulp van de standaardafwijking weergegeven. Buiten een aantal criteria tussen criteria 33 en 46 hebben alleen criteria 1 en 25 een waarde van de standaarddeviatie boven de 0,5. Deze twee criteria, die aangeven of de waarde deur tot deur moet zijn en of de waarde “real-time” te meten/gebruiken is, hebben respectievelijk een standaardafwijking van 0,54 en 0,50. Door de deelnemersgroepen Landelijk en Ing/adv-bureaus wordt criteria 1 (deur tot deur waarde) als belangrijker ervaren dan de andere anderen deelnemersgroepen. Door de deelnemersgroepen Landelijk en Onderzoek wordt criteria 25 (“real-time” waarde) aanzienlijk lager gewaardeerd dan de andere deelnemersgroepen.



**Figuur 14.1:** Score per criteria voor wegingsfactoren en per deelnemersgroep

Net als in de vorige paragraaf wordt er ook volgens de eerste toetsingsmethode voor de wegingsfactoren een ranglijst van de hoogst gewaardeerde criteria gemaakt voor de totale beroepspraktijk. Ter consistentie wordt voor deze ranglijst van wegingsfactoren in onderstaande Tabel 14.5 ook alleen de top 16 weergegeven. Deze ranglijst wordt gebruikt om toe te passen in de eerste toetsingsmethode, met totaalscore door wegingsfactoren.

Ranglijst	Criterium	Wegingsfactor	Korte beschrijving
1	12	5,0	Eenvoudig meetbaar
2	32	5,0	Uit te drukken in eenduidige eenheden
3	24	4,9	Eenvoudig reproduceerbaar
4	10	4,9	Omvang congestie zichtbaar in termen van tijd
5	27	4,9	Grafische weergave op kaart
6	19	4,9	Differentiatie naar tijdvakken
7	8	4,8	Effecten van verkeersbeleid
8	20	4,9	Differentiatie naar modaliteit
9	3	4,9	Waarde voor de totale stroom
10	5	4,9	Prognostiseerbaar
11	28	4,8	Grafische weergave grafieken, diagrammen en tabellen
12	31	4,8	Mate van betrouwbaarheid
13	40	4,7	Uit te drukken in reistijd
14	6	4,7	Te vergelijken met eerder berekende indicatoren
15	9	4,6	Effecten ruimtelijk beleid
16	41	4,6	Uit te drukken in vertraging

**Tabel 14.5: Top 16 ranglijst van criteria met hoogste wegingsfactoren voor totale beroepspraktijk**

Deze top 16 is anders dan de in Tabel 14.3 weergegeven ranglijst van de vorige paragraaf. Dit komt omdat niet alleen de toppen 5 van de deelnemersgroepen zijn meegenomen, maar alle criteria. In bovenstaande ranglijst gaat het dus om een gemiddelde score over de deelnemersgroepen (deelnemersgroep Gemeente Den Haag weer niet apart meegenomen). Door deze aanpak kunnen criteria, die bij de deelnemersgroepen vaak net buiten de top 5 vielen maar wel hoog scores, toch hoog in deze ranglijst terecht komen.

Als bovenstaande ranglijst met de wegingsfactoren wordt vergeleken met de ranglijst van de eindscore van de toppen 5 criteria staat er slechts één criterium in beide ranglijsten die niet in de andere lijst voorkomt. Het enige criterium dat uit de ranglijst van de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria in bovenstaande ranglijst van wegingsfactoren mist is criterium 29 (aansluiten huidige beeld bereikbaarheid). Dit criteria zou pas op de 19<sup>de</sup> plek komen in de ranglijst van wegingsfactoren. In plaats van dit criterium staat in de bovenstaande ranglijst van wegingsfactoren het criterium 8 (effecten weergeven van verkeersbeleid).

Een ander opvallend resultaat is dat criterium 40 (uit te drukken in reistijd) in bovenstaande ranglijst slechts op de 13<sup>de</sup> plaats staat, waar dit criterium in de ranglijst van door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria bovenaan stond. Zoals in Tabel 14.2 in de vorige paragraaf al is weergegeven wordt criterium 40 niet genoemd binnen de toppen 5 van de deelnemersgroepen Ingenieurs/adviesbureaus en Onderzoek. Ook in Figuur 14.1 blijkt dat vooral voor deze deelnemersgroepen het minder belangrijk is in welke grootte of eenheid de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken worden uitgedrukt. Blijkbaar scoren de criteria die eisen stellen aan het gebruikersgemak hierdoor dus hoger in de totaalscore van de toetsingsmethode met wegingsfactoren. De criteria die boven criterium 40 (uit te drukken in reistijd) zijn geëindigd in de ranglijst op basis van wegingsfactoren, zijn de criteria die minder vaak binnen de toppen 5 van de individuele deelnemersgroepen voorkomen en wellicht dus vaker net buiten deze toppen 5 vallen.

Uit beide ranglijsten komt naar voren dat een verkeerkundige prestatie-indicator vooral handig moet zijn in het gebruik en de communicatie en ook dat de indicator zo eenvoudig en eenduidig mogelijk moet zijn. De enige grootheid die binnen de ranglijsten wordt genoemd om de prestaties in uit te drukken is een mate van (reis)tijd. Namelijk criteria 10 (congestie zichtbaar in termen van tijd), 19 (differentiatie naar tijdvakken), 40 (uit te drukken in reistijd) en 41 (uit te drukken in vertraging) dienen allemaal een bepaalde mate van de reistijd te hebben.



## 15. Toetsen verkeerskundige prestatie-indicatoren

Uit de resultaten van de enquête zijn uiteindelijk de wegingsfactoren bepaald voor het toetsen van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Met behulp van de in de eerste paragraaf genoemde Formule 10.1 (besproken in paragraaf 10.3) kunnen alle denkbare indicatoren worden getoetst in hoe geschikt de betreffende indicator de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weergeeft. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten door het toetsen van de tijdens het literatuuronderzoek en persoonlijke interviews gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren met de twee toetsingsmethoden. De getoetste indicatoren zijn in Bijlage F op basis van de literatuur gecategoriseerd en in Bijlage H zijn de indicatoren gecategoriseerd naar de indeling: Snelheid, Reistijd en vertraging, Volume, Level Of Service, Vraag/capaciteit gerelateerd en Overig. De eerste paragraaf van dit hoofdstuk gaat in op welke indicatoren per deelnemersgroep volgens de ontwikkelde methode het hoogst scoren. Ook de door de wegingsfactoren hoogst scorende indicator over het totaal van de beroepspraktijk worden in deze paragraaf genoemd. Hierin worden de resultaten van de eerste toetsingsmethode dus beschreven. In de tweede paragraaf worden de resultaten van de tweede toetsingsmethode beschreven. Deze paragraaf gaat in op de hoogst scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren, wanneer de indicatoren moeten voldoen aan de ranglijst van de door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Tenslotte gaat de derde paragraaf in op welke bekende indicator het meest geschikt is om de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken weer te geven. Ook wordt in deze paragraaf ingegaan op of deze indicator nog verbeterd kan worden en zo ja op welke manier.

### 15.1 Meest geschikte indicatoren op basis van totaalscore

Met de gemiddelde waarderingen per criterium per deelnemersgroep en met de wegingsfactoren voor de Totale beroepspraktijk zijn de 86 gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren getoetst met de eerste toetsingsmethode. Elke in Bijlage F (en H) genoemde verkeerskundige prestatie-indicator krijgt een totaalscore  $U$  met behulp van onderstaande Formule 15.1 volgens het al dan niet voldoen aan de 46 criteria met de bijbehorende wegingsfactoren.

$$U = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad \text{Formule 15.1 (= Formule 10.1)}$$

Uit de totaalscores blijkt welke indicatoren binnen de individuele deelnemersgroepen het meest geschikt zijn om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te geven. Dit is ook gedaan voor het totaal van de deelnemersgroepen. Hiermee is berekend welke bekende indicator het meest geschikt is voor de totale beroepspraktijk. Hieronder zijn opeenvolgend in Tabellen 15.1 tot en met 15.6 de top 5 verkeerskundige prestatie-indicatoren gegeven voor de individuele deelnemersgroepen met bijbehorende totaalscore en daarna in Tabel 15.8 voor de totale beroepspraktijk. De maximale score die per deelnemersgroep en voor de totale beroepspraktijk gescoord kan worden is opgenomen in Tabel 15.7.

Gemeente Den Haag		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	99
2	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	98
3	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	98
4	LOS gebaseerd op V/C-ratio	98
5	Voertuigverliesuren	98

Tabel 15.1: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren deelnemersgroep Gemeente Den Haag

Gemeenten		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	101
2	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	100
3	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	100
4	Voertuigverliesuren	99
5	LOS gebaseerd op V/C-ratio	99

Tabel 15.2: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren deelnemersgroep Gemeenten

Provincies		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	100
2	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	100
3	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	99
3	Voertuigverliesuren	99
5	LOS gebaseerd op V/C-ratio	98

Tabel 15.3: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren deelnemersgroep Provincies

Landelijk		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	100
2	Voertuigverliesuren	100
3	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	100
4	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	99
5	LOS gebaseerd op V/C-ratio	98

Tabel 15.4: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren deelnemersgroep Landelijk

Ingenieurs/adviesbureaus		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	97
2	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	97
3	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	96
4	Voertuigverliesuren	96
5	LOS gebaseerd op V/C-ratio	94

Tabel 15.5: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren deelnemersgroep Ingenieurs/adviesbureaus

Onderzoek		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	97
2	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	97
3	LOS gebaseerd op V/C-ratio	96
4	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	96
5	Voertuigverliesuren	95

Tabel 15.6: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren deelnemersgroep Onderzoek

Wanneer er naar de top 5 van de verschillende deelnemersgroepen wordt gekeken valt er op dat deze gevormd wordt uit steeds dezelfde indicatoren. Waar de LOS-indicatoren vooral goed door scoren is het feit dat bij de berekening ervan deze uit te drukken is in zowel de waarde zelf (bijvoorbeeld in intensiteit, reistijd, V/C-ratio) en een eenvoudige classificerings-score (bijvoorbeeld A t/m F) om te communiceren. Zo is er een waarde voor zowel de deskundige als voor de leek. Voor een eenduidige Level Of Service is het wel van belang dat steeds beide waarden door worden gecommuniceerd en dat de definitie van de kaders van de Levels Of Service consistent zijn.

Om een idee te krijgen hoe de scores van de genoemde indicatoren zich verhouden tot de totale reikwijdte van de scores van de getoetste verkeerskundige prestatie-indicatoren is onderstaande Tabel 15.7 toegevoegd. Hierin is per deelnemersgroep aangegeven welke score een indicator maximaal zou kunnen scoren wanneer de indicator aan alle criteria zou voldoen en dus alle wegingsfactoren zouden worden opgeteld. Aangezien de wegingsfactoren per deelnemersgroep variëren is ook de maximaal te behalen totaalscore per deelnemersgroep verschillend. Ook is het gemiddelde, de standaardafwijking, het maximum en het minimum van de gescoorde totaalscore  $U$  per deelnemersgroep en voor het totaal over alle getoetste indicatoren in Tabel 15.7 weergegeven.

Deelnemersgroep	Maximaal te scoren	Gemiddelde score	Standaardafwijking Score	Maximaal gescoord	Minimum gescoord
Gemeente Den Haag	193	84	8,0	99	66
Gemeenten	197	85	8,1	101	67
Provincies	200	85	8,0	100	67
Landelijk	198	85	8,1	100	66
Ing/adv-bureaus	192	82	7,9	97	64
Onderzoek	184	82	7,6	97	66
Totaal	194	84	7,9	99	66

Tabel 15.7: Reikwijdte van de totaalscores van de getoetste verkeerskundige prestatie-indicatoren per deelnemersgroep

Ook voor de totale beroepspraktijk zijn met behulp van de wegingsfactoren de verkeerskundige prestatie-indicatoren gewogen. Hieronder is daarom ook voor de totale beroepspraktijk de top 5 hoogst scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren in Tabel 15.8 weergegeven.

Totale beroepspraktijk		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	99
2	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	99
3	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	98
4	Voertuigverliesuren	98
5	LOS gebaseerd op V/C-ratio	97

Tabel 15.8: Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren Totale beroepspraktijk

De scores liggen wederom redelijk dicht bij elkaar. Toch blijkt dat de Level Of Service aan veel belangrijke criteria voldoet, doordat deze zowel uit te drukken is in een waarde van de te meten grootte als in een classificerings-score. Dit maakt de indicator handig in de communicatie tussen verschillende partijen. Verder komt reistijd weer sterk naar voren als belangrijke grootte om de prestaties in uit te drukken. Blijkbaar is de reistijd een grootte waarbij de beroepspraktijk het beste een indruk kan krijgen hoe goed een wegennetwerk presteert. Alleen de hoogst scorende indicator en de nummer 5 zijn niet uit te drukken in een mate van reistijd. De "LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)" scoort zo goed aangezien er in de beroepspraktijk al langer gewerkt wordt met intensiteiten. Naast het voordeel dat deze is uit te drukken in zowel een waarde als in een classificerings-score, is deze indicator eenvoudig en eenduidig genoeg voor de verschillende partijen in de beroepspraktijk omdat zij bekend zijn om ermee te werken.

## 15.2 Meest geschikte indicatoren op basis van meest belangrijke criteria

Deze paragraaf beschrijft welke verkeerskundige prestatie-indicator als meest geschikt naar voren komt wanneer de indicator moet voldoen aan de in paragraaf 14.1 genoemde ranglijst van meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk met de tweede toetsingsmethode. Deze ranglijst van een zestiental criteria is hieronder in Tabel 15.9 voor de duidelijkheid nogmaals weergegeven.

Ranglijst	Criterium	Korte beschrijving
1	40	Uit te drukken in reistijd
2	32	Uit te drukken in eenduidige eenheden
3	3	Waarde voor de totale stroom
4	20	Differentiatie naar modaliteit
5	19	Differentiatie naar tijdvakken
6	27	Grafische weergave op kaart
7	10	Omvang congestie zichtbaar in termen van tijd
8	28	Grafische weergave grafieken, diagrammen en tabellen
9	5	Prognotiseerbaar
10	24	Eenvoudig reproduceerbaar
11	12	Eenvoudig meetbaar
12	41	Uit te drukken in vertraging
13	9	Effecten van ruimtelijk beleid
14	6	Te vergelijken met eerder berekende indicatoren
15	29	Aansluiten huidige beeld bereikbaarheid
16	31	Mate van betrouwbaarheid

Tabel 15.9 (= Tabel 14.3): Ranglijst meest belangrijke criteria voor de beroepspraktijk

Deze ranglijst van meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk is van boven naar beneden afgewerkt als filter op de criteria. Wanneer een indicator niet aan het betreffende criterium voldoet, valt deze af. Zo zijn alle zestien criteria afgewerkt. Vooral bij het eerste criterium (40: uit te drukken in reistijd) vallen er met deze tweede toetsingsmethode veel indicatoren af. Namelijk alle indicatoren die niet uit te drukken zijn in een reistijd. Verder valt op dat wanneer de methode bij criterium 20 (modaliteiten) is aangekomen, geen van de overgebleven indicatoren hieraan voldoet. Wanneer dit criterium dan wordt overgeslagen en door wordt gegaan met de benadering gebeurt hetzelfde bij criteria 41 (uit te drukken in vertraging), 6 (vergelijken met eerder berekende indicatoren) en 29 (aansluiten bij huidige beeld). Steeds wanneer geen van de indicatoren aan het criterium voldeden werd het criterium overgeslagen. Door het laatste toegepaste filter van het zestiende criterium vielen de in onderstaande Tabel 15.10 genoemde drie criteria af. Hierbij is ook de totaalscore door de wegingsfactoren vermeld.

Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
LOS gebaseerd op gem reistijd per km	99
Travel Rate: reistijd per km	95
Section Travel Time: reistijd*volumerijstrooklengte	87

Tabel 15.10: In de laatste stap afgevallene indicatoren met bijbehorende totaalscore

Het valt op dat van deze verkeerskundige prestatie-indicatoren de "LOS gebaseerd op gem reistijd per km" ook hoog scoort in de top 5 best scorende indicatoren volgens de weegfactoren, die is weergegeven in Tabel 15.8. Deze indicator staat in die top 5 zelfs op plaats 2.

Na ook criterium 31 (mate van betrouwbaarheid) als filter te hebben toegepast blijven de in onderstaande Tabel 15.11 genoemde criteria over. Ook bij deze criteria is de totaalscore door de wegingsfactoren erbij vermeld.

Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie	96
Coefficient of Variation: standaard deviatie van de reistijd per km gedeeld door gem reistijd per km	91
On Time Probability: kans dat een reiziger een langere reistijd van x min verschillend van de mediaan van de reistijd heeft	90
Not Long Probability: kans dat reiziger een niet te lange reistijd heeft, waarbij dit gedefinieerd is als niet meer dan x min langer dan de mediaan van de reistijd	90
Unreliability Index: kans om een reistijd langer dan x min te ervaren (per km)	90

Tabel 15.11: Overgebleven verkeerskundige prestatie-indicatoren na filteren ranglijst toppen 5 criteria

Dit zijn ook duidelijk de indicatoren die de prestaties uitdrukken in een reistijd, inclusief een mate van betrouwbaarheid. Echter door de complexiteit van deze indicatoren scoren deze blijkbaar minder goed in op de andere criteria. Geen van deze indicatoren komt namelijk voor in de top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren. De “Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie” bevat nog een ruimtelijke component (per km), waardoor deze indicator iets hoger scoort dan de andere vier overgebleven indicatoren. De complexiteit van deze indicator valt ook mee, waardoor deze hoger wordt gewaardeerd.

In Tabel 15.10 net voor de filtering door het laatste criterium blijft er echter één verkeerskundige prestatie-indicator over die een hogere totaalscore heeft dan de in Tabel 15.11 overgebleven indicatoren. Deze “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” is afgevallen op basis van het laatste criterium: Moet een mate van betrouwbaarheid bevatten van de te meten eigenschap. Deze indicator scoort hoger doordat deze het ruimtelijk aspect bevat en omdat deze is uit te drukken in zowel een waarde als een classificerings-score. Het hebben van een bepaalde mate van betrouwbaarheid is wenselijk, maar weegt blijkbaar bij de bekende verkeerskundige prestatie-indicatoren niet op tegen de andere criteria in de uiteindelijke totaalscore.

### 15.3 Meest geschikte bekende indicator en mogelijke verbeteringen

Het onderzoek naar de meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator is uitgevoerd op basis van de toetsingsmethodes door totaalscores van wegingsfactoren en op basis van het zestiental door de beroepspraktijk hoogst gewaardeerde criteria. Er komt één bekende indicator naar voren die in beide methodes hoog scoort. Dit is de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km”. Deze indicator komt samen met slechts enkele andere uit de test, wanneer voldaan moet worden aan vijftien van de zestien door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Daarnaast heeft de indicator met een totaalscore van 99 volgens de ontwikkelde toetsingsmethode de twee na hoogste totaalscore met slechts 0,12 punt verschil met de hoogst scorende indicator. Daarom is deze indicator de meest geschikte bekende maatstaf om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te geven.

Wellicht dat de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” als verkeerskundige prestatie-indicator wel nog verbeterd kan worden. Immers voldoet de indicator nog niet aan alle 46 criteria. De indicator kan daarom wellicht nog worden verbeterd door deze zoveel mogelijk te laten voldoen aan de door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. In de vorige paragraaf is dit zestiental meest belangrijk bevonden criteria al beschreven. Ook is in deze paragraaf uitgelegd dat de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” binnen dit zestiental criteria nog niet voldoet aan criteria 20 (modaliteiten), 41 (uit te drukken in vertraging), 6 (vergelijken met eerdere indicatoren), 29 (aansluiten huidige beeld bereikbaarheid) en 31 (mate van betrouwbaarheid).

De reistijd per kilometer zou wel te vergelijken zijn met de reistijd per kilometer van andere modaliteiten zoals de fiets of binnen het openbaar vervoer. Echter vanwege de verschillen in netwerken is de totaal afgelegde afstand tussen herkomst en bestemming niet altijd gelijk. De definitie van consistente Levels Of Service over alle modaliteiten heen is daardoor erg complex. Het geeft wel een indicatie van de reistijdverschillen tussen verschillende modaliteiten maar het exacte verschil is niet direct met de indicator te verkrijgen.

De gemiddelde reistijd per km drukt ook nog niet direct de vertraging uit. Hiervoor zou de nadelige reistijdafwijking van de gemiddelde reistijd per kilometer bekeken moeten worden. Een mogelijkheid hiervoor is om de standaardafwijking te gebruiken van de reistijdafwijkingen die langer duren dan de gemiddelde reistijd per kilometer. Hierbij gaat de standaard deviatie dus alleen over de afwijking van langere reistijd dan het gemiddelde. Deze standaard deviatie moet wel naast de waarde van de gemiddelde reistijd per kilometer vermeld worden voor de deskundigen, maar dient uit oogpunt van de complexiteit niet deel uit te maken van de classificerings-score. Door het toevoegen van de standaardafwijking maakt de tot nu toe best scorende prestatie-indicator, op basis van de door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria (Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaarddeviatie), daarmee ook gelijk deel uit van de indicator. De indicator blijft echter niet direct uit te drukken in hoeveelheid vertraging, maar met de toegevoegde standaarddeviatie van de langere reistijdafwijking geeft de indicator indirect wel een indicatie van de bepaalde mate van vertraging.

De “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” is ook lastig te vergelijken met de eerdere berekende indicatoren. Aangezien er zoveel diversiteit in de eerder berekende indicatoren zit, is het haast onmogelijk om met allemaal te kunnen vergelijken. Volgens Hoogendoorn-Lanser et al. [17] zijn eerder in Nederland gebruikte indicatoren: uit Nationaal Verkeer- en Vervoerplan (2000): trajectnelheden. Uit de NoMo (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2004): reistijd, reistijdbetrouwbaarheid en voertuigverliesuren. Uit de Mobiliteitsaanpak (2012-2020): zelfde indicatoren als uit de NoMo maar dan met het uitgangspunt dat: *“Reizigers zich vlot en veilig kunnen verplaatsingen van deur tot deur.”* Reizigers moeten weten waar ze aan toe zijn en welke alternatieven ze hebben. Om dit voor elkaar te krijgen zijn ook streefsnelheden toegevoegd. Ook de gegeneraliseerde kosten zijn erbij gekomen om de kosteneffectiviteit van beleid te kunnen verantwoorden. Met de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” is het door de gedefinieerde Levels of Service toch mogelijk om de prestaties enigszins te vergelijken met eerder berekende Levels Of Service. Doordat de reistijd per km ook een waarde voor de snelheid weergeeft is deze ook met eerder berekende snelheidswaarden te vergelijken. Met de mate van vertraging door de standaardafwijking van de langere reistijdafwijking van het gemiddelde is de indicator ook enigszins te vergelijken met eerder berekende indicatoren die een mate van vertraging weergeven. De “LOS gebaseerd op gem reistijd per km met standaardafwijking van de langere reistijdafwijking” is niet te vergelijken met specifiekere indicatoren als de totale vertraging in voertuigverliesuren en de gegeneraliseerde kosten. Dit is alleen mogelijk wanneer respectievelijk ook de intensiteit en het reismotief bekend zijn. Toch kan de indicator met toevoeging van de standaarddeviatie een indruk geven van de prestaties ten opzichte van eerder berekende indicatoren.

Het aansluiten bij het huidige beeld van de bereikbaarheid doet de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” pas, als de gedefinieerde waarden van de Levels Of Service universeel overeenkomen over de verschillende gebruikersgroepen van de gehele beroepspraktijk. Het huidige beeld van de partijen en het schaalniveau waarop de verschillende partijen acteren is echter dusdanig divers, dat een universele afspraak voor de gedefinieerde waarden complex wordt. Echter wanneer hier genoeg draagvlak voor is, zijn deze kaders zeker op te stellen. Op dit moment zullen de definities van de Levels Of Service nog niet direct aansluiten bij het beeld van de totale beroepspraktijk.

Waar de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” ook nog niet aan voldeed, is het hebben van een mate van betrouwbaarheid. Volgens de persoonlijke interviews moest een verkeerskundige prestatie-indicator betrouwbaar, eenduidig, begrijpbaar, duidelijk en communiceerbaar zijn. Daarmee werd de indicator reistijd met een bepaalde mate van betrouwbaarheid in verband gebracht. De “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” sluit ook goed aan bij deze bevindingen uit de persoonlijke interviews. Alleen zou er dus een mate van betrouwbaarheid aan toegevoegd moeten worden. Deze dient echter niet te complex te zijn, zoals te zien is in de totaalscores van de in Tabel 15.11 weergegeven overblijvende indicatoren, wanneer de tweede toetsingsmethode wordt toegepast. Vandaar dat ook voor dit criterium de standaardafwijking van de langere reistijdafwijking een waardevolle toevoeging is voor de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km”.

Met het toevoegen van de standaardafwijking van de langere reistijdafwijking voldoet de indicator wel aan criteria 6 (vergelijken met eerdere indicatoren) en 31 (mate van betrouwbaarheid). De verkeerskundige prestatie-indicator zou daarmee op een totaalscore van 108 komen, wanneer deze ook wordt getoetst met de wegingsfactoren. Ook heeft de indicator het potentieel om bij verdere uitbereiding en eenduidige afspraken over de gehele beroepspraktijk nog te voldoen aan andere criteria waar de indicator nu nog niet aan voldoet. Zo zouden wellicht de intensiteit er ook nog in verwerkt kunnen worden. Daarmee zouden ook de totale vertragingen kunnen worden berekend en daarmee ook de voertuigverliesuren. Uiteindelijk zou er zelfs een grove kosteneffectiviteit van de totale verloren tijd berekend kunnen worden. Ook zouden verschillende modaliteiten hiermee eenvoudiger te vergelijken zijn. Echter moet wel worden uitgekeken dat de indicator niet te complex wordt door het toevoegen van intensiteiten.





## 16. Conclusie deelvragen hoofdonderzoeksvraag 2

Het tweede gedeelte van het onderzoek is hiermee ook afgerond. De behoeften van verschillende partijen zijn onderzocht om tot een afweging te komen voor de meest geschikte maatstaf, om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk op een eenduidige en communiceerbare manier weer te geven. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de in paragraaf 1.4 geformuleerde deelvragen van de tweede hoofdonderzoeksvraag van dit afstudeeronderzoek. De tweede hoofdonderzoeksvraag zal samen met de eerste hoofdonderzoeksvraag in het volgende hoofdstuk worden beantwoord. In de tweede paragraaf van dit hoofdstuk worden vervolgens een aantal bevindingen ter discussie gesteld, die tijdens het tweede deel van het onderzoek naar boven kwamen.

### 16.1 Antwoorden deelvragen hoofdonderzoeksvraag 2

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de opeenvolgende deelonderzoeksvragen van de tweede hoofdonderzoeksvraag.

#### *2.1 Welke prestatie-indicatoren worden gebruikt om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk en onderdelen hiervan weer te geven?*

Door middel van een literatuuronderzoek zijn een groot aantal prestatie-indicatoren gevonden. De ene zegt iets over de mate van Bereikbaarheid, de ander over Mobiliteit en weer andere iets over de prestaties met betrekking tot milieuemissies, ruimtegebruik, veiligheid, leefbaarheid, comfort of over de verkeerskundige prestaties. Voor dit onderzoek waren echter alleen de indicatoren die de verkeerskundige prestaties weergeven relevant. Deze relevante indicatoren zijn verwerkt in een lijst met verkeerskundige prestatie-indicatoren, die later in het onderzoek is getoetst om te onderzoeken welke indicator het meest geschikt is. De indicatoren zijn ingedeeld volgens de indeling naar snelheid, reistijd en vertraging, volume, Level Of Service, vraag/capaciteit gerelateerd, kosten gerelateerd en overig.

Naast het literatuuronderzoek zijn er ook persoonlijke interviews gehouden met diverse personen met een verschillende functie binnen het proces van het maken van beleid, onderzoek, ontwerp, uitvoering tot aan het beheer van wegennetwerken. Door middel van een aantal vragen werd het onderwerp verkeerskundige prestatie-indicatoren besproken. Zo werd gevraagd welke verkeerskundige prestatie-indicatoren er gebruikt worden in praktijk. Daarmee werd de lijst van verkeerskundige prestatie-indicatoren aangevuld. De resulterende lijst van 86 gevonden indicatoren, die weergegeven is in Bijlage H, geeft het overzicht van de indicatoren die in praktijk worden gebruikt om de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken en onderdelen hiervan weer te geven.

## *2.2 Wat zijn de voor- en nadelen van deze verschillende op een stedelijk wegennetwerk toe te passen prestatie-indicatoren?*

Elke gevonden verkeerskundige prestatie-indicator voldoet aan een aantal door de beroepspraktijk gewenste voordelige eigenschappen. Het ontbreken van een door de beroepspraktijk gewenste voordelige eigenschap wordt als nadelig bestempeld. Om te toetsen welke voor- en nadelen de gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren kunnen hebben, is een lijst met criteria ontwikkeld. Deze lijst met criteria geeft een overzicht van de gewenste voordelige eigenschappen van de indicatoren. Als een indicator aan een criteria voldoet wordt dit gezien als een voordeel en wanneer de indicator niet aan een bepaald criteria voldoet geldt dit als een nadeel. Er bestaat echter geen indicator die aan alle criteria kan voldoen.

De lijst van criteria is hoofdzakelijk ontwikkeld aan de hand van de in het literatuuronderzoek gevonden criteria. Daarna is de gedurende het literatuuronderzoek ontwikkelde lijst door middel van de persoonlijk interviews gecontroleerd, aangepast en aangevuld. Om dit te bereiken zijn de geïnterviewde personen gevraagd aan te geven, welke eigenschappen de in praktijk gebruikte verkeerskundige prestatie-indicatoren bevatten. Ook is er gevraagd of ze nog gewenste criteria missen in de gebruikte indicatoren en wat de meest belangrijke eigenschappen van de verkeerskundige prestatie-indicatoren zijn.

Uit de persoonlijke interviews kwam vooral naar voren dat een indicator betrouwbaar, begrijpbaar, duidelijk, eenduidig en communiceerbaar moet zijn. Dit vloeit voort uit het feit dat er vele verschillende indicatoren in de praktijk worden gebruikt. Er is namelijk een gebrek aan eenduidigheid en begrijpbaarheid in het communiceren van de verkeerskundige prestaties tussen diverse personen met verschillende vakinhoudelijke kennis. Ook voor doeleinden als onderzoek en advies op het gebied van verkeer en vervoer is eenduidigheid van belang. Dit bevestigt nogmaals het doel van dit afstudeeronderzoek.

Uiteindelijk is uit het literatuuronderzoek en de persoonlijke interviews een lijst van 46 criteria ontwikkeld. Deze lijst geeft een overzicht van de gewenste voordelige eigenschappen van de verschillende op een wegennetwerk toe te passen verkeerskundige prestatie-indicatoren. De in deze lijst genoemde criteria, beschreven in Bijlage G, zijn ingedeeld in de drie categorieën Beleidsrelevantie, Operationaliseerbaarheid en Communiceerbaarheid om de indicatoren vanuit verschillende perspectieven te beoordelen.

### *2.3 Hoe sterk wegen de verschillende onderzochte voor- en nadelen van de op een stedelijk wegennetwerk toe te passen prestatie-indicatoren, bij het bepalen van de meest geschikte eenduidige en communiceerbare prestatie-indicator?*

Niet alle 46 criteria worden echter door de beroepspraktijk even belangrijk gevonden in een verkeerskundige prestatie-indicator. Daarom zijn de criteria door middel van een enquête gewogen, om te onderzoeken hoe belangrijk de individuele criteria door verschillende groepen binnen de beroepspraktijk ten opzichte van elkaar worden gevonden. Dit is gedaan door per criterium aan te laten geven hoe belangrijk de deelnemer het criterium vindt, uitgedrukt in één van de zes keuzemogelijkheden van overbodig (score van 1) tot noodzakelijk (score van 6).

De enquête is rondgestuurd naar diverse partijen en organisaties, die te maken hebben en gebruik maken van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Deze partijen en organisaties zijn ingedeeld in een zestal deelnemersgroepen: Gemeente Den Haag, Gemeenten, Provincies, Landelijk, Ingenieurs/adviesbureaus en Onderzoek. Hierbij is ook het Totaal over de beroepspraktijk berekend door het gemiddelde over de deelnemersgroepen te nemen, uitgezonderd van de Gemeente Den Haag. De Gemeente Den Haag is namelijk ook al vertegenwoordigd in de deelnemersgroep Gemeenten. Voor het Totaal over de beroepspraktijk zijn de gemiddelde waarderingen per criterium over de deelnemersgroepen genomen, om het aantal deelnemers per deelnemersgroep irrelevant te maken.

Uit de respons op de enquête volgen de gemiddelde waarderingen per criterium per deelnemersgroep. Ook voor de Totale beroepspraktijk zijn deze wegingsfactoren berekend. Hiermee is per deelnemersgroep en voor de Totale beroepspraktijk per criterium beoordeeld hoe sterk het voordelige criterium meeweegt bij het bepalen van de meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator voor de eerste toetsingsmethode. Ook is per deelnemersgroep een top 5 meest belangrijke criteria te maken. Op basis van deze toppen 5 criteria wordt er, over alle deelnemersgroepen gezien, een zestiental criteria genoemd als meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk. Dit zestiental criteria wordt gebruikt om een tweede toetsingsmethode toe te passen.

#### 2.4 Wat is de meest geschikte bekende eenduidige prestatie-indicator en(hoe) zou deze nog verbeterd kunnen worden?

Met de gemiddelde waarderingen per criterium per deelnemersgroep en met de wegingsfactoren voor de Totale beroepspraktijk zijn de 86 gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren getoetst met de eerste toetsingsmethode. Elke verkeerskundige prestatie-indicator krijgt een totaalscore volgens het al dan niet voldoen aan de 46 criteria met de bijbehorende weging. Hieruit volgt per deelnemersgroep en voor de Totale beroepspraktijk welke verkeerskundige prestatie-indicator op basis van de waarderingen de meest geschikte is. Het valt op dat de vijf hoogst gewaardeerde indicatoren per deelnemersgroep steeds uit dezelfde vijf indicatoren bestaan. Van stedelijke wegennetwerken op gemeentelijk niveau tot snelwegennetwerken op landelijk niveau scoren dezelfde indicatoren dus hoog. De top 5 hoogst scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren voor de Totale beroepspraktijk zijn daarmee ook bekend en weergegeven in onderstaande Tabel 16.1.

Totale beroepspraktijk		
Top 5	Verkeerskundige prestatie-indicator	Totaalscore
1	LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)	99
2	LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km	99
3	Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid	98
4	Voertuigverliesuren	98
5	LOS gebaseerd op V/C-ratio	97

Tabel 16.1 (= Tabel 15.8): Top 5 best scorende verkeerskundige prestatie-indicatoren Totale beroepspraktijk

De verkeerskundige prestatie-indicatoren zijn met de tweede toetsingsmethode ook getoetst op basis van de ranglijst van het zestiental door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Naast een aantal wat complexere indicatoren met een lagere totaalscore kwam de indicator “Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie” als beste naar voren. Ook de indicator “LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km” scoorde weer goed. Het grote nadeel van deze indicator was echter dat deze indicator geen mate van betrouwbaarheid bevat. Wanneer wordt teruggekeken op de persoonlijke interviews moest een verkeerskundige prestatie-indicator vooral betrouwbaar, eenduidig, begrijpbaar, duidelijk en communiceerbaar zijn. Daarmee werd tijdens de interviews de indicator “Reistijd met een bepaalde mate van betrouwbaarheid” in verband gebracht.

Door de eigenschappen van de goed scorende “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” met de “Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie” samen te voegen tot één verkeerskundige prestatie-indicator, wordt één verbeterde indicator gevormd. Dit is namelijk de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren”. Met deze indicator worden de prestaties uitgedrukt in zowel een waarde van de reistijd per km met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer duren dan gemiddeld, als een eenvoudiger te begrijpen classificerings-score van de Levels Of Service. Zo geeft de indicator een waarde voor zowel de deskundige als de leek. De indicator zou met een totaalscore van 108 volgens de wegingsfactoren als hoogst worden gewaardeerd. De indicator zou ook het best worden gewaardeerd, wanneer deze wordt beoordeeld op basis van het zestiental door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Tevens sluit de indicator goed aan bij de bevindingen uit de persoonlijke interviews. Uit de combinatie van de totaalscores, het zestiental meest belangrijke criteria en de persoonlijke interviews komt de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” dus als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator uit het onderzoek naar voren. Het is voor de eenduidigheid echter wel belangrijk dat de grenswaarden van de Levels Of Service consistent zijn voor alle partijen binnen de beroepspraktijk. De indicator voldoet dan echter nog steeds niet aan alle zestien door de beroepspraktijk meest belangrijk bevonden criteria. Er is dus nog ruimte tot verbetering, door bijvoorbeeld de intensiteiten nog op een zo eenvoudig mogelijke manier aan de indicator te koppelen.

## 16.2 Discussie deelonderzoeksvragen tweede deel

Ook in het tweede deel van het onderzoek zijn een aantal beslissingen genomen. Daarvan worden er in deze paragraaf een aantal nogmaals ter discussie gesteld. Ook worden er een aantal aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Naast de reactie op de enquête zijn er van verschillende deelnemers ook een aantal reacties binnengekomen op basis van de inhoud van de enquête. Door het grootste gedeelte van deze reacties werd de enquête als complex ervaren. Er waren zelfs reacties bij waarin werd aangegeven dat de enquête dusdanig complex werd gevonden, dat diegene de enquête niet kon invullen. Toegegeven moet worden dat de vragen uit de enquête enige vakinhoudelijke kennis vereisen. De concrete en bondige vraagstelling kan ook als te abstract worden ervaren. Toch is het juist prettig dat mensen die de enquête niet geheel begrijpen de enquête niet hebben ingevuld. Deelnemers die niet goed begrijpen waarover het gaat, zouden immers alleen maar voor ruis zorgen in de resultaten. Wel is het jammer dat ze de enquête niet in konden vullen. Bij het maken van een enquête en het niveau van de terminologie in de enquête moet dan ook rekening worden gehouden met de personen die je ermee wilt bereiken. Ook dient de begeleidende tekst direct bij de vragen te staan en zo bondig maar informatief mogelijk te zijn om de deelnemer te begeleiden bij het beantwoorden van de vragen, zodat zij de vragen begrijpen en ook juist interpreteren. Beter zou zijn geweest om de enquête met iedere deelnemer in een persoonlijk interview samen in te vullen en uitleg te geven bij ieder criterium. Dit was binnen de afstudeerperiode helaas niet mogelijk.

Zoals in Tabel 13.2 is weergegeven, is de enquête naar diverse organisaties en afdelingen binnen de deelnemersgroepen gestuurd. Hoe meer deelnemers binnen een organisatie, afdeling of deelnemersgroep, des te betrouwbaarder de resultaten zijn. Echter kwam er van een aantal van deze organisaties en afdelingen slechts enkele of zelfs geen enkele reactie op de enquête. In het onderzoek is dit opgelost door de organisaties en afdelingen in te delen in deelnemersgroepen en de resultaten slechts te analyseren voor deze gehele deelnemersgroepen. Het liefst waren echter ook de onderlinge verschillen tussen de diverse organisaties en afdelingen binnen de deelnemersgroepen geanalyseerd. Het aantal reacties is wellicht ook beïnvloed door de in het vorige punt genoemde complexiteit. Wanneer dat het geval is, is het beter dat er slechts enkele serieuze reacties komen dan veel reacties van minder serieuze deelnemers. Deelnemers die niet goed begrijpen waarover het gaat, zouden zoals gezegd immers alleen maar voor ruis zorgen in de resultaten. Om de resultaten van de organisaties en afdelingen binnen de deelnemersgroepen wel te kunnen analyseren zou het onderzoek voortgezet moeten worden en wellicht zouden er dan gelijk meer persoonlijke interviews gehouden kunnen worden.

Samenhangend met het vorige punt is het ook belangrijk welke personen worden uitgekozen om de enquête in te laten vullen. Volgens Greenacre [38] bestaan er namelijk diverse vormen van onzuiverheden in de resultaten van een online enquête als gevolg van de manier waarop de enquête aan personen wordt gestuurd. De enquête uit dit afstudeeronderzoek is zorgvuldig via e-mail naar partijen en organisaties gestuurd waarbinnen verkeerskundige prestatie-indicatoren worden gebruikt. De enquête is dan ook alleen binnen die geselecteerde afdelingen en organisaties verspreid. Deze selectie voorkomt al dat de enquête wordt ingevuld door een aantal personen die niks van het onderwerp afweten. Toch moet worden uitgekeken met de onzuiverheden in de categorie "self-selection" [38]. Ook al zijn de deelnemende partijen en organisaties geselecteerd, toch bestaat er een vorm van onzuiverheid doordat de personen binnen de geselecteerde partijen en organisaties zelf mogen beslissen of ze aan de enquête meedoen of niet. Zo ontstaat er een extra selectieprocedure, waarbinnen personen alleen deelnemen vanwege persoonlijke redenen. Personen die wel geselecteerd zijn maar de behoefte niet hebben om de enquête in te vullen zijn dus niet opgenomen in de uiteindelijke resultaten. Het zou nader moeten worden onderzocht hoe de onzuiverheden als gevolg van "self-selection" binnen het afstudeeronderzoek doorwegen.

De enquête is naar een aantal deelnemersgroepen gestuurd. Deze deelnemersgroepen zijn verschillende partijen, die in de beroepspraktijk te maken hebben of gebruik maken van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Een andere mogelijke groep, die niet is meegenomen in het onderzoek, is de weggebruiker. De weggebruiker is immers een groep die de prestaties op het weggennetwerk beïnvloed en weldegelijk iets van de verkeerskundige prestaties van weggennetwerken vindt. De weggebruiker is gedurende dit onderzoek bewust niet meegenomen in de deelnemersgroepen. De enquête vereist namelijk nogal wat vakinhoudelijke kennis, waardoor het lastig wordt om geschikte deelnemers voor deze groep te vinden, die niet al tot één van de andere deelnemersgroepen behoren. De verkeerskundige prestaties worden wel naar de weggebruiker gecommuniceerd en de weggebruiker heeft ook een beeld bij de prestaties. Daarom zou het waardevol zijn om ook de wensen en behoeften in een verkeerskundige prestatie-indicator bij de weggebruiker nader te onderzoeken. Het vermoeden bestaat wel, dat weggebruikers ook baat hebben bij het krijgen van informatie over reistijden. Delen van weggennetwerken kunnen enorm druk zijn en het verschil tussen honderd voertuigen meer of minder is dan voor de weggebruiker niet meer relevant. Voor de weggebruiker is het over het algemeen het meest interessant hoe je het snelst van A naar B komt en hoeveel tijd dit kost. Het maakt hierbij vaak niet uit of dit per auto, openbaar vervoer, fiets of te voet of met een combinatie hiervan is en welke route wordt gebruikt. Zolang de reis maar zo kort mogelijk duurt en het liefst ook nog betrouwbaar is. Niets is zo vervelend als er achteraf achter komen dat een andere keuze sneller was geweest.

Wellicht zijn er nog andere criteria te verzinnen, die niet zijn opgenomen in de ontwikkelde toetsingsmethoden. Ook is onbekend welke criteria er in de toekomst belangrijk worden. Deze criteria kunnen dan bij dezelfde deelnemersgroepen volgens dezelfde beoordelingsmethode worden gewaardeerd. Ook is het verstandig om de waardering van de criteria eens in de zoveel jaar te heroverwegen. Wat op dit moment belangrijk wordt gevonden, hoeft in de toekomst door bepaalde ontwikkelingen of omstandigheden niet even belangrijk te worden gevonden. Het is wel een voordeel dat nieuwe prestatie-indicatoren wel direct kunnen worden beoordeeld door middel van de in het onderzoek ontwikkelde toetsingsmethode.

Uit de conclusie volgt dat de indicator “LOS gebaseerd op gemiddelde reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” als meest geschikt uit het onderzoek komt om de verkeerskundige prestaties van een weggennetwerk weer te geven. Om geschikt te zijn voor het eenduidig communiceren van verkeerskundige prestaties tussen verschillende partijen is consistentie in de grenswaarden van de Levels Of Service essentieel. Welke grenswaarden van de gemiddelde reistijd per kilometer er precies bij welke Level Of Service horen zou nog nader onderzocht moeten worden. De voordelen van de genoemde indicator gelden namelijk pas wanneer deze waarden voor de verschillende partijen in de beroepspraktijk overeenkomen. Pas dan zijn de verkeerskundige prestaties namelijk eenduidig, begrijpbaar, duidelijk en communiceerbaar. Voor het afstemmen van de waardes die bij de Levels Of Service horen, moet wel draagvlak zijn bij alle partijen. De bereidheid moet aanwezig zijn om universele normen op te stellen voor de Levels Of Service, om de indicator uiteindelijk over de gehele beroepspraktijk te kunnen gebruiken.

Een laatste punt dat ter discussie wordt gesteld is de keuze om alleen het verkeerskundige aspect van de prestaties van weggennetwerken te onderzoeken. Binnen het proces van het maken van beleid, onderzoek, ontwerp, uitvoering tot aan het beheer van weggennetwerken worden keuzes namelijk niet alleen op basis van de verkeerskundige prestaties gemaakt. Hoe de verkeerskundige prestaties zich in deze keuzes verhouden tot aspecten als milieuemissies, ruimtegebruik, veiligheid, leefbaarheid en comfort zou nader onderzoek vereisen. Ook de prestaties van andere modaliteiten binnen bijvoorbeeld openbaar vervoersystemen, fietserstromen en voetgangerstromen vereisen nader onderzoek.



## 17. Hoofdconclusie

In hoofdstuk 9 en 16 zijn de antwoorden op de deelvragen van respectievelijk de eerste en de tweede hoofdonderzoeksvraag al beantwoord. Dit hoofdstuk geeft in de eerste paragraaf de uiteindelijke hoofdconclusie van de twee hoofdonderzoeksvragen. Hierna is hier ook een algemene conclusie beschreven. In de vervolgpargrafen worden de mogelijke consequenties van de resultaten van het onderzoek besproken. In de tweede paragraaf zijn de toepassingen voor de wetenschap beschreven. In de derde paragraaf is dit gedaan voor de praktijk.

### 17.1 Conclusie hoofdonderzoeksvragen

Op basis van het onderzoek is in paragrafen 9.1 en 16.1 al antwoord gegeven op alle deelonderzoeksvragen. Met deze antwoorden is er ook antwoord te geven op de hoofdonderzoeksvragen. Allereerst wordt de eerste hoofdonderzoeksvraag beantwoord.

#### ***1. Hoe kan het ontwikkelen van Macroscopische Fundamentele Diagrammen voor specifieke stedelijke trajecten helpen om missende informatie over reistijden en/of intensiteiten op andere trajecten binnen eenzelfde stedelijk wegennetwerk te kunnen schatten?***

Een op traject gebaseerd MFD wordt bepaald uit de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid op het traject. Wanneer twee van deze drie grootheden bekend zijn, kan de derde aan de hand van de relatie worden berekend. In het onderzoek zijn twee datafusiemethodes onderzocht om tot twee van deze drie benodigde grootheden te komen. Met behulp van datafusie is voor beide methoden per aggregatieperiode de ene grootheid tegen de ander uitgezet om de typische fundamentele relaties voor het specifieke traject middels een puntenwolk te beschrijven. De datafusiemethode die data van snelheden (uit reistijden en trajectlengte) en gewogen intensiteiten fuseert, laat deze fundamentele relaties beter zien dan de datafusiemethode die gewogen bezettingsgraden met gewogen intensiteiten fuseert. Door per traject de Adjusted Drake functie door de puntenwolk te fitten wordt er een traject specifiek MFD ontwikkeld, die de fundamentele eigenschappen van het betreffende traject beschrijft. Over alle 78 geanalyseerde trajecten gezien bleek de Adjusted Drake functie een fit te hebben met een gemiddelde RMSE van 24 voertuigen/uur/rijstrook.

Elk gefit MFD laat de fundamentele karakteristieken zien van het desbetreffende traject. Om te zien of er verbanden bestaan tussen de 78 ontwikkelde MFD's, zijn de trajecten gecategoriseerd aan de hand van de parameters van de gefitte MFD's. Uit het k-means clustering algoritme volgt dat er vier categorieën trajecten zijn te onderscheiden aan de hand van de stedelijke traject specifiek gefitte MFD's. Buiten de fundamentele eigenschappen komt er ook een aantal andere trajecteigenschappen binnen deze categorieën overeen. Daarbij moet gedacht worden aan trajecteigenschappen als de snelheidslimiet, de ligging van het traject ten opzichte van het netwerk en de VRI-dichtheid op het traject. Voor elk van de clusters is een cluster-MFD ontwikkeld. De foutmaat van deze cluster-MFD's ten opzichte van de bij elk cluster horende datapunten heeft een gemiddelde RMSE-waarde van 61 vtg/u/rijstrook. Wanneer een traject wordt ingedeeld bij een cluster is de foutwaarde van het cluster-MFD ten opzichte van de datapunten gemiddeld dus meer dan dubbel zo groot, dan wanneer er een traject specifiek gefit MFD ontwikkeld wordt.

Wanneer de relatie tussen intensiteit, dichtheid en snelheid bekend is, hoeft alleen nog de intensiteit of snelheid gemeten te worden om informatie over de andere grootheid aan de hand van deze relatie te kunnen schatten. Een intensiteitschatting op basis van gemeten reistijden heeft een gemiddelde RMSE-waarde van 171 vtg/u/rijstrook, wanneer de intensiteit wordt geschat met behulp van een traject specifiek gefit MFD. Deze RMSE heeft een gemiddelde waarde van 255 vtg/u/rijstrook wanneer de schatting is gebaseerd op een cluster-MFD. Dit zijn erg hoge waardes, waardoor de toepassing van het schatten van intensiteiten aan de hand van de reistijd niet wordt aangeraden.

Als juist de intensiteit gemeten is en de reistijd geschat dient te worden, horen hier aan de hand van een MFD twee snelheidswaardes bij. Namelijk een snelheidswaarde in de vrijedoorstreams-tak en een waarde in de congestie-tak, die beide omgerekend kunnen worden naar een reistijd per kilometer. Echter is uit de data niet direct op te maken met welk van de twee takken van het MFD de intensiteitwaarde vergeleken dient te worden. Dit probleem is opgelost door de data met behulp van twee methodes te benaderen. De eerste methode is de Vrijedoorstreams-tak methode, waarin alle intensiteitwaarden met de vrijedoorstreams-tak worden vergeleken, ongeacht de tak waartoe ze werkelijk behoren. Deze Vrijedoorstreams-tak methode heeft een fout in de reistijdschatting met het traject specifiek gefit MFD met een gemiddelde RMSE van 15 seconde per kilometer traject. De reistijdfout voor het cluster-MFD heeft een gemiddelde RMSE van 25 seconde per kilometer traject. Met een berekende gemiddelde reistijd over een kilometer van het Haags DVM-netwerk van 97 seconde zitten de schattingen er respectievelijk dus relatief 15% en 26% naast.

De tweede methode is de Bekende-tak methode, waarin alle intensiteitwaarden met de juiste tak worden vergeleken, aangenomen dat deze bekend zijn. Deze Bekende-tak methode heeft een fout in de reistijdschatting met het traject specifiek gefit MFD met een gemiddelde RMSE van 19 seconde per kilometer traject. De reistijdfout voor het cluster-MFD heeft een gemiddelde RMSE van 35 seconde per kilometer traject. Dit betekent dat de schatting aan de hand van het traject specifiek gefit MFD en het cluster-MFD er respectievelijk relatief 20% en 36% naast zit met de Bekende-tak methode.

De resultaten van de Vrijedoorstreams-tak methode zijn beter dan van de Bekende-tak methode. Dit is echter alleen omdat er op de beschouwde trajecten relatief weinig ernstige congestie voorkomt. Bij stedelijke wegennetwerken waar meer ernstigere congestie voorkomt, is de verwachting dat de Bekende-tak methode uiteindelijk betere schattingen maakt. Welke methode ook wordt gebruikt, de schattingen zijn een stuk beter met een traject specifiek gefit MFD in plaats van een cluster-MFD.

## ***2. Wat is de meest geschikte maatstaf om de verkeerskundige prestaties van een stedelijk wegennetwerk als geheel en verschillende onderdelen hiervan, op een eenduidige en communiceerbare manier weer te geven?***

Door middel van een literatuuronderzoek en persoonlijke interviews is een lijst van 86 in de praktijk gebruikte verkeerskundige prestatie-indicatoren en een lijst van 46 gewenste voordelige criteria opgesteld. Niet alle 46 criteria worden echter door de beroepspraktijk even belangrijk gevonden in een verkeerskundige prestatie-indicator. Daarom zijn de criteria door middel van een enquête ten opzichte van elkaar gewogen. Met de gemiddelde waarderingen per criterium per deelnemersgroep en voor de totale beroepspraktijk zijn de 86 gevonden verkeerskundige prestatie-indicatoren op twee manieren getoetst. De eerste methode heeft elke verkeerskundige prestatie-indicator een totaalscore gegeven volgens het al dan niet voldoen aan de 46 criteria met de bijbehorende weging. Aan des te meer criteria een indicator voldoet, een des te hogere score deze indicator krijgt en daarmee des te beter de indicator is. Gemiddeld over de totale beroepspraktijk gezien scoren de indicatoren "LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)" en "LOS gebaseerd op gem reistijd per km" met deze eerste methode het hoogst.

De 86 verkeerskundige prestatie-indicatoren zijn ook op een tweede manier getoetst. Op basis van de weging per criterium per deelnemersgroep is een top 5 gemaakt van meest belangrijke criteria per deelnemersgroep. Binnen deze toppen 5 criteria is er een zestiental criteria genoemd die de meest belangrijke criteria binnen de beroepspraktijk vormen. De 86 verkeerskundige prestatie-indicatoren zijn ook getoetst aan de hand van de ranglijst van dit zestiental door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Naast een aantal wat complexere indicatoren kwam de indicator "Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie" als beste naar voren. Ook de indicator "LOS gebaseerd op gem reistijd per km" scoorde weer goed.

Door de eigenschappen van de uit de toetsingsmethodes goed scorende “LOS gebaseerd op gem reistijd per km” met de “Standaard Deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie” samen te voegen tot één verkeerskundige prestatie-indicator, is één verbeterde indicator gevormd. Dit is namelijk de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren”. Met deze indicator worden de prestaties uitgedrukt in zowel een waarde van de reistijd per kilometer met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer duren dan gemiddeld, als een eenvoudiger te begrijpen classificerings-score van de Levels Of Service. Hiermee is er een waarde voor zowel de deskundige als voor de leek. Deze indicator zou zowel op basis van de wegingsfactoren als voor het zestiental door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria als beste worden gewaardeerd. De indicator sluit tevens goed aan bij de bevindingen uit de persoonlijke interviews, waaruit vooral naar voren kwam dat een indicator betrouwbaar, begrijpbaar, duidelijk, eenduidig en communiceerbaar moet zijn. “Reistijd met een bepaalde mate van betrouwbaarheid” werd hiermee gedurende de interviews in verband gebracht. Deze is dus al verwerkt in de verbeterde indicator. Uit het onderzoek wordt dus de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator aanbevolen.

Na antwoord te hebben gegeven op de twee hoofdonderzoeksvragen kunnen er ook een aantal algemene conclusies worden getrokken. Met de ontwikkelde datafusiemethode is het mogelijk om een traject gebaseerd Macroscopisch Fundamenteel Diagram te ontwikkelen door een complex stedelijk gebied. Hiermee wordt er met betrekking tot het weergeven van fundamentele relaties een extra dimensie toegevoegd tussen de in paragraaf 2.1 genoemde Fundamentele Diagrammen op snelwegen en het Macroscopisch Fundamenteel Diagram voor een geheel wegennetwerk. Met een traject gebaseerd MFD is het schatten van missende informatie over zowel intensiteiten, snelheden als reistijden vervolgens mogelijk met een bepaald betrouwbaarheidsinterval. Echter is het niet aanbevolen om intensiteiten te schatten aan de hand van de traject gebaseerde MFD's door de grote foutmarges in de schattingen. Voor het schatten van snelheden en reistijden wordt aangeraden een traject specifiek gefit MFD te gebruiken. Onafhankelijk of de Vrijedoorstrooms-tak methode of de Bekende-tak methode wordt gebruikt levert het traject specifiek gefit MFD significant betere snelheids- en reistijdschattingen dan de ontwikkelde cluster-MFD's. Het verkrijgen van deze traject specifiek gefitte MFD's kost meer tijd en vergt een bepaalde hoeveelheid en kwaliteit data. Toch levert het ontwikkelen van een traject specifiek gefit MFD relatief goede schattingen op voor snelheden en reistijden.

Uit het tweede gedeelte van dit afstudeeronderzoek blijkt dat vooral het hebben van informatie over reistijden waardevol is binnen de beroepspraktijk. Deze kunnen namelijk worden gebruikt voor de “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” die als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator voor stedelijke wegennetwerken is aanbevolen. Het is voor de eenduidigheid en de communiceerbaarheid binnen de beroepspraktijk echter wel van belang dat de grenswaarden van de Levels Of Service consistent zijn voor alle partijen binnen de beroepspraktijk. Om deze grenswaarden te bepalen wordt nader onderzoek aanbevolen.

Gedurende het tweede gedeelte van het onderzoek zijn de wensen en behoeften van verschillende organisaties en afdelingen beter in kaart gebracht. Op basis hiervan zijn twee toetsingsmethodes voor verkeerskundige prestatie-indicatoren ontwikkeld. Een voordeel van deze toetsingsmethodes is dat nieuw ontwikkelde prestatie-indicatoren eenvoudig kunnen worden getoetst met behulp van deze twee toetsingsmethodes. Hierbij zijn wel de actuele wensen en behoeften geïkt van verschillende Nederlandse organisaties en afdelingen. Aangeraden wordt om de wensen en behoeften eens in de zoveel tijd te herijken, aangezien deze tijdsafhankelijk zijn. Ook moet worden gerealiseerd dat wensen en behoeften in het buitenland anders zouden kunnen zijn. In hoeverre dit doorweegt in de resultaten van de toetsingsmethodes zou nader moeten worden onderzocht.

## 17.2 Perspectieven voor de wetenschap

De indicator “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” wordt aanbevolen als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator. Aangezien dit de aanbevolen indicator is om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te geven, heeft dit invloed op de toepassing van de resultaten van het eerste gedeelte van dit onderzoek. Er is namelijk binnen de beroepspraktijk blijkbaar meer behoefte naar informatie over reistijden dan over snelheden, intensiteiten of bezettingsgraden. De beroepspraktijk heeft dus meer aan extra informatie over reistijden dan informatie over intensiteiten op plekken waar deze niet gemeten worden. Dit is gunstig aangezien met het op traject gebaseerde MFD voor de reistijden een betere schatting is te maken dan voor de intensiteiten. De op traject gebaseerde MFD's zorgen er voor, dat de verkeerskundige prestaties ook in kaart worden gebracht voor delen van wegennetwerken waar geen reistijden van bekend zijn. Hiermee dragen de MFD's dus bij aan het beter in beeld brengen van de prestaties van het wegennetwerk. Zo zijn er ten gevolge van de resultaten van de beide gedeeltes van dit onderzoek nog meer perspectieven voor zowel de wetenschap als voor de praktijk. In deze paragraaf zijn een aantal van deze perspectieven voor de wetenschap beschreven. In de volgende paragraaf is dit gedaan voor de perspectieven voor de praktijk. Ook zijn er al een groot aantal perspectieven genoemd in de discussiegedeelten van paragrafen 9.2 en 16.2.

Traject specifiek gefitte MFD's helpen om reistijden te schatten op trajecten waar deze niet gemeten worden. Hoe langer de meetperiode is des te representatiever het MFD voor de werkelijkheid gefit wordt. Echter wordt het tijdelijk meten van reistijden om het MFD te fitten minder praktisch naarmate de meetperiode langer wordt. In dit onderzoek is een meetperiode van een maand genomen. Deze meetperiode bleek ruim voldoende om een representatief MFD te fitten. Hoe representatief het gefit MFD is bij kortere meetperiodes is niet bekend. Verder onderzoek naar de invloed van de meetperiode op de fout van de reistijdschattingen zou helpen om een optimale duur van de meetperiode te vinden.

In het onderzoek is de Adjusted Drake functie gebruikt om de datawolken te fitten. Deze functievorm is slechts onlangs ontwikkeld en gedurende dit onderzoek dus gelijk in praktijk getest. De Adjusted Drake functie laat een significant betere fit zien dan de derdegraads polynoom. Echter is al aangegeven dat deze functievorm een minder geschikte vorm heeft om zware congestie weer te geven. Ook het punt waarop het zo druk is dat het verkeer op het gehele traject tot stilstand is gekomen (op het punt van stremmingsdichtheid), geeft de functievorm onrealistische waarden weer. Reistijdschattingen op trajecten ten tijden van zware congestie zouden op basis van de Adjusted Drake functie ver naast de daadwerkelijke reistijd kunnen zitten. Ondanks dat de Adjusted Drake functie een betere fit heeft dan de in praktijk veel gebruikte derdegraads polynoom, wordt het daarom aanbevolen om een functievorm te ontwikkelen die zowel de vrijedoorstrooms-tak als de congestie-tak nog beter beschrijft. Een nog betere functievorm zal uiteindelijk leiden tot een betere fit en daarmee ook tot betere reistijdschattingen, met name gedurende situaties waarin congestie voorkomt.

Gedurende het onderzoek zijn twee datafusiemethodes onderzocht. Hieruit blijkt dat het fuseren van snelheden en gewogen intensiteiten een betere fundamentele relatie laten zien dan bij het fuseren van gewogen bezettingsgraden met gewogen intensiteiten. In de laatst genoemde datafusiemethode kwam naar voren dat de lange detectielus de beste relatie liet zien met de dichtheid op het traject. Echter werd de fundamentele relatie afgevlakt bij het bereiken van hoge waarden van de bezettingsgraad. De relaties tussen de andere beschikbare detectielussen zijn in Bijlage B weergegeven voor een van de trajecten. De relatie tussen (combinaties van) de verschillende detectielussen en de fundamentele relaties op het traject zouden nader kunnen worden onderzocht. Hiermee kan wellicht een beter beeld worden verkregen van de relatie tussen de door de eerste datafusie berekende dichtheid op het traject en de bezettingsgraad ter plaatse van de verschillende meetlocaties van de detectielussen.

Met een traject specifiek gefit MFD kunnen reistijden geschat worden op basis van de Vrijedoorstrooms-tak methode of op basis van de Bekende-tak methode (zie paragraaf 8.3). Met de Bekende-tak methode werd ervan uitgegaan dat het bekend was of de reistijd in de vrijedoorstrooms-tak of in de congestie-tak van het MFD gevonden moest worden. Aan de intensiteitwaarde zelf is er echter niet te zien welke tak van het MFD gekozen dient te worden. Voordat de Bekende-tak methode effectief in praktijk zou kunnen worden gebracht, moet worden onderzocht hoe bepaalt kan worden tot welke tak de intensiteitdata behoort. In het onderzoek zijn er al suggesties gedaan zoals het afleiden uit trends, het gebruik van bezettingsgraden of door data van nabijgelegen VRI's mee te nemen in de bepaling of de verkeersstroom in congestie is of niet. Hoe dit echter precies zou moeten worden aangepakt behoeft uitgebreid nader onderzoek.

Met betrekking tot de verkeerskundige prestatie-indicatoren kunnen, als gevolg van de onderzochte behoeften en wensen van de beroepspraktijk, nieuwe verkeerskundige prestatie-indicatoren specifiek op de beroepspraktijk worden ontwikkeld. De aanbevolen indicator voldoet namelijk nog steeds niet aan de zestien door de beroepspraktijk belangrijkste bevonden criteria. Nieuwe verkeerskundige prestatie-indicatoren zouden kunnen worden ontwikkeld, om wel aan al de wensen en behoeften van de verschillende partijen te voldoen.

Weggebruikers maken niet direct gebruik van verkeerskundige prestatie-indicatoren. Toch worden berekende prestaties van wegennetwerken ook naar de weggebruiker gecommuniceerd. De weggebruiker is immers een groep die de prestaties op het wegennetwerk beïnvloed en weldegelijk iets van de verkeerskundige prestaties van wegennetwerken vindt. Het is handig om dan ook te weten wat de behoeften en wensen van de weggebruiker zijn in de communicatie van verkeerskundige prestaties. De weggebruiker is in dit onderzoek bewust niet als deelnemersgroep opgenomen vanwege de voor de enquête vereiste vakinhoudelijke kennis. Dit kan wel als gevolg hebben dat de verkeerskundige prestaties binnen de beroepspraktijk op een eenduidige manier worden gecommuniceerd, maar dat deze prestaties niet goed naar de weggebruiker kunnen worden overgebracht. Om dit te voorkomen zou een enquête gemaakt kunnen die vergelijkbaar is met de enquête uit dit onderzoek, maar dan meer toegespitst op de weggebruiker en met minder gebruik van vakinhoudelijke termen. Zo kunnen ook de wensen en behoeften van de weggebruiker worden getoetst. Met de kennis die hieruit volgt zou in praktijk ook rekening gehouden kunnen worden met de naar de weggebruiker te communiceren verkeerskundige prestaties van het wegennetwerk.

Er is een advies gegeven om de verkeerskundige prestaties door middel van een indicator weer te geven. Binnen het proces van het maken van beleid, onderzoek, ontwerp, uitvoering tot aan het beheer van wegennetwerken worden keuzes echter niet alleen op basis van de verkeerskundige prestaties gemaakt. Hoe de verkeerskundige prestaties zich in deze keuzes verhouden tot andere aspecten als milieuemissies, ruimtegebruik, veiligheid, leefbaarheid en comfort zou nader onderzoek vereisen.

### 17.3 Perspectieven voor de praktijk

Reistijdschattingen kunnen aan de hand van een traject specifiek gefit MFD worden gemaakt. Daarmee kunnen de prestaties van een wegennetwerk door middel van de indicator “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” worden weergegeven. Doordat deze indicator als meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator is aangewezen biedt dit ook perspectieven voor de praktijk, zodat deze ook daadwerkelijk door de hele beroepspraktijk in gebruik kan worden genomen. In deze paragraaf zijn een aantal van deze perspectieven voor de praktijk beschreven. Ook zijn er al een groot aantal perspectieven genoemd in de discussiegedeelten van paragrafen 9.2 en 16.2.

Reistijden kunnen worden geschat met traject specifiek gefitte MFD's. Voor de inputdata om deze MFD's op trajectniveau te kunnen ontwikkelen zijn intensiteiten en reistijden nodig. De uiteindelijke reistijdschattingen kunnen alleen maar goed met de werkelijkheid overeenkomen, wanneer de inputdata van voldoende kwaliteit is. In paragraaf 9.2 is al ter discussie gesteld dat er kleine verschillen zitten in de intensiteiten van verschillende databronnen. Dit onderschrijft het belang om af te wegen welke data bron voldoende aanwezig is en voldoende kwaliteit biedt. Voor dit onderzoek waren dit de koplussen van de VRI's en de reistijden van reistijdcamera's, maar voor andere situaties zouden dit andere databronnen kunnen zijn.

Reistijden kunnen wel worden geschat aan de hand van traject specifiek gefitte MFD's, maar het is natuurlijk veel eenvoudiger en betrouwbaarder om reistijden direct te meten op de locaties waar die gewenst zijn. In de praktijk betekent dit voor veel wegennetwerken, dat er meer meetapparatuur moet worden geïnstalleerd, om de verkeerskundige prestaties ook buiten de hoofdwegen beter in kaart te kunnen brengen. Een andere mogelijkheid om informatie te verkrijgen over reistijden is door middel van het inwinnen van Floating Car Data [39]. Deze manier van data-inwinning is namelijk locatieonafhankelijk.

Uit de conclusie volgt dat de indicator “LOS gebaseerd op gem reistijd per km, met toegevoegde standaarddeviatie van de reistijden die langer dan gemiddeld duren” als meest geschikte maatstaf uit het onderzoek komt om de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk weer te geven. Om geschikt te zijn voor het eenduidig communiceren van verkeerskundige prestaties tussen verschillende partijen is consistentie in de grenswaarden van de Levels Of Service essentieel. Voordat de indicator goed in praktijk kan worden gebracht, moeten deze grenswaarden universeel op een eenduidige manier worden gedefinieerd. In de definitie kan bijvoorbeeld ook het beeld van de weggebruiker worden meegenomen. Wat deze universele grenswaarden precies moeten zijn zal moeten worden uitgezocht, op een manier zodat er ook draagvlak voor de grenswaarden is vanuit de beroepspraktijk. Alleen dan kan de verkeerskundige prestatie-indicator eenduidig in praktijk worden gebruikt.

Het laatst besproken perspectief op de praktijk als gevolg van de resultaten van dit onderzoek is de toepassing om de verkeerskundige prestaties real-time te monitoren. De combinatie van het schatten van reistijden met traject specifiek gefitte MFD's en gemeten reistijden is direct te koppelen met de aanbevolen verkeerskundige prestatie-indicator. Door de reistijden op trajecten real-time te meten en te schatten zijn hierdoor de actuele verkeerskundige prestaties op het wegennetwerk en bepaalde delen hiervan direct weer te geven. Deze actuele verkeerskundige prestaties hoeven dan niet per se op lokaal- of netwerkniveau worden weergegeven, maar dit kan dan ook op een tussengelegen trajectniveau.



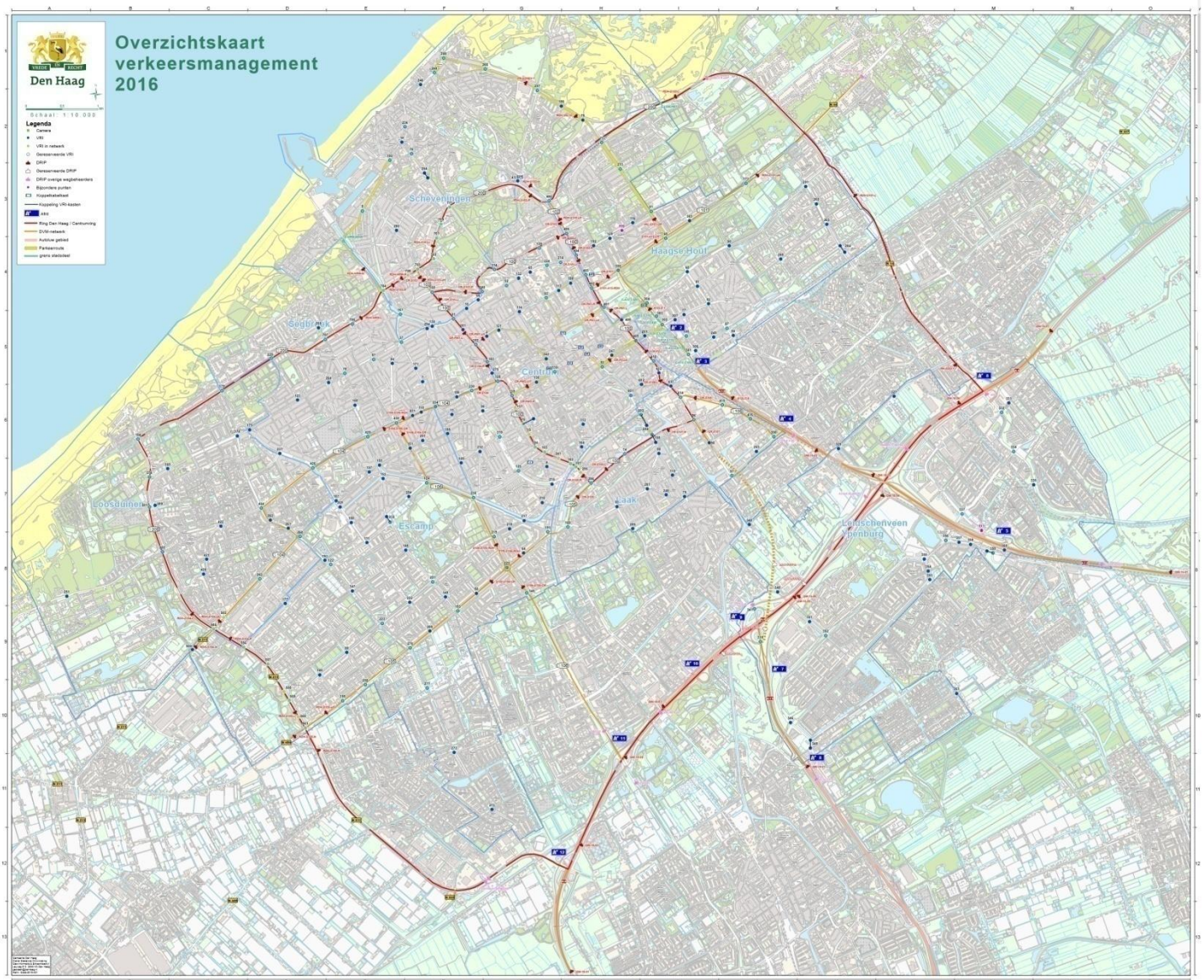
## Bibliografie

- [1] Gemeente Den Haag, Okt 2010, *Haagse nota mobiliteit, bewust kiezen slim organiseren*, Gemeente Den Haag, Nederland
- [2] Centraal Bureau voor de statistiek, 25 jul 2016, *Bevolking: ontwikkeling in gemeenten met 100.000 of meer inwoners*, Den Haag/Heerlen, Nederland
- [3] Dienst Stedelijke Ontwikkeling, 2016, *Overzichtskaart Verkeersmanagement 2016*, Gemeente Den Haag, Nederland
- [4] Brockfeld, E., et al, Feb 2008, *Fundamental diagram on urban roads – myth or truth?*, Dept. of Civil and Environmental engineering, University of Massachusetts, USA
- [5] Greenshields, B.D., 1935, *A Study in Highway Capacity*, Highway Research Board, Proceedings, Vol. 14, p. 458
- [6] Prof L.H. Immers, S. Logghe, mei 2002, *Traffic Flow Theory*, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering Section Traffic and Infrastructure, Katholieke Universiteit Leuven, België
- [7] Geroliminis, N., Daganzo, C.F., 2008, *Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings*, Institute of Transportation Studies and Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, United States
- [8] Knoop, V. L., Hoogendoorn, S. P., Oct 2012, *Empirical of a Generalized Macroscopic Fundamental Diagram for Urban Freeways*, Delft University of Technology, Transport & Planning, Delft, The Netherlands
- [9] Tsubota, T., Bhaskar, A., Chung, E., Oct 2013, *Empirical Evaluation of Brisbane Macroscopic Fundamental Diagram*, Smart Transport Research Centre, Faculty of Built Environment and Engineering Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- [10] Greenshields, B. D., Schapiro, D., Ericksen, E. L., 1947, *Traffic Performance at Urban Street Intersections*, Bureau of Highway Traffic, Yale University, New Haven Connecticut, U.S.
- [11] Gartner, N.H., Wagner, P., Dec 2003, *Analysis of Traffic Flow Characteristics on Signalized Arterials*, Dept. of Civil and Environmental engineering University of Massachusetts, USA
- [12] Wagner, P., Brockfeld, E., Gartner, N.H., Sohr, A., Mar 2009, *Fundamental diagram of traffic flows on urban roads – local versus whole-link approaches*, Dept. of Civil and Env'l engineering, University of Massachusetts USA and Institute of Transportation Systems, German Aerospace Centre Berlin
- [13] Eelco, B., Feb 2015, *Estimating Queue Lengths on Signalized Urban Arterials using Traffic Data Fusion*, Civil Engineering Transport & Planning, TU Delft, The Netherlands
- [14] Knoop, V.L., Daamen, W., Oct 2016, *Automatic fitting procedure for the fundamental diagram*, Department of Transport & Planning, Delft University of Technology, The Netherlands
- [15] Mermygka, M., Oct 2016, *Network-wide Traffic State Estimation using the Macroscopic Fundamental Diagram, a data fusion approach*, Delft University of Technology, The Netherlands
- [16] Loop, H. van der, Apr 2009, *De mobiliteitsindicator: een eerste verkenning*, Kennisinstituut voor Mobiliteit, Nederland
- [17] Hoogendoorn-Lanser, S., Schaap, N., Gordijn, N., Nov 2011, *Bereikbaarheid anders Bekeken*, Kennisinstituut voor Mobiliteit, Nederland
- [18] Hakkesteeft, P., Mrt 1993, *Rekenen aan bereikbaarheid*, Civiele Techniek, vakgroep Verkeer, TU Delft, Nederland
- [19] Meijers, D., Mrt 2013, *Een onderzoek naar het beoordelen van bereikbaarheid vanuit verschillende perspectieven*, Masterthesis Planologie, Faculteit der Managementwetenschappen, Radboud Universiteit Nijmegen, Nederland
- [20] Wortelboer-van Donselaar, P., Gordijn, H., Francke, J., Visser, J., Jul 2011, *Indicatoren Landzijdige Bereikbaarheid Mainports*, Kennisinstituut voor Mobiliteit, Nederland



- [21] Wee. B. van, Annema, J. A., 2009, *Verkeer en Vervoer in Hoofdlijnen*, Coutinho, Bussum, Nederland
- [22] Wilson A, 2006, *Handboek Verkeerslichtenregelingen*, Ede: CROW, Nederland
- [23] Nationale Databank Wegverkeersgegevens, jan 2016, *Handleiding Export Historische Gegevens*, NDW Utrecht, Nederland
- [24] Cuteview 64 bits versie:  
[http://www.kcsoftwares.com/sumo/view.php?prot=2&ProductName=CuteView+\(64+bits\)&Company=Werner+van+Loo](http://www.kcsoftwares.com/sumo/view.php?prot=2&ProductName=CuteView+(64+bits)&Company=Werner+van+Loo)
- [25] Keyvan-Ekbatani, M., Gao, X., Gayah, V. V., Knoop, V., in preparation, *Hierarchical Traffic Control in Large-Scale Urban Networks: Combination of Traffic-Responsive and Perimeter Control Strategies*, In preparation for Transportmetrica B.
- [26] Drosig, M., 2007, *Dealing with Uncertainties, A Guide to Error Analysis*, Springer Science and Business Media, University of Wien, Austria
- [27] Bholowalia, P., Kumar, A., Nov 2014, *EBK-Means: A Clustering Technique based on Elbow Method and K-means in WSN*, International Journal of Computer Applications, India
- [28] Wood, T., Jan 2012, *Using Mean Absolute Error for Forecast Accuracy*, CAN Contemporary Analysis, Predictive Analytics, Omaha, United States
- [29] Aftabuzzaman, M.D., *Measuring Traffic Congestion, A Critical Review*, Institute of transport studies, Monash University, Melbourne, Victoria, Australia
- [30] Kaparias, I., Bell, M.G.H., Jun 2011, *Key Performance Indicators for Traffic Management and Intelligent Transport Systems*, CONDUITS Coordination of Network Descriptors for Urban Intelligent Transport Systems, Imperial College London, United Kingdom
- [31] Kroes, E. P., Sheldon, R. J., Jan 1988, *Stated Preference Methods, an introduction*, Journal of Transport Economics and Policy, Richmond, Surrey, London, United Kingdom
- [32] Rao, A. M., Rao, K. R., April 2012, *Measuring Traffic Congestion, A Review*, Indian Institute of Technology Delhi, Department of Civil Engineering, Hauz Khas, New Delhi, India
- [33] Tsubota, T., Aug 2014, *Exploring the Properties of Macroscopic Fundamental Diagram: Analysing Brisbane Urban Network*, Smart Transport Research Centre, Science and Engineering Faculty, Queensland University of Technology, Australia
- [34] Noordegraaf, D. V., Faber, F., Vukovic, D., Nov 2011, *Filegolven binnen no time in beeld – Excelleren in detecteren*, Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, Antwerpen, België
- [35] Gemeente Den Haag , mei 2017, *Ontwerp visie missie en strategie BVM voor BVM overleg 12 mei* , verslag BVM-overleg 12 mei, Den Haag, Nederland
- [36] Abma, R., Oct 2014, *Assessing Travel Time Reliability in Urban Networks from a Road User Perspective*, Master Thesis in Civil Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands
- [37] Google Forms, geraadpleegd op februari 2017: <https://www.google.nl/intl/nl/forms/about/>
- [38] Greenacre, Z.A., Apr 2016, *The Importance of Selection Bias in Internet Surveys*, Statistic Department, Science Faculty, Anadolu University, Eskisehir, Turkey
- [39] Vries, J., Jun 2012, *Provinciale Toepassingen voor Wegverkeersgegevens: Gebeurtenisdetectie op basis van NDW Verkeersdata*, Provincie Zuid-Holland en Technische Universiteit Delft
- [40] MuConsult B.V. en Move Mobility, Dec 2014, *De SVIR Bereikbaarheidsindicator*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Nederland
- [41] Tromp, H., Bussche, D., Stelling-Plantenga, C., Nov 2013, *De Bereikbaarheidsindicator in de Mobiliteitsscan. Voor snel inzicht in de R van MIRT*, Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, Rotterdam, Nederland
- [42] Ye, L., Hui, Y., Yang, D., Mar 2012, *Road Traffic Congestion Measurement Considering Impacts on Travelers*, Springer, Transport Planning and Research Institute Beijing and School of Transportation Engineering Shanghai, China

## Bijlage A: Overzichtskaart Verkeersmanagement 2016



Figuur A1: Overzichtskaart Verkeersmanagement 2016 [3]

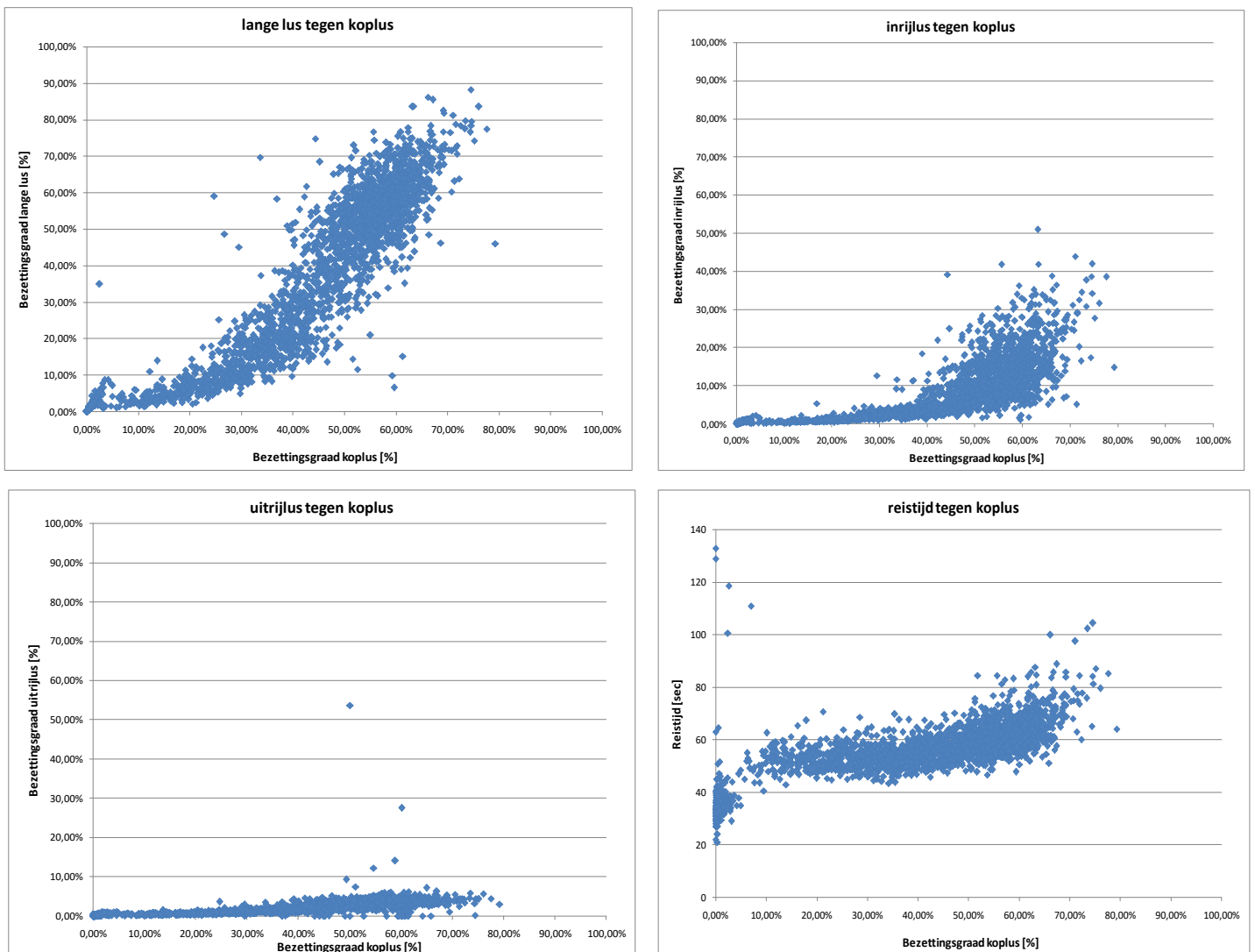




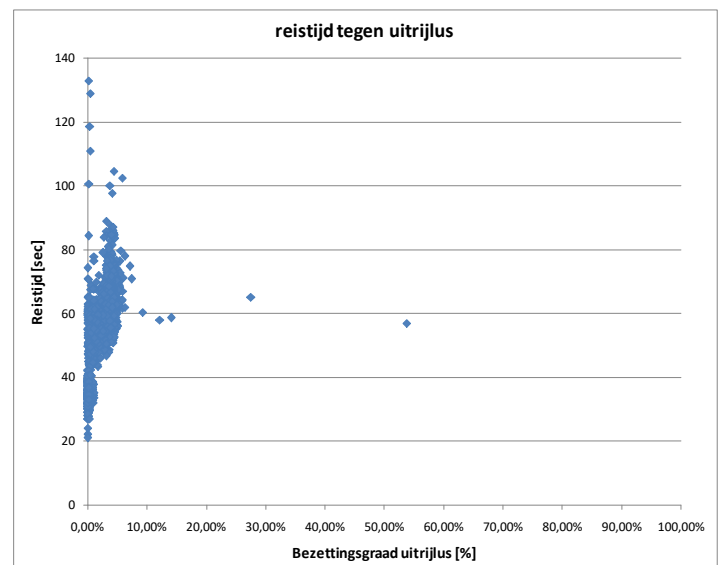
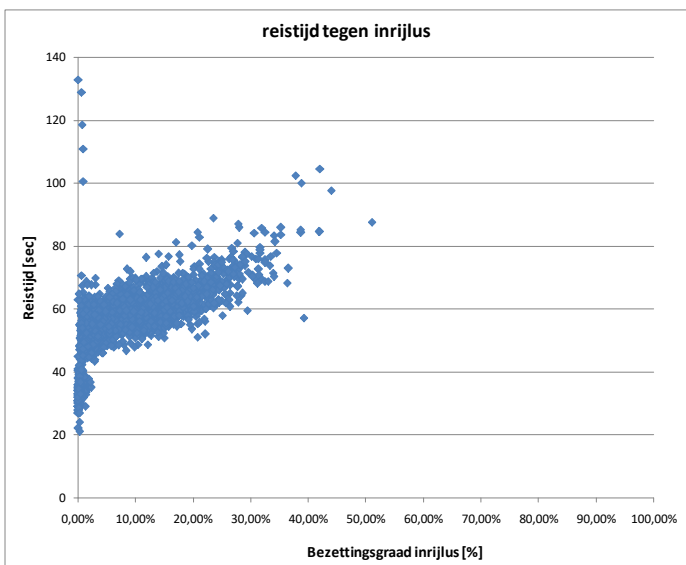
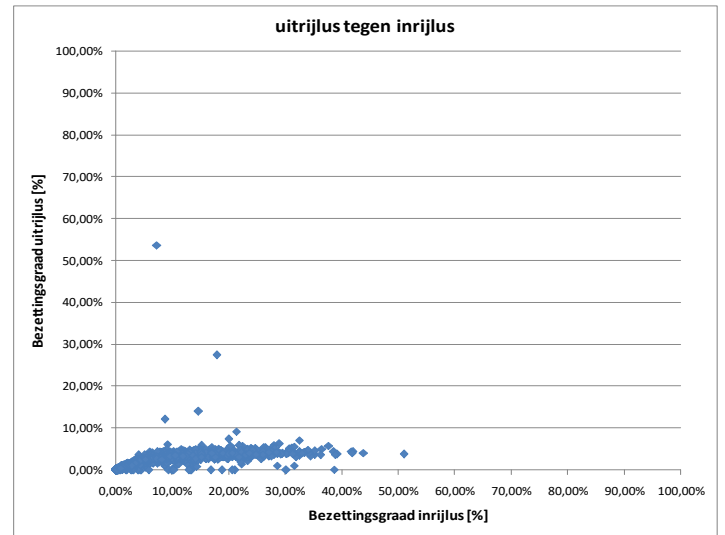
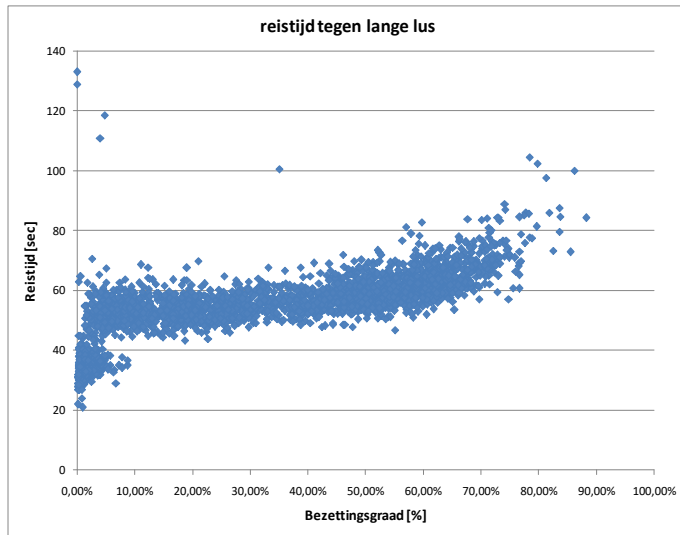
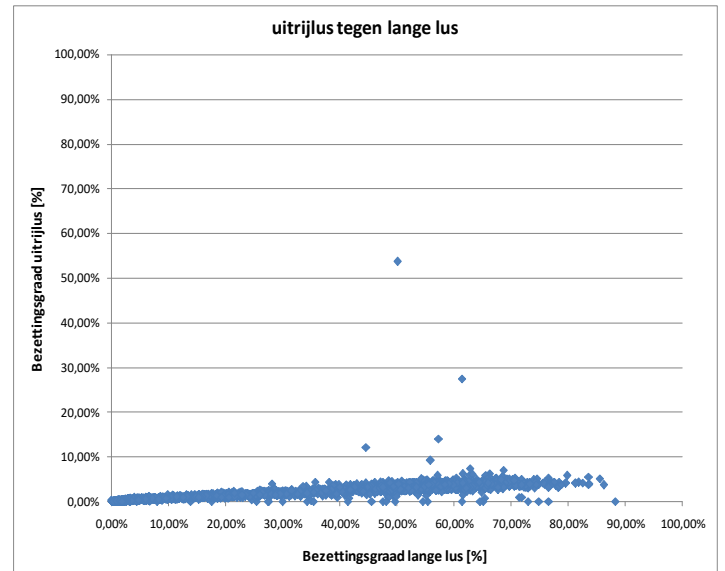
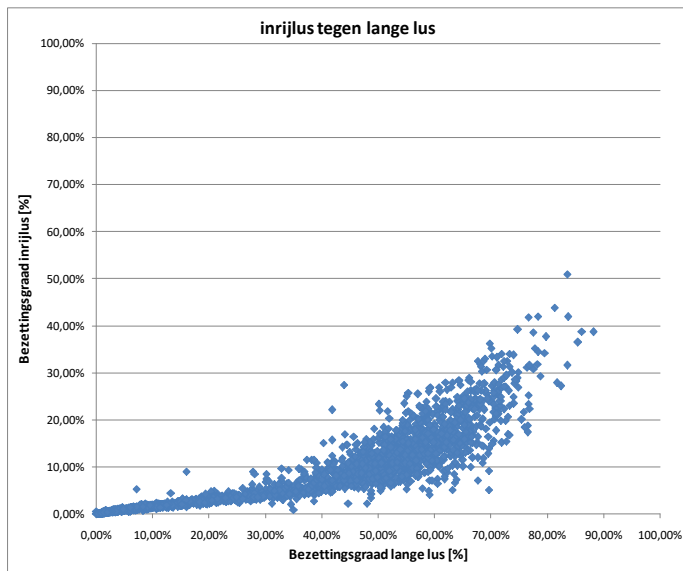
## Bijlage B: Meest geschikte lus voor bezettingsgraad

In het hoofdverslag is de bezettingsgraad van de verschillende lustypen uitgezet tegen de berekende dichtheid, om te bepalen welke van lustypen het meest geschikt is om dichtheden weer te geven. Hier kwam uit dat dit de lange lussen waren. In deze bijlage is steeds de relatie van bezettingsgraden tussen twee van de lustypen weergegeven. In de figuren zijn steeds de bezettingsgraden van twee typen lussen tegenover elkaar gezet voor traject 18.1. In Figuur B1 is dit gedaan voor de koplussen ten opzichte van de andere typen lussen. In Figuur B2 is dit gedaan voor de overige combinaties tussen de lange lussen, inrijlussen en uitrijlussen.

Opvallend is dat de relatie steeds verder afvlakt naarmate de bezettingsgraad van de koplus wordt vergeleken met een lus die steeds verder stroomopwaarts is gelegen.



Figuur B1: Relatie tussen bezettingsgraden koplussen en bezettingsgraden andere typen lussen



Figuur B2: Relatie tussen bezettingsgraden van overige combinaties van lustypen

## Bijlage C: Clustering met RMSE

Functietraject	c1	c2	c3	RMSE voor clustering [vtg/u/rijstrook]
1.1	53,89	26,89	1,12	37,85
1.2	59,05	30,15	1,04	57,54
2.1	64,64	12,47	1,17	37,29
2.2	76,72	24,23	1,04	21,13
3.1	47,32	20,98	1,01	27,85
3.2	47,19	43,64	0,95	16,99
4.1	51,41	56,02	0,90	12,34
4.2	53,11	29,94	0,91	11,91
8.2	60,64	31,18	1,05	15,25
10.1	64,39	18,77	1,06	22,25
10.2	62,99	12,79	1,14	24,66
12.1	49,71	87,14	0,88	13,22
12.2	47,63	75,01	0,85	16,38
13.1	42,33	41,43	0,93	26,98
13.2	36,54	44,56	0,95	16,98
14.1	38,84	19,42	1,00	14,54
14.2	33,27	24,10	1,00	26,89
18.1	25,94	26,01	1,07	22,66
18.2	25,74	25,14	1,05	31,55
20.1	52,24	71,28	0,85	16,71
20.2	49,36	19,62	1,00	15,49
22.1	45,17	30,04	0,96	34,57
22.2	55,29	22,43	0,88	36,63
23.1 2015	42,36	21,89	1,03	24,25
23.2 2015	42,32	15,46	1,04	21,32
26.1	64,63	17,67	1,27	63,03
26.2	60,39	26,61	1,18	32,64
29.1	36,80	28,70	0,90	12,25
29.2	34,72	26,17	0,93	12,78
29.2 zonder laatste vri	34,80	25,41	0,93	12,74
30.1	39,80	15,32	0,89	11,68
30.2	35,90	22,10	0,83	19,97
33.1	44,66	18,88	0,89	22,95
33.2	42,36	71,53	0,90	27,16
34.1	30,17	28,52	1,03	33,35
34.2	42,08	24,30	0,92	29,33
37.1	39,38	23,45	0,92	11,90
37.2	45,79	23,19	0,92	14,66
38.1	38,96	18,20	1,04	30,44
38.2	50,60	20,66	1,00	30,68

Tabel C1: Coëfficiënten voor elk individueel gefit MFD met bijbehorende RMSE van de data ten opzichte van het MFD

In Tabel C1 op de vorige pagina zijn de waardes van de drie coëfficiënten en de RMSE [vtg/u/rijstrook] per gefit MFD van de Functietrajecten weergegeven. In onderstaande Tabel C2 is de achteruitgang in de fit weergegeven door de RMSE voor zowel de gefitte MFD's als de cluster-MFD's per Functietraject weer te geven. De uit deze twee tabellen volgende conclusietabellen met bijbehorende conclusies zijn beschreven in het hoofdverslag.

Traject	cluster	RMSE voor clustering	RMSE na clustering	Traject	cluster	RMSE voor clustering	RMSE na clustering
1.1	1	38	86	20.2	2	15	38
1.2	1	58	147	22.1	4	35	100
2.1	1	37	89	22.2	4	37	45
2.2	1	21	28	23.1 2015	2	24	40
3.1	2	28	66	23.2 2015	2	21	27
3.2	4	17	111	26.1	1	63	244
4.1	3	12	20	26.2	1	33	158
4.2	4	12	50	29.1	4	12	43
8.2	1	15	56	29.2	4	13	53
10.1	1	22	114	29.2 zonder laatste vri	4	13	51
10.2	1	25	112	30.1	4	12	39
12.1	3	13	23	30.2	4	20	122
12.2	3	16	24	33.1	4	23	36
13.1	4	27	58	33.2	3	27	36
13.2	4	17	27	34.1	2	33	53
14.1	2	15	37	34.2	4	29	36
14.2	2	27	67	37.1	4	12	21
18.1	2	23	70	37.2	4	15	18
18.2	2	32	95	38.1	2	30	34
20.1	3	16,7	17,2	38.2	2	31	57

Tabel C2: Verschil RMSE situatie gefit MFD tussen situatie vóór clustering en situatie ná clustering per functietraject

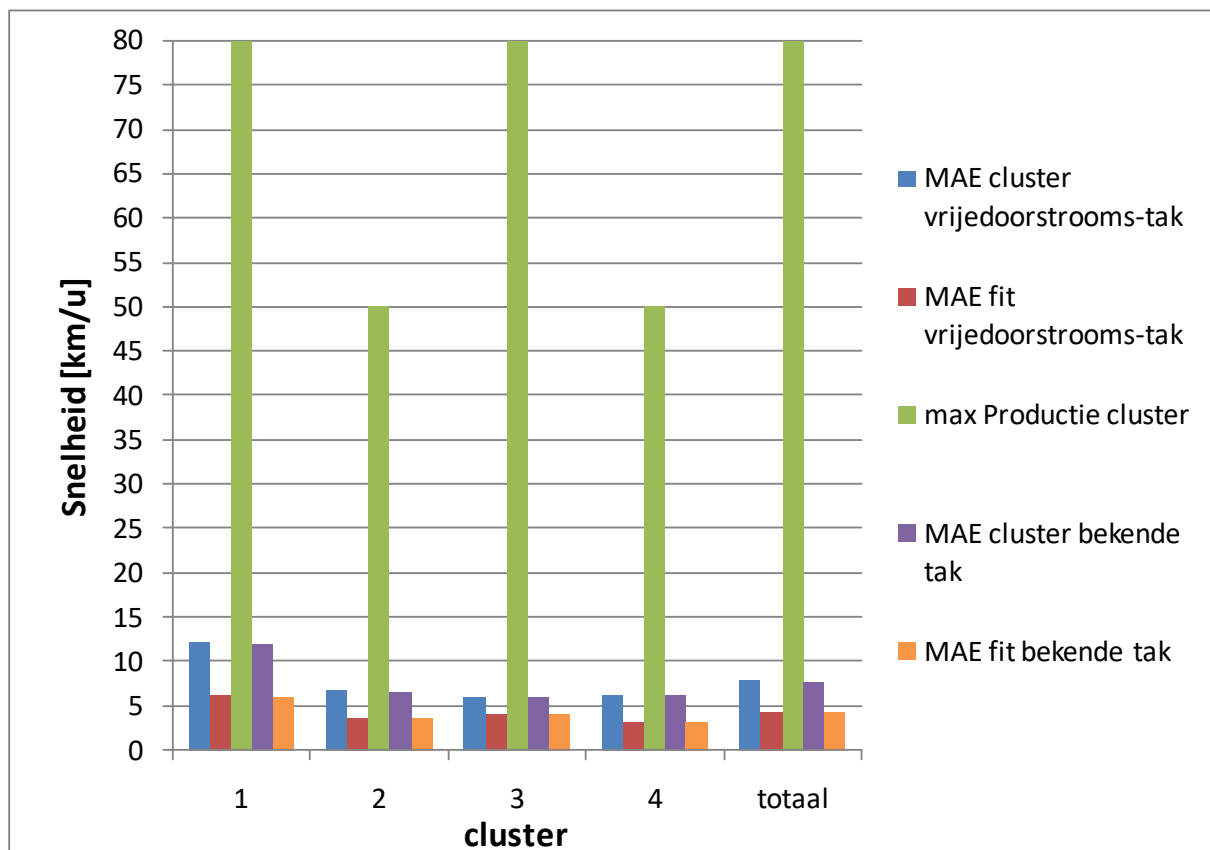


## Bijlage D: Toepassen op andere trajecten

In Tabel D1 is weergegeven wat de gemiddelde absolute fout in de snelheidsschatting is wanneer deze is gebaseerd op intensiteitdata. In het verslag is de foutmaat RMSE gebruikt. Voor niet-wetenschappers is de foutmaat MAE echter beter te begrijpen. De MAE is berekend voor zowel de Vrijedoorstrooms-tak methode als de Bekende-tak methode voor zowel de cluster-MFD's als de gefitte MFD's. Ook is de snelheidslimiet per cluster weergegeven, om de fout relatief mee te kunnen vergelijken. In Figuur D1 eronder zijn een aantal van de MAE-waardes nogmaals grafisch weergegeven.

Cluster	Vrijedoorstrooms-tak				Bekende tak				Maximale snelheid
	Met clustering		Fit		Met clustering		Fit		
	Gem. MAE	$\sigma$	Gem. MAE	$\sigma$	Gem. MAE	$\sigma$	Gem. MAE	$\sigma$	
1	12,1	7,3	6,1	2,9	11,9	7,4	5,8	2,6	80
2	6,7	2,7	3,6	0,9	6,6	2,7	3,5	0,9	50
3	5,9	2,9	3,9	2,2	5,9	2,9	3,9	2,2	80
4	6,2	3,0	3,2	1,2	6,1	2,9	3,2	1,2	50
<b>Totaal</b>	<b>7,8</b>	<b>5,2</b>	<b>4,2</b>	<b>2,2</b>	<b>7,7</b>	<b>5,1</b>	<b>4,1</b>	<b>2,1</b>	<b>80</b>

Tabel D1: MAE snelheid [km/u] bij bekende intensiteit

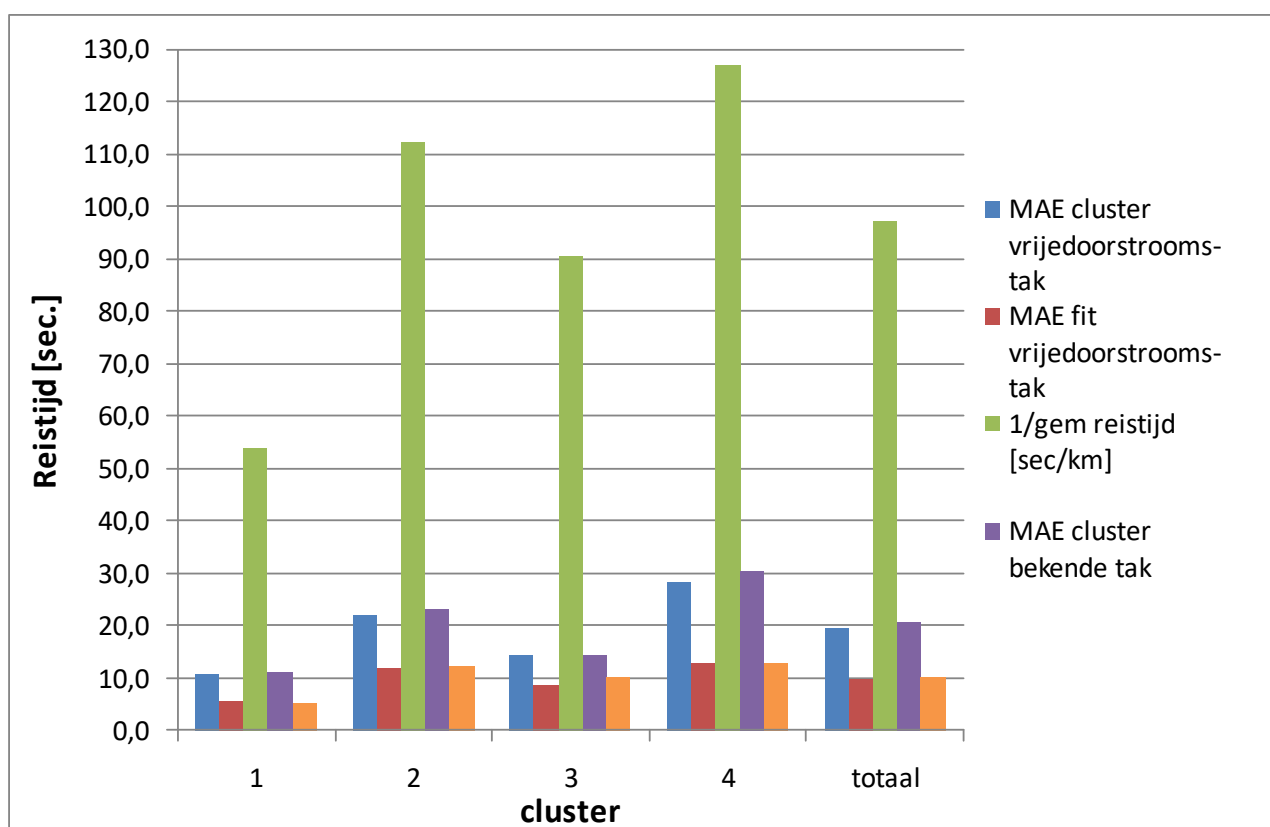


Figuur D1: MAE snelheid [km/u] bij bekende intensiteit

In onderstaande Tabel D2 en Figuur D2 is de foutmaat weergegeven voor reistijdschattingen op basis van bekende intensiteitdata.

Cluster	Vrijedoorstrooms-tak				Bekende tak					
	Met clustering		Fit		Met clustering		Fit			
	Gem. MAE	$\sigma$	Gem. MAE	$\sigma$	Gem. MAE	$\sigma$	Gem. MAE	$\sigma$	Gem.reistijd/km	$\sigma$
1	11	5	6	3	11	5	5	3	54	8
2	22	12	12	6	23	16	12	6	112	26
3	14	7	9	5	14	7	10	9	90	11
4	29	19	13	7	31	25	13	7	127	23
<b>Totaal</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>97</b>	<b>35</b>

Tabel D2: MAE reistijd [sec./km] bij bekende intensiteit



Figuur D2: MAE reistijd [sec.] bij bekende intensiteit

## Bijlage E: Definities van congestie

	Definitie	Auteur
Vraag Capaciteit gerelateerd	Congestie vindt plaats wanneer de verkeersvraag de bestaande capaciteit van het wegennetwerk overschrijdt.	Rosenbloom, 1978
	Congestie is een conditie waarin het aantal voertuigen dat probeert een wegvak te gebruiken op enig moment de bekwaamheid overschrijdt om de verkeersdruk te dragen op een universeel geaccepteerd serviceniveau.	Rothenberg, 1985
	Congestie is een conditie die ontstaat omdat meer mensen op een bepaald tijdstip de behoefte hebben om te reizen, dan het transportsysteem kan verwerken: een eenvoudige situatie van een aanbod overschrijdende vraag.	Het instituut voor Civiel Ingenieurs, 1989 geciteerd in Miller en Li, 1994
	Wanneer het voertuig volume op een transportfaciliteit (straat of snelweg) de capaciteit van de betreffende faciliteit overschrijdt, resulterend in een staat van congestie.	Vuchic en Kikuchi, 1994
	Congestie is de schijnbare weerstand die voertuigen op elkaar uitoefenen, door de snelheid-intensiteit relatie, in condities waarin het gebruik van een transport systeem zijn capaciteit benadert.	ECMT, 1999
	Congestie mag worden gedefinieerd als staat van een verkeersstroom op een transportfaciliteit, gekarakteriseerd door hoge dichtheden en lage snelheden, relatief ten opzichte van enige referentiestaat (met lage dichtheden en hoge snelheden)	Bovy en Salomon, 2002
Vertraging-reistijd gerelateerd	Congestie is een verstoring van het evenwicht tussen de verkeersstroom en de capaciteit waardoor reistijden en kosten toenemen en waardoor gedrag verandert.	Pisaraski, 1990 geciteerd in Miller en Li, 1994
	Verkeerscongestie is reistijd of vertraging die extra wordt opgelopen in vergelijk met normale omstandigheden onder rustige of vrije doorstroom condities.	Lomax en anderen, 1997
	Verkeerscongestie is een conditie van verkeersvertraging (wanneer de verkeersstroom is afgeremd tot onder acceptabele snelheden) doordat het aantal voertuigen dat gebruik probeert te maken van een weg, de verwerkingscapaciteit van het verkeersnetwerk overschrijdt.	Weisbrod, Vary en Treyz, 2001
	Congestie is the aanwezigheid van vertragingen langs een fysieke pad door de aanwezigheid van andere gebruikers.	Kockelman, 2004
	Congestie kan worden gedefinieerd als een situatie waarin verkeer beweegt met snelheden onder de ontworpen capaciteit van een rijweg.	Downs, 2004
	In de transportwereld wordt congestie meestal gerelateerd aan een overmaat van voertuigen op een gedeelte van een weg op een bepaald tijdstip, resulterend in snelheden die langzamer – soms zelfs veel langzamer- zijn dan normale snelheden of “vrijedoorstroms-snelheden”.	Cambridge Systematiek en TTI, 2005
Kosten gerelateerd	Verkeerscongestie refereert naar de oplopende kosten vloeiend uit verstoringen door andere weggebruikers.	VTPI, 2005

Tabel E1: Verschillende definities van congestie, direct vertaald uit Aftabuzzaman [29]

**Table 1: Alternate definitions of congestion**

	<b>Definition</b>	<b>Author</b>
<b>Demand Capacity related</b>	Traffic congestion occurs when travel demand exceeds the existing road system capacity.	Rosenbloom, 1978
	Congestion is a condition in which the number of vehicles attempting to use a roadway at any time exceeds the ability of the roadway to carry the load at generally acceptable service levels.	Rothenberg, 1985
	Congestion is a condition that arises because more people wish to travel at a given time than the transportation system can accommodate: a simple case of demand exceeding supply.	The Institute of Civil Engineers, 1989 cited in Miller and Li, 1994
	When vehicular volume on a transportation facility (street or highway) exceeds the capacity of that facility, the result is a state of congestion.	Vuchic and Kikuchi, 1994
	Congestion is the impedance vehicles impose on each other, due to the speed-flow relationship, in conditions where the use of a transport system approaches its capacity.	ECMT, 1999
	Congestion may be defined as state of traffic flow on a transportation facility characterized by high densities and low speeds, relative to some chosen reference state (with low densities and high speeds).	Bovy and Salomon, 2002
<b>Delay- travel time related</b>	Congestion is an imbalance between traffic flow and capacity that causes increased travel time, cost and modification of behaviour.	Pisaraski, 1990 cited in Miller and Li, 1994
	Traffic congestion is travel time or delay in excess of that normally incurred under light or free-flow travel conditions.	Lomax et al, 1997
	Traffic congestion is a condition of traffic delay (when the flow of traffic is slowed below reasonable speeds) because the number of vehicles trying to use the road exceeds the traffic network capacity to handle them.	Weisbrod, Vary and Treyz, 2001
	Congestion is the presence of delays along a physical pathway due to presence of other users	Kockelman, 2004
	Congestion can defined as the situation when traffic is moving at speeds below the designed capacity of a roadway.	Downs, 2004
	In the transportation realm, congestion usually relates to an excess of vehicles on a portion of roadway at a particular time resulting in speeds that are slower—sometimes much slower—than normal or "free flow" speeds.	Cambridge Systematics and TTI, 2005
<b>Cost related</b>	Traffic congestion refers to the incremental costs resulting from interference among road users.	VTPI, 2005

**Tabel E2: Verschillende definities van congestie volgens Aftabuzzaman [29]**

## Bijlage F: Lijst getoetste prestatie-indicatoren op basis literatuur

### *Zoekpad aanvullend literatuuronderzoek prestatie-indicator*

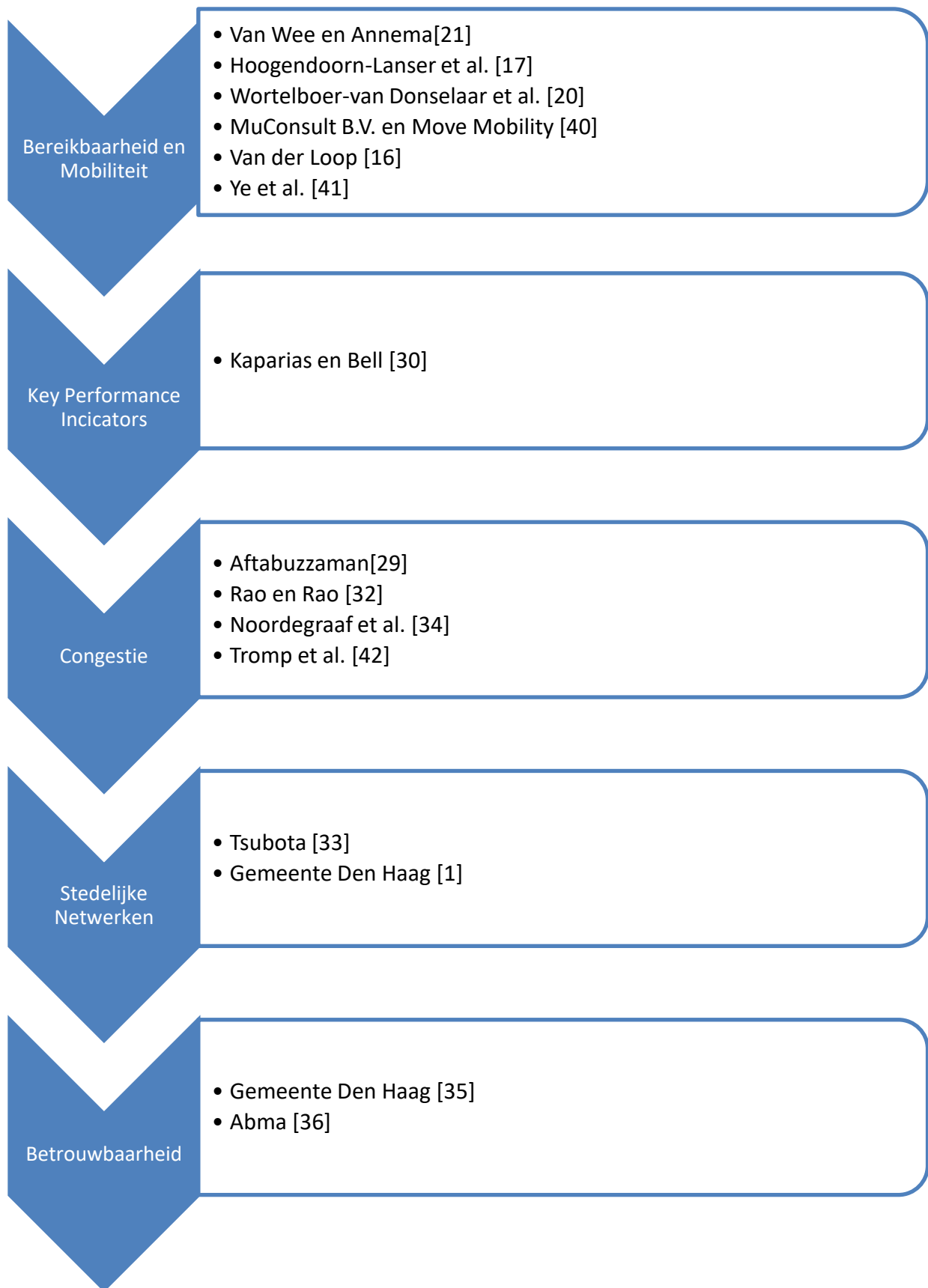
Hier is het zoekpad beschreven dat tijdens het aanvullend literatuuronderzoek naar de prestatie-indicator is gevolgd. Ook is dit zoekpad grafisch weergegeven in Figuur F1 op de volgende pagina. Het zoekpad is ook globaal beschreven gedurende de literaturomkadering uit paragraaf 2.3 en de eerste paragraaf van dit hoofdstuk. In paragraaf 2.3 begon het zoekpad met uit te zoeken waar de prestaties van wegennetwerken zoal in worden uitgedrukt. Dit bleek volgens Van Wee en Annema [21] vooral te gebeuren in een bepaalde mate van Bereikbaarheid of Mobiliteit. In de eerste stap is dus vooral gezocht naar papers waarin beschrijvingen staan hoe de prestaties van wegennetwerken worden uitgedrukt in een bepaalde mate van Bereikbaarheid of Mobiliteit. Hieruit volgde de papers met betrekking tot de Bereikbaarheid van Hoogendoorn-Lanser et al. [17], Wortelboer-van Donselaar et al. [20], MuConsult B.V. and Move Mobility [40] en papers met betrekking tot de Mobiliteit van Van der Loop [16] en Ye et al. [41]. Hierbij vormde Hoogendoorn-Lanser et al. [17] de basis van het in dit onderzoek uitgevoerde onderzoek naar de meest geschikte verkeerskundige prestatie-indicator.

In de tweede stap werd al snel verder gekeken naar waar de prestaties van wegennetwerken nog meer in uit te drukken zijn buiten de bepaalde mate van Bereikbaarheid of Mobiliteit. Er werd daarom gezocht naar de echt belangrijke manieren om prestaties van wegennetwerken uit te drukken, wat het zoekpad bracht op de term “Key Performance Indicators”. In Kaparias en Bell [30] werd een groot aantal manieren genoemd. Echter waren hier veel manieren om bepaalde prestaties uit te drukken die variëren van bijvoorbeeld in termen van van milieuemissies (uitlaatgassen/geluid), ruimtegebruik (netwerkdichtheid), veiligheid (aantal verkeersongevallen en ernst van de ongevallen), leefbaarheid (prettig straatbeeld, genoeg groen, genoeg parkeerplaatsen), comfort (staat van het asfalt) tot verkeerskundige termen (doorstroom). Niet alleen in Kaparias en Bell [30] maar ook in Van Wee en Annema [21] werd al eerder genoemd dat er vele manieren zijn om de prestaties van wegennetwerken op de een of andere manier weer te geven. Om de complexiteit van het probleem enigszins te beperken, heeft dit onderzoek de focus gelegd op het verkeerskundige aspect van de prestaties van het wegennetwerk. Daarbij gaat het dus om de doorstroming ofwel de afwikkeling van het verkeer.

In de derde stap werd daarom gezocht naar een meer verkeerskundige maat waarin de prestaties van wegennetwerken zijn uit te drukken. Hierbij werd de mate van congestie als een geschikt e maat bevonden. Papers die gevonden zijn bij het uitdrukken van de verkeerskundige prestaties in de mate van congestie zijn Aftabuzzaman [29], Rao en Rao [32], Noordegraaf et al. [34] en Tromp et al. [42]. Hierbij ging het echter vooral om congestie op snelwegennetwerken en maar in mindere mate om congestie op stedelijke wegennetwerken.

Vandaar dat in stap vier ook is verder gezocht naar papers waarin ook de congestie op stedelijke wegennetwerken is meegenomen. Natuurlijk hoort hier als eerste de Haagse Nota Mobiliteit [1] bij. Ook Tsubota [33] werd hiermee gevonden. Uit de Haagse Nota Mobiliteit bleek dat vooral reistijdbetrouwbaarheid wel eens een belangrijke rol zou kunnen spelen in het uitdrukken van verkeerskundige prestaties van wegennetwerken.

Vandaar dat in de laatste en vijfde stap ook is gezocht naar reistijdbetrouwbaarheid. Gerelateerd aan de Haagse Nota Mobiliteit werd natuurlijk ook snel Gemeente Den Haag [35] gevonden. Daarnaast worden er in Abma [36] allerlei indicatoren gegeven die iets zeggen over de reistijdbetrouwbaarheid. Na deze stap bleek er al een dusdanig breed scala aan verkeerskundige prestatie-indicatoren gevonden te zijn dat er geen echte andere werden tegengekomen. Vandaar dat dit als de laatste stap van het zoekpad wordt beschouwd. De lijst aan gevonden indicatoren zal na dit literatuuronderzoek middels persoonlijke interviews worden aangevuld.



**Figuur F1: Zoekpad literatuuronderzoek prestatie-indicator**

### ***KiM: Bereikbaarheid anders bekeken [17]***

- Voertuigverliesuren (in uren)
- Voertuigverliesuren \* VOT (in geld) (=Congestion Burden Index)
- Geeneraliseerde kosten: (reiskosten+reistijd \*VOT+betrouwbaarheid van de reistijd+kwaliteit en comfort van de reis)
- Congestiekans

### ***Indicatoren landzijdige bereikbaarheid mainports [20]***

- Aantal voorzieningen/activiteiten die bereikt kunnen worden binnen een bepaalde reistijd
- Aantal voorzieningen/activiteiten die bereikt kunnen worden binnen een bepaalde afstand
- Transport gerelateerd nut: kosten – Baten

### ***De SVIR bereikbaarheidsindicator, handleiding voor toepassing in MIRT en Beter Benutten [40]***

- Bereikbaarheidsscore (BBI-score): gem hemelsbrede snelheid in km/u (min, gem, max)
- Bereikbaarheidsindex (BBI): hemelsbrede gem snelheid tov een norm
- BBI per afstandsklasse (want kortere afstanden ander gedrag dan langere afstanden)

### ***De mobiliteitsindicator – een eerste verkenning [16]***

- Aantal door personen afgelegde km (tov doel of norm)
- Aantal verplaatsingen (per voertuigtype)
- Aantal door voertuigen (of zelfs voertuigtype) afgelegde km
- Aantal verplaatsingen tov capaciteit
- Aantal afgelegde km tov capaciteit
- Economische waarde of gem betalingsbereidheid per gereden km

### ***Mobiliteitsscan CROW [41]***

- SVIR-Bereikbaarheidsindex: reistijd tov gem hemelsbrede reistijd voor een aantal afstandscategorieën en naar richting (door dartbord)

### ***Measuring Traffic Congestion – A Critical Review [29]***

- V/C-ratio (volume tov capaciteit)
- Snelheid tov vrijedoorstrooms-snelheid
- Snelheid tov 85th percentiel gereden snelheden buiten de spits
- Totale vertraging: (reistijd-acceptabele reistijd)\*volume
- Totale vertraging door jaarlijkse vertraging in uren per reiziger
- Mate van vertraging (delay rate) reistijd per km - acceptabele reistijd per km
- Relatieve vertrageningsratio (relative delay rate of congestie index): (reistijd per km - acceptabele reistijd per km)/acceptabele reistijd per km
- Vertrageningsratio (delay ratio): (reistijd per km - acceptabele reistijd per km)/reistijd per km
- LOS gebaseerd op V/C-ratio
- Travel Rate Index: vergelijk reistijd spitsperiode tov reistijd buiten spitsperiode of andere norm
- Roadway Congestion Index: gewogen gemiddelde van gereden voertuigkm (Vehicle Miles Travelled) gedeeld door het aantal km rijstrook van gemeten omgeving
- Congestion Severity Index: totale vertraging in voertuiguren per miljoen gereden voertuigkilometers
- Corridor Mobility Index: (Volume\*gem gereden snelheid)/standaard waarde [in persoonkm per uur]
- Lane Mile Duration Index: sommatie van de producten van kilometers congestie en de duur



### *Measuring Urban Traffic Congestion- A Review [32]*

- Gemiddeld gereden snelheid tov norm
- % van de gereden snelheden tov norm
- Vehicle hours of Travelling
- Person hours of Travel
- Totale jaarlijkse vertraging
- Human perception: waardering weggebruiker
- Roadway Congestion Index (net iets anders) Average Annual Daily Traffic volume (AADT) per hourly capacity. Dagelijks gemiddelde volume per uur over een jaar gemeten/capaciteit
- k-factor: ratio (30uren met grootste volume gedurende een jaar)/AADT
- Average flow of Productie
- Average Density of Accumulatie
- Travel Time Variability (probability density function)
- Percentage onderschrijding van een reistijdnorm
- Vehicle km driven (tov een doel of norm)
- Travel Time Index: gemiddeld gereden snelheid in spits tov gem gereden snelheid buiten spits
- Quality of Traffic Transmission Index: functie van gem snelheid en het aantal en de som van de snelheidsafwijkingen
- Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid

### *Road traffic congestion measurement considering impacts on travelers [42]*

- Transportation Environment Satisfaction (TES): score door enquête: LOS (totale reisomgeving)
- Traffic Congestion Feeling and Frequency (TCFF): congestie frequentie \* gevoel reiziger(in LOS)
- Travel Time Satisfaction (TTS): score door enquête: LOS (reistijdwaardering)

### *Exploring the properties of Macroscopic Fundamental Diagram: Analysing Brisbane Urban Network [33]*

- Travel Rate: reistijd per km
- Section Travel Time: reistijd\*volume\*rijstrooklengte
- Section person travel time: reistijd\*volume\*rijstrooklengte\*bezettingsgraad van een auto (aantal personen per auto)
- Mate van vertraging (persoon minuten): (reistijd-geaccepteerde reistijd)\*volume\*bezettingsgraad van een auto (aantal personen per auto)
- Productiviteit: product van intensiteit [vtg/u/rijstrook] en gem snelheid [km/u] tov een norm
- Ratio van tijd dat een voertuig stilstaat tov de reistijd per km
- Relatie tussen Productie en Accumulatie

### *Assessing Travel Time Reliability in urban networks from a road user perspective [36]*

- Buffer Index: (difference between 95th percentiel reistijd en de gem reistijd) gedeeld door gem reistijd
- Buffer Index 2: (difference between 95th percentiel reistijd en de mediaan van de reistijd) gedeeld door de mediaan van de reistijd
- Planning Time Index: ratio van 95th percentiel reistijd tov vrijedoorstrooms-reistijd (Den Haag)
- Misery Index: (gem van de hoogste 5% reistijden) gedeeld door vrijedoorstrooms-reistijd
- On Time Probability: kans dat reiziger een langere reistijd van x minuten verschillend van de mediaan van de reistijd heeft
- Not Long Probability: kans dat reiziger een niet te lange reistijd heeft, waarbij dit gedefinieerd is als niet meer dan x minuten langer dan de mediaan van de reistijd
- Standaard deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie
- Coefficient Of Variation: standaard deviatie van de reistijd per km gedeeld door gem reistijd per km
- Skew Statistic: ratio van (verschil tussen 90th percentiel van de reistijd en de mediaan van de reistijd) tov (verschil tussen de mediaan van de reistijd en het 10th percentiel van de reistijd)
- Width Statistic: (verschil tussen 90th percentiel van de reistijd en het 10th percentiel van de reistijd) gedeeld door mediaan van de reistijd
- Unreliability Index: kans om een reistijd langer dan x minuten te ervaren (per km)
- Bad Minutes Index: percentage waarin de reistijd boven een bepaalde norm ligt

### *Overig*

- 1/TTI: gereden snelheid/gem vrijedoorstrooms-snelheid
- Reistijd per km tov norm
- Dichtheid tov norm
- Gemiddelde vertraging per km
- Gemiddeld aantal stopmomenten per km
- Gemiddelde stoptijd per km
- Gem Bezettingsgraad lange lus
- Congestion Evaluation Index: reistijd tov gem piekreistijd
- Aantal verplaatsingen ingedeeld naar categorieën van reisafstanden
- LOS gebaseerd op gem gereden snelheid
- LOS gebaseerd op gem vertraging per km
- LOS gebaseerd op gem reistijd per km
- LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)
- LOS gebaseerd op dichtheid (of Accumulatie)
- LOS gebaseerd op gem bezettingsgraad
- LOS gebaseerd op gem aantal stops per km
- % binnen reistijdnorm, voor verschillende voertuigtype

In totaal 86 prestatie-indicatoren



## Bijlage G: Beschrijving criteria

### *Beleidsrelevantie*

*1 Moet een waarde van deur tot deur zijn:* De gehele verplaatsing die een weggebruiker van herkomst tot bestemming maakt. Dat houdt in dat de prestatie wordt bijgehouden vanaf het moment dat de weggebruiker het voertuig start, tot en met het moment dat de weggebruiker geparkeerd is.

*2 Moet een waarde voor een enkele gebruiker zijn:* de prestatie moet een waarde hebben die vanuit het perspectief van de gebruiker is berekend. Het gaat hier om de hoeveelheid moeite die een weggebruiker moet doen om zijn gewenste verplaatsing te maken.

*3 Moet een waarde voor de totale stroom zijn:* de prestatie moet een waarde hebben die vanuit de collectieve verkeersstroom is berekend. Het gaat hier dus om de hoeveelheid moeite die het totaal en/of het gemiddelde volume van weggebruikers moet doen om zijn gewenste verplaatsing te maken.

*4 Samenstelling verkeer (voertuigtype) moet worden meegenomen:* de voertuigcategorie is bekend uit de voertuiglengte categorie of het soort voertuig kan uit de waarde worden gedifferentieerd.

*5 Moet prognoseerbaar zijn (moeten voorspellingen mee gemaakt kunnen worden van effecten):* de waarde biedt de mogelijkheid om een voorspelling te kunnen doen van de toekomstige ontwikkeling van de waarde bij zowel ongewijzigd als ingezet beleid.

*6 Moet te vergelijken zijn met eerder berekende indicatoren om scenario's mee te kunnen vergelijken:* de berekende waarde moet vergelijkbaar kunnen zijn met een aantal van de eerdere meest gebruikte indicatoren. Een aantal van deze indicatoren zoals deze genoemd zijn in Hoogendoorn-Lanser et al. [17] zijn: trajectsnelheden, reistijd, reistijdbetrouwbaarheid, voertuigverliesuren, streefsnelheden en gegeneraliseerde kosten.

*7 Moet de kosteneffectiviteit van beleid zichtbaar maken:* de effecten van beleidsmaatregelen moeten uit te drukken kunnen zijn in een economische waarde, zodat hier kosten-baten analyses mee uitgevoerd kunnen worden.

*8 Moet effecten weergeven van verkeersbeleid (nieuwe infra, aanpassing bestaande infra, etc.):* uit het verschil in waarden van de op voorhand gemeten waarde ten opzichte van de gemeten waarde achteraf, moet de effectiviteit van beleid op het gebied van verkeer en vervoer zichtbaar maken. Onder dit type beleid valt bijvoorbeeld de aanleg van nieuwe infrastructuur, de aanpassing of uitbreiding van bestaande infrastructuur, benuttingsmaatregelen en prijsmaatregelen. Investeringskeuzes in het maken en uitvoeren van verkeers- en vervoersbeleid moeten hiermee helderder worden.

*9 Moet effecten weergeven van ruimtelijk beleid (aanleg nieuwe bedrijventerreinen, woonwijken, etc.):* uit het verschil in waarden van de op voorhand gemeten waarde ten opzichte van de gemeten waarde achteraf, moet de effectiviteit van ruimtelijk beleid zichtbaar maken. Onder dit type beleid valt bijvoorbeeld de aanleg van nieuwe bedrijventerreinen, aanleg van nieuwe woonwijken of een bepaalde manier van stedelijke verdichting. Investeringskeuzes in het maken en uitvoeren van ruimtelijk beleid moeten hiermee helderder worden.

*10 De omvang van congestie moet zichtbaar zijn in termen van tijd:* de waarde moet een bepaalde mate kunnen aangeven van de hoeveelheid tijd die weggebruikers kwijt zijn als gevolg van congestie. Over verschillende tijdstappen heen moet de groei of afname van deze hoeveelheid tijd ook zichtbaar kunnen zijn.

*11 De omvang van congestie moet zichtbaar zijn in termen van ruimte:* de waarde moet een bepaalde mate kunnen aangeven van het weggedeelte waarop weggebruikers hinder van congestie ondervinden. Over verschillende tijdstappen heen moet de groei of afname van de grootte van dit weggedeelte ook zichtbaar kunnen zijn.

### **Operationaliseerbaarheid**

*12 Moet eenvoudig meetbaar zijn (beschikbaarheid, continue inwinning, tegen redelijke kosten, voldoende nauwkeurig en betrouwbaar):* de waarde moet nu en in de toekomst op een eenvoudige manier te verkrijgen zijn door middel van een voldoende databeschikbaarheid, continue data-inwinning en dat tegen redelijke kosten. Het gaat er hierbij ook om dat dit gebeurt bij een voldoende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de te meten/berekenen waarde.

*13 Moet afhankelijk zijn van één gemeten grootheid:* de te meten of berekenen waarde moet slechts afhankelijk zijn van een enkele gemeten grootheid om complexiteit te verkleinen en de mate van begrijpbaarheid te vergroten. Wanneer meerdere grootheden met elkaar worden gecombineerd en uiteindelijk in een waarde worden uitgedrukt wordt het complexer om voor te stellen waar de waarde vandaan komt en hoe deze zich ontwikkelt bij veranderende verkeersomstandigheden of beleidsmaatregelen.

*14 Differentiatie van wegvak tot hele netwerk moet mogelijk zijn:* de waarde is hierbij niet alleen uit te drukken voor op een gedetailleerd schaalniveau als een wegvak, maar kan voor alle tussenliggende schaalniveaus tot aan het hele netwerk aan toe worden uitgedrukt.

*15 Differentiatie naar herkomstgebieden moet mogelijk zijn:* er moet een waarde gemeten/berekend kunnen worden voor bepaalde regio's waarvandaan de weggebruikers komen. Hierdoor wordt het mogelijk om een waarde te hebben voor de locatie waarvandaan de weggebruikers komen.

*16 Differentiatie naar bestemmingsgebieden moet mogelijk zijn:* er moet een waarde gemeten/berekend kunnen worden voor bepaalde regio's waar de weggebruikers naartoe gaan. Hierdoor wordt het mogelijk om een waarde te hebben voor eindbestemmingslocaties van weggebruikers.

*17 Differentiatie naar reismotieven moet mogelijk zijn:* er moet een waarde gemeten/berekend kunnen worden voor bepaalde redenen die de weggebruikers hebben om een reis te maken. Dit kunnen bijvoorbeeld relaties zijn zoals zakelijk, educatief, recreatief, logistiek.

*18 Differentiatie naar wegcategorie binnen netwerk moet mogelijk zijn:* de waarde moet uit te splitsen zijn voor de verschillende categorieën wegen die er binnen het netwerk aanwezig zijn. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan om een indeling naar stroomwegen, wijkontsluitingswegen en erftoegangswegen of naar nationale snelwegen, provinciale wegen en wegen binnen de bebouwde kom.

*19 Differentiatie naar tijdvakken moet mogelijk zijn:* de waarde moet uit te kunnen splitsen zijn naar tijdvakken van verschillende lengtes. Voorbeelden van tijdvakken met verschillende lengtes zijn per minuut, per kwartier, per uur, per dag, per week, per maand en per jaar. Ook gedetailleerdere eisen aan tijdvakken moeten gesteld kunnen worden als een bepaalde spitsperiode, bepaalde dagen van de week en differentiatie naar werkdagen/weekend.

*20 Differentiatie naar modaliteit moet mogelijk zijn:* de waarde moet uit te kunnen splitsen zijn naar verschillende vervoerswijzen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de uitsplitsing naar openbaar vervoer en wegvervoer of zelfs gedetailleerder naar trein, tram, bus, taxi, auto, fiets.

*21 Differentiatie naar personen- en goederenvervoer moet mogelijk zijn:* de waarde moet uit te kunnen splitsen zijn naar de verplaatsing van personen en de verplaatsing van goederen.

*22 Differentiatie naar bestuurders en passagiers moet mogelijk zijn:* de waarde moet uit te kunnen splitsen zijn naar de personen die een voertuig besturen en naar personen die bijrijder zijn in het voertuig.

*23 Moet eenvoudig vertaalbaar zijn naar uitvoering/uitvoeringsprojecten:* de waarde moet eenvoudig te vertalen zijn naar concrete projecten, die vervolgens om uitvoering vragen. Om te kunnen bepalen of de projecten ook daadwerkelijk de gewenste effecten hebben is een eenvoudige vertaalslag naar de praktijk en uitvoering mogelijk.

*24 Moet eenvoudig reproduceerbaar zijn (altijd zelfde rekenmethode, ondanks tijdstap, regio, etc.):* de waarde moet eenvoudig te herleiden en te herberekenen zijn. Dit kan dan door steeds dezelfde rekenmethode te gebruiken en waarbij de gegevens op dezelfde manier worden verzameld. Wel kan nog gedifferentieerd worden naar verschillende tijdstappen en/of regio's.

*25 Moet "real-time" (onmiddellijk) te meten/gebruiken zijn:* de waarde moet real-time kunnen worden gemeten/berekend doordat data onmiddellijk wordt verzameld en eventueel samengevoegd tot een gewenste waarde.

*26 Moet een mate van beschikbare capaciteit bevatten:* de waarde moet een bepaalde grenswaarde van de maximaal te behalen score bevatten. De capaciteitswaarde kan een waarde of procentuele waarde zijn van een maximaal te behalen eigenschap over een bepaalde wegvak, wegcategorie of gebied, al dan niet over een bepaalde tijdsperiode.

### **Communiceerbaarheid**

*27 Grafische weergave op kaart moet mogelijk zijn:* de waarde moet eenvoudig kunnen worden geprojecteerd op een (digitale) kaart van bijvoorbeeld een wegennetwerk of bepaalde regio's.

*28 Grafische weergave met grafieken, diagrammen en tabellen moet mogelijk zijn:* de waarde moet eenvoudig kunnen worden weergegeven door deze te visualiseren met behulp van grafieken, diagrammen en/of tabellen.

*29 Moet aansluiten bij het huidige beeld van bereikbaarheid (bij burger/beleidsmakers/etc.):* de waarde moet aansluiten bij de wijze waarop burgers, politiek en beroepspraktijk tegen de prestaties aankijken. De waarde moet dus passen bij de ideeën en voorstellingen van deze tijd die bij de werkelijke prestaties in praktijk te zien zijn.

*30 Tevredenheid/verwachting van de (weg)gebruiker moet kunnen worden meegenomen:* de waarde moet afgestemd zijn met de mening over de tevredenheid of verwachting van de (weg)gebruiker. De mening moet in de waarde kunnen worden verwerkt om begrip en draagvlak bij de (weg)gebruiker te creëren over de prestaties en om bepaalde maatregelen te kunnen treffen. Het is bedoeld om de (weg)gebruiker op deze manier te betrekken bij de beslissingen van de beroepspraktijk.

31 *Moet een mate van betrouwbaarheid bevatten van de te meten eigenschap*: de waarde moet een bepaalde foutmarge geven, die de onzekerheid van de berekende/gemeten waarde aangeeft. Ook kan het mogelijk zijn in de te berekenen/gemeten waarde slechts een bepaald gedeelte van de data mee te nemen.

32 *Uitdrukken in eenduidige eenheden moet mogelijk zijn*: de waarde die wordt aangegeven is duidelijk gedefinieerd en niet anders op te vatten dan dat het er staat, om te voorkomen dat er discussies ontstaan over de resultaten.

33 *Uitdrukken in een index moet mogelijk zijn (om direct te kunnen vergelijken)*: de waarde moet direct kunnen worden vergeleken ten opzichte van een andere waarde om met deze verhouding de prestaties of de groei/afname in prestaties weer te geven. De vergelijkingswaarde kan bijvoorbeeld een eerder berekende waarde zijn, een waarde voor de capaciteit of een bepaalde gewenste waarde in de vorm van een norm.

34 *Uitdrukken in een absolute waarde moet mogelijk zijn (om een concreet getal te hebben)*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in een concreet opzichzelfstaand getal. Het is dus geen percentage van iets.

35 *Moet uit te drukken zijn in een continue waarde*: de waarde hoeft niet per se uitgedrukt te worden in een heel getal maar kan worden uitgedrukt in elke tussengelegen waarde met decimalen achter de komma.

36 *Moet uit te drukken zijn in een schaalverdeling*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in een aantal classificerings-scores ofwel een aantal categorieën van waarden die dicht bij elkaar liggen.

37 *Moet uit te drukken zijn in aantal voertuigen per tijdseenheid (intensiteit)*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een bepaald punt passeert (intensiteit) of over een bepaald gewogen gedeelte van een weg(en)netwerk) rijdt (Productie).

38 *Moet uit te drukken zijn in aantal voertuigen per afstand (dichtheid)*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in het aantal voertuigen dat op een bepaalde lengte van een weg rijdt. Meestal wordt dit omgerekend naar het aantal voertuigen per kilometer weglengte (dichtheid of Accumulatie).

39 *Moet uit te drukken zijn in snelheid*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in de door de voertuigen gereden snelheid. Dit kan het gemiddelde zijn maar bijvoorbeeld ook een bepaald percentiel van de totale voertuigstroom.

40 *Moet uit te drukken zijn in reistijd*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in de door de weggebruiker gemaakte reistijd als gevolg van de verplaatsing.

41 *Moet uit te drukken zijn in vertraging*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in de door de weggebruiker opgelopen verlies in reistijd gedurende de verplaatsing ten opzichte van de reistijd bij normale omstandigheden (of ten opzichte van gemiddeld).

42 *Moet uit te drukken zijn in afgelegde afstand (per tijdseenheid)*: de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in de door de weggebruiker(s) afgelegde afstand per tijdsperiode.



*43 Moet uit te drukken zijn in bezettingsgraad weg:* de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in een bepaalde mate dat een gedeelte van de weg gebruikt wordt door weggebruikers. Dit kan zowel in een absolute waarde als seconden/minuten/uren als in een percentage ten opzichte van de totale tijd binnen een tijdstap.

*44 Moet uit te drukken zijn in (gegeneraliseerde) kosten:* de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in een bepaalde economische waarde, die aangeeft hoeveel moeite het voor de weggebruiker(s) kost om een bepaalde verplaatsing te maken. Een voorbeeld van de componenten van gegeneraliseerde kosten is de optelsom van reiskosten, reistijd vermenigvuldigd met de waarde van tijd, kwaliteitswaarde ofwel servicewaarde en de waarde van comfort van de verplaatsing.

*45 Moet uit te drukken zijn in wachtrijlengte:* de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in een bepaalde lengte of aantal voertuigen van een stilstaande rij voertuigen op een bepaalde locatie of over een bepaald weggedeelte.

*46 Moet uit te drukken zijn in aantal stops:* de waarde moet kunnen worden uitgedrukt in het aantal keren dat de weggebruiker moet stoppen over een bepaalde afstand of gedurende een bepaald tijdsbestek.



## Bijlage H: Lijst getoetste prestatie-indicatoren op basis indeling

### *Snelheid*

- Snelheid tov vrijedoorstrooms-snelheid
- Snelheid tov 85th percentiel gereden snelheden buiten de spits
- Gemiddeld gereden snelheid tov norm
- % van de gereden snelheden tov norm
- Travel Time Index: gemiddeld gereden snelheid in spits tov gem gereden snelheid buiten spits
- Quality of Traffic Transmission Index: functie van gem snelheid en het aantal en de som van de snelheidsafwijkingen
- Bereikbaarheidsscore (BBI-score): gem hemelsbrede snelheid in km/u (min, gem, max)
- Bereikbaarheidsindex (BBI): hemelsbrede gem snelheid tov een norm
- BBI per afstandsklasse (want kortere afstanden ander gedrag dan langere afstanden)
- $1/TTI$ : gereden snelheid/gem vrijedoorstrooms-snelheid

### *Reistijd en vertraging*

- Totale vertraging: (reistijd-acceptabele reistijd)\*volume
- Totale vertraging door jaarlijkse vertraging in uren per reiziger
- Mate van vertraging (delay rate) reistijd per km - acceptabele reistijd per km
- Relatieve vertragingratio (relative delay rate of congestie index): (reistijd per km - acceptabele reistijd per km)/acceptabele reistijd per km
- Verdragingsratio (delay ratio): (reistijd per km - acceptabele reistijd per km)/reistijd per km
- Totale jaarlijkse vertraging
- Vehicle hours of Travelling
- Person hours of Travel
- Travel Time Variability (probability density function)
- Percentage onderschrijding van een reistijdnorm
- % binnen reistijdnorm, voor verschillende voertuigtype
- Congestion Severity Index: totale vertraging in voertuiguren per miljoen gereden voertuigkilometers
- Buffer Index: (difference between 95th percentiel reistijd en de gem reistijd) gedeeld door gem reistijd
- Buffer Index 2: (difference between 95th percentiel reistijd en de mediaan van de reistijd) gedeeld door de mediaan van de reistijd
- Planning Time Index: ratio van 95th percentiel reistijd tov vrijedoorstrooms-reistijd (Den Haag)
- Misery Index: (gem van de hoogste 5% reistijden) gedeeld door vrijedoorstrooms-reistijd
- On Time Probability: kans dat reiziger een langere reistijd van x minuten verschillend van de mediaan van de reistijd heeft
- Not Long Probability: kans dat reiziger een niet te lange reistijd heeft, waarbij dit gedefinieerd is als niet meer dan x minuten langer dan de mediaan van de reistijd
- Standaard deviatie: gem reistijd per km met standaard deviatie
- Coefficient Of Variation: standaard deviatie van de reistijd per km gedeeld door gem reistijd per km
- Skew Statistic: ratio van (verschil tussen 90th percentiel van de reistijd en de mediaan van de reistijd) tov (verschil tussen de mediaan van de reistijd en het 10th percentiel van de reistijd)
- Width Statistic: (verschil tussen 90th percentiel van de reistijd en het 10th percentiel van de reistijd) gedeeld door mediaan van de reistijd
- Unreliability Index: kans om een reistijd langer dan x minuten te ervaren (per km)
- Bad Minutes Index: percentage waarin de reistijd boven een bepaalde norm ligt
- Reistijd per km tov norm
- Mate van vertraging (persoon minuten): (reistijd-geaccepteerde reistijd)\*volume\*bezettingsgraad van een auto (aantal personen per auto)
- Buffer Index: extra percentage reistijd voor een reiziger om een reis te maken met 95% betrouwbaarheid

- Travel Rate: reistijd per km
- Section Travel Time: reistijd\*volume\*rijstrooklengte
- Section person travel time: reistijd\*volume\*rijstrooklengte\*bezettingsgraad van een auto (aantal personen per auto)
- Gemiddelde vertraging per km
- Voertuigverliesuren (in uren)
- SVIR-Bereikbaarheidsindex: reistijd tov gem hemelsbrede reistijd voor een aantal afstandscategorieën en naar richting (door dartbord)
- Congestion Evaluation Index: reistijd tov gem piekreistijd
- Ratio van tijd dat een voertuig stilstaat tov de reistijd per km
- Gemiddelde stoptijd per km
- Travel Rate Index: vergelijk reistijd spitsperiode tov reistijd buiten spitsperiode of andere norm

### **Volume**

- Corridor Mobility Index: (Volume\*gem gereden snelheid)/standaard waarde [in persoonkm per uur]
- Lane Mile Duration Index: sommatie van de producten van kilometers congestie en de duur
- Roadway Congestion Index (net iets anders) Average Annual Daily Traffic volume (AADT) per hourly capacity. Dagelijks gemiddelde volume per uur over een jaar gemeten/capaciteit
- k-factor: ratio (30uren met grootste volume gedurende een jaar)/AADT
- Vehicle km driven (tov een doel of norm)
- Aantal door personen afgelegde km (tov doel of norm)
- Aantal verplaatsingen (per voertuigtype)
- Aantal door voertuigen (of zelfs voertuigtype) afgelegde km
- Aantal verplaatsingen ingedeeld naar categorieën van reisafstanden
- Average flow of Productie
- Average Density of Accumulatie
- Productiviteit: product van intensiteit [vtg/u/rijstrook] en gem snelheid [km/u] tov een norm
- Roadway Congestion Index: gewogen gemiddelde van gereden voertuigkm (Vehicle Miles Travelled) gedeeld door het aantal km rijstrook van gemeten omgeving

### **Level Of Service**

- LOS gebaseerd op V/C-ratio
- LOS gebaseerd op gem gereden snelheid
- LOS gebaseerd op gem vertraging per km
- LOS gebaseerd op gem reistijd per km
- LOS gebaseerd op intensiteit (of Productie)
- LOS gebaseerd op dichtheid (of Accumulatie)
- LOS gebaseerd op gem bezettingsgraad
- LOS gebaseerd op gem aantal stops per km
- Travel Time Satisfaction (TTS): score door enquête: LOS (reistijdwaardering)

### **Vraag/capaciteit gerelateerd**

- V/C-ratio (volume tov capaciteit)
- Aantal verplaatsingen tov capaciteit
- Aantal afgelegde km tov capaciteit

### **Kosten gerelateerd**

- Voertuigverliesuren \* VOT (in geld) (=Congestion Burden Index)
- Gegeneraliseerde kosten: (reiskosten+reistijd \*VOT+betrouwbaarheid van de reistijd+kwaliteit en comfort van de reis)
- Transport gerelateerd nut: kosten - Baten
- Economische waarde of gem betalingsbereidheid per gereden km

### *Overig*

- Human perception: waardering weggebruiker
- Congestiekans
- Dichtheid tov norm
- Gemiddeld aantal stopmomenten per km
- Gem Bezettingsgraad lange lus
- Relatie tussen Productie en Accumulatie
- Transportation Environment Satisfaction (TES): score door enquête: LOS (totale reisomgeving)
- Traffic Congestion Feeling and Frequency (TCFF): congestie frequentie \* gevoel reiziger(in LOS)
- Aantal voorzieningen/activiteiten die bereikt kunnen worden binnen een bepaalde reistijd
- Aantal voorzieningen/activiteiten die bereikt kunnen worden binnen een bepaalde afstand

In totaal 86 prestatie-indicatoren



## Bijlage I: Enquête prestatie-indicator

### Screenshots enquête

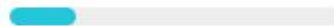
# Verkeerskundige prestatie-indicator

Beste deelnemer,

Allereerst hartelijk dank voor het deelnemen aan deze online enquête. De prestaties van een wegennetwerk kunnen op allerlei manieren worden weergegeven, maar dit onderzoek gaat over de verkeerskundige prestatie (mate van afwikkeling/doorstroom van het verkeer). Er wordt onderzocht welke eigenschappen van belang zijn, om een goede maatstaf te zijn voor de verkeerskundige prestaties van een wegennetwerk.



VOLGENDE



Pagina 1 van 5

Figuur I1: Eerste pagina enquête [basis: 37]



# Verkeerskundige prestatie-indicator

\*Vereist

In welk werkveld bent u actief? (selecteer er 1) \*

- BVM Den Haag
- DSO Den Haag
- IBDH Den Haag
- Bestuur Den Haag
- Gemeente Amsterdam
- Gemeente Rotterdam
- MRDH
- Provincie Zuid-Holland
- Provincie Noord-Holland
- Rijkswaterstaat
- NDW
- KiM
- TNO
- CROW
- Ingenieurs/adviesbureau
- TU Delft

VORIGE

VOLGENDE

Pagina 2 van 5

Figuur I2: Tweede pagina enquête [basis: 37]

# Verkeerskundige prestatie-indicator

## Eigenschappen indicator

### Beleidsrelevantie

In de drie categorieën Beleidsrelevantie, Operationaliseerbaarheid en Communiqueerbaarheid wordt een aantal eigenschappen van verkeerskundige indicatoren genoemd. Het is de bedoeling dat elke eigenschap wordt gewaardeerd in de mate, waarin u vanuit uw werkveld vindt, dat de eigenschap van belang is. Dit doet u, door per eigenschap één van de zes scores aan te vinken:

1= overbodig, 2= onbelangrijk, 3= enigszins onbelangrijk,  
4= enigszins belangrijk, 5= belangrijk, 6= noodzakelijk

	1	2	3	4	5	6
Moet een waarde van deur tot deur zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet een waarde voor een enkele gebruiker zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet een waarde voor de totale stroom zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Samenstelling verkeer (voertuigtype) moet worden meegenomen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet prognoseerbaar zijn (moeten voorspellingen mee gemaakt kunnen worden van effecten)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet te vergelijken zijn met eerder berekende indicatoren om scenario's mee te kunnen vergelijken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet de kosteneffectiviteit van beleid zichtbaar maken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet effecten weergeven van verkeersbeleid (nieuwe infra, aanpassing bestaande infra, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet effecten weergeven van ruimtelijk beleid (aanleg nieuwe bedrijventerreinen, woonwijken, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
De omvang van congestie moet zichtbaar zijn in termen van tijd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
De omvang van congestie moet zichtbaar zijn in termen van ruimte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

VORIGE

VOLGENDE

Pagina 3 van 5

Figuur I3: Derde pagina enquête [basis: 37]

# Verkeerskundige prestatie-indicator

## Eigenschappen indicator

### Operationaliseerbaarheid

Voor Operationaliseerbaarheid geldt hetzelfde.  
Vink per eigenschap één van de zes scores aan:  
1= overbodig, 2= onbelangrijk, 3= enigszins onbelangrijk,  
4= enigszins belangrijk, 5= belangrijk, 6= noodzakelijk

	1	2	3	4	5	6
Moet eenvoudig meetbaar zijn (beschikbaarheid, voldoende betrouwbare data-inwinning, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet afhankelijk zijn van één gemeten grootheid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie van wegvak tot hele netwerk moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar herkomstgebieden moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar bestemmingsgebieden moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar reismotieven moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar wegcategorie binnen netwerk moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar tijdvakken moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar modaliteit moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar personen- en goederenvervoer moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Differentiatie naar bestuurders en passagiers moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet eenvoudig vertaalbaar zijn naar uitvoering/uitvoeringsprojecten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet eenvoudig reproduceerbaar zijn (altijd zelfde rekenmethode, ondanks tijdstap/regio/etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet "real-time" (onmiddellijk) te meten/gebruiken zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet een mate van beschikbare capaciteit bevatten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

VORIGE

VOLGENDE

Pagina 4 van 5

Figuur I4: Vierde pagina enquête [basis: 37]

# Verkeerskundige prestatie-indicator

## Eigenschappen indicator

### Communiceerbaarheid

Voor Communiceerbaarheid geldt hetzelfde.

Vink per eigenschap één van de zes scores aan:

1= overbodig, 2= onbelangrijk, 3= enigszins onbelangrijk,

4= enigszins belangrijk, 5= belangrijk, 6= noodzakelijk

	1	2	3	4	5	6
Grafische weergave op kaart moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Grafische weergave met grafieken, diagrammen en tabellen moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet aansluiten bij het huidige beeld van bereikbaarheid (bij burger/beleidsmakers/etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tevredenheid/verwachting van de (weg)gebruiker moet kunnen worden meegenomen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet een mate van betrouwbaarheid bevatten van de te meten eigenschap	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uitdrukken in eenduidige eenheden moet mogelijk zijn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uitdrukken in een index moet mogelijk zijn (om direct te kunnen vergelijken)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uitdrukken in een absolute waarde moet mogelijk zijn (om een concreet getal te hebben)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in een continue waarde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in een schaalverdeling	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in aantal voertuigen per tijdseenheid (intensiteit)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in aantal voertuigen per afstand (dichtheid)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in snelheid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in reistijd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in vertraging	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in afgelegde afstand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in bezettingsgraad weg	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in (gegeneraliseerde) kosten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in wachtrijlengte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Moet uit te drukken zijn in aantal stops	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

VORIGE

VERZENDEN

Pagina 5 van 5

Figuur 15: Vijfde pagina enquête [basis: 37]

## Verkeerskundige prestatie-indicator

Hartelijk dank voor het invullen van de enquête!

Met deze waarderungen zal worden geanalyseerd hoe belangrijk bepaalde eigenschappen van een verkeerskundige prestatie-indicator in de praktijk worden ervaren en of er verschillen zijn tussen de verschillende werkvelden.

Met vriendelijke groet,

Wouter Schijns  
Afstudeerder Transport & Planning TU Delft  
[wouter.schijns@denhaag.nl](mailto:wouter.schijns@denhaag.nl)

**Figuur 16: Laatste pagina enquête [basis: 37]**

## Respons enquête

Hieronder in Tabel I1 zijn de antwoorden van de deelnemers van de enquête weergegeven. Deze zijn in de bijlagen opgenomen met het oog op onderzoek vanuit andere mogelijke doeleinden. Aangezien de hoeveelheid data is de lettergrootte klein. Daarom wordt aangeraden om Tabel I1 met de inzoomfunctie in de digitale versie te bekijken.

Tijdstempel	werkveld	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46					
1-3-2017 17:07	BVM Den Haag	3	4	5	4	5	6	4	4	5	6	6	5	3	6	5	5	4	4	6	5	4	3	4	4	4	4	5	5	4	3	5	5	4	4	4	4	5	4	4	5	5	6	4	4	4	4	4				
1-3-2017 17:18	Provincie Zuid-Hollar	1	2	6	3	4	6	5	5	6	4	5	5	4	4	4	4	5	6	6	4	2	6	6	2	5	5	5	6	6	5	3	5	2	6	3	4	4	3	5	6	6	6	6	3	2	2	2	2			
1-3-2017 17:42	DSO Den Haag	5	2	4	5	5	2	5	5	5	5	5	1	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	6	2	5	4	4	6	4	4	5	4	4	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
2-3-2017 07:26	Provincie Zuid-Hollar	2	2	5	5	5	6	5	6	6	4	4	6	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	6	5	5	4	4	4	3	5	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
2-3-2017 07:44	Ingenieurs/adviesbur	4	2	4	2	5	5	4	5	4	5	4	5	3	4	4	4	3	2	4	5	3	2	3	5	4	4	5	4	3	3	5	5	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	2	3	2		
2-3-2017 08:07	BVM Den Haag	4	5	2	4	4	4	4	5	5	5	4	6	3	4	3	5	4	4	4	5	3	4	3	3	4	4	5	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	5	5	3	4	3	4	4	4			
2-3-2017 08:16	Ingenieurs/adviesbur	4	2	4	4	5	6	4	6	6	6	4	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	4	2	3	5	4	4	5	4	5	5	4	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
2-3-2017 08:21	Ingenieurs/adviesbur	3	2	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	2	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
2-3-2017 08:25	BVM Den Haag	4	1	5	6	5	3	4	5	5	3	4	2	3	5	5	2	4	5	5	3	1	3	3	2	4	4	4	5	3	6	5	5	5	4	4	3	2	3	2	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2		
2-3-2017 08:30	Provincie Zuid-Hollar	5	3	6	4	4	5	4	6	5	6	3	6	4	5	4	4	5	4	6	6	4	3	4	5	6	4	3	5	4	3	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	6	6	6	3	3	5	4	4			
2-3-2017 08:35	BVM Den Haag	6	5	3	5	5	5	2	4	3	6	2	6	5	3	4	5	5	4	6	6	6	3	4	6	5	5	3	4	6	6	4	6	5	6	3	3	2	2	4	6	6	3	3	1	1	1	1	1	1	1	
2-3-2017 08:55	BVM Den Haag	2	4	5	4	6	6	2	5	5	6	6	5	6	6	6	4	4	6	5	2	5	6	6	5	6	6	5	6	4	5	6	4	5	5	3	6	4	6	6	6	5	5	2	6	6	5	1	6	6		
2-3-2017 09:01	BVM Den Haag	3	2	4	1	4	2	1	1	1	4	3	5	3	4	4	4	1	3	4	2	1	1	2	5	3	4	5	5	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	2	4	1	1	1	1		
2-3-2017 09:35	Ingenieurs/adviesbur	5	4	5	4	6	6	5	6	6	4	4	5	4	2	6	6	4	4	4	4	2	3	6	4	3	4	6	4	3	5	6	4	5	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	4	3	1	1		
2-3-2017 09:48	Ingenieurs/adviesbur	2	3	5	5	5	6	5	4	4	5	3	2	5	4	4	3	3	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	4	3	5	5	5	4	3	4	5	5	3	3	4	5	4	5	5	5	5	5	5		
2-3-2017 10:08	Gemeente Amsterda	4	3	6	5	6	4	4	6	6	6	6	6	1	6	5	5	4	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	1	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
2-3-2017 10:17	NDW	3	4	5	5	5	4	3	5	4	5	5	4	2	5	4	4	3	5	5	3	2	2	6	2	5	6	5	4	2	5	4	4	4	4	5	4	2	3	4	5	5	4	4	5	5	4	4	5	5		
2-3-2017 10:33	BVM Den Haag	3	2	5	5	5	4	6	5	4	5	3	4	3	4	3	5	5	5	4	4	4	4	3	3	4	3	3	5	5	5	4	3	6	5	5	3	3	6	5	5	3	3	6	3	4	5	4	5	4		
2-3-2017 10:50	Provincie Zuid-Hollar	2	2	5	2	4	4	5	5	3	5	2	5	3	4	3	3	1	5	5	5	3	1	5	5	3	1	5	5	3	2	5	5	4	5	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
2-3-2017 11:45	Ingenieurs/adviesbur	2	2	4	5	5	5	4	4	3	5	5	6	4	3	2	2	3	5	4	2	1	3	6	5	2	3	5	1	2	4	4	2	2	1	2	1	2	1	2	3	3	1	3	1	3	3	3				
2-3-2017 13:22	NDW	3	3	6	6	5	3	4	4	4	6	6	4	1	6	4	4	2	6	6	5	4	2	3	6	6	5	5	3	3	4	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
2-3-2017 15:07	BVM Den Haag	6	5	5	6	6	5	2	4	4	4	4	6	4	5	6	4	4	6	4	6	4	6	4	3	4	6	4	3	6	4	5	3	6	6	6	4	4	5	2	2	4	4	3	2	2	2	3	3			
2-3-2017 15:12	Gemeente Amsterda	4	4	6	5	5	6	5	6	6	6	6	1	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	4	5	6	5	5	4	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
2-3-2017 16:56	Gemeente Amsterda	2	2	5	4	4	6	5	5	4	5	5	3	4	2	2	2	4	4	3	2	2	3	2	4	5	6	6	4	4	5	6	6	5	4	4	3	4	4	4	2	3	2	3	2	3	4	5	5			
2-3-2017 17:21	BVM Den Haag	6	5	6	5	4	5	3	4	4	5	3	6	3	5	4	4	3	3	5	2	3	2	4	6	3	3	4	5	6	5	5	5	3	3	4	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3-3-2017 07:07	Rijkswaterstaat	4	2	6	4	5	4	3	6	6	5	5	4	5	3	3	2	5	4	5	3	6	5	5	4	5	6	6	4	5	5	6	6	4	5	5	6	6	5	4	1	1	5	6	5	6	1	4	4	4		
3-3-2017 08:31	Provincie Zuid-Hollar	4	3	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	4	4	3	4	5	4	3	4	5	4	3	4	5	5	5	4	3	5	4	3	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3-3-2017 09:10	Ingenieurs/adviesbur	5	3	4	3	4	4	2	4	6	3	4	4	3	4	6	5	4	5	4	5	4	3	4	4	3	4	5	3	4	4	4	4	5	3	4	4	4	4	5	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	
3-3-2017 09:45	Provincie Zuid-Hollar	5	3	4	6	6	5	5	5	5	4	5	3	5	6	6	5	6	6	6	6	2	3	4	3	3	5	4	5	4	4	3	3	5	4	6	6	5	4	6	6	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	
3-3-2017 13:07	Ingenieurs/adviesbur	5	4	6	6	6	4	5	5	6	2	5	5	5	5	5	4	5	5	4	3	5	5	4	3	5	5	4	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3-3-2017 13:18	BVM Den Haag	4	3	6	6	5	5	4	5	5	4	4	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
3-3-2017 14:42	Ingenieurs/adviesbur	5	2	5	6	5	6	4	4	4	6	5	6	6	5	5	3	6	5	4	3	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5	5	5	6	6	4	6	3	6	6	5	5	4	4	6	6	5	4	3	5	5
3-3-2017 15:05	Ingenieurs/adviesbur	2	1	5	5	6	6	4	6	6	5	5	3	2	4	3	3	3	3	4	5	5	4	4	5	2	4	4	4	4	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
3-3-2017 15:06	Ingenieurs/adviesbur	4	5	3	3	4	5	4	3	3	4	3	5	3	3	3	4	4	4	4	3	2	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3-3-2017 15:52	Ingenieurs/adviesbur	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	6	3	5	5	4	4	4	4	4	5	4	3	3	4	5	4	4	4	5	3	6	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3-3-2017 17:39	Provincie Zuid-Hollar	2	2	5	6	3	2	3	5	5	5	3	5	4	6	6	6	3	4	6	4	4	4	4	6																											

## Wegingsfactoren deelnemersgroepen

Scores dan wel wegingsfactoren van de deelnemersgroepen en voor de Totale beroepspraktijk. Binnen de deelnemersgroep Gemeenten valt zoals in paragraaf 13.1 vermeld ook de groep Gemeente Den Haag. Vandaar dat Totaal een gemiddelde score is van de deelnemersgroepen Gemeenten, Provincies, Landelijk, Ing/adv bureaus en Onderzoek.

	Criteria Beleidsrelevantie										
Deelnemersgroep	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gemeente Den Haag	3,5	2,7	4,9	4,5	4,9	4,7	3,4	4,7	4,2	4,8	3,8
Gemeenten	3,5	2,8	4,9	4,5	4,9	4,8	3,6	4,8	4,4	4,9	3,9
Provincies	3,5	2,5	5,2	4,2	4,6	4,5	4,3	5,0	4,7	5,1	3,9
Landelijk	4,8	3,0	5,2	4,4	4,8	4,8	4,2	4,8	5,2	4,6	4,0
Ing/adv bureaus	4,3	3,3	4,6	4,4	4,8	5,1	3,7	4,7	4,3	5,0	4,1
Onderzoek	3,9	2,2	4,4	4,7	5,1	4,4	3,3	5,0	4,2	5,1	4,8
Totaal	4,0	2,8	4,9	4,4	4,9	4,7	3,8	4,9	4,6	4,9	4,1
Standaardafwijking	0,54	0,42	0,34	0,16	0,18	0,25	0,42	0,13	0,40	0,21	0,36

	Criteria Operationaliseerbaarheid														
Deelnemersgroep	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Gemeente Den Haag	5,4	3,1	4,5	4,4	4,7	3,5	4,2	4,9	4,9	3,5	2,9	3,9	4,8	3,9	4,5
Gemeenten	5,4	2,9	4,6	4,4	4,6	3,6	4,3	4,9	4,9	3,6	3,0	3,9	4,9	4,1	4,6
Provincies	4,9	3,5	4,8	4,5	4,5	3,5	4,2	5,3	5,2	4,2	2,5	4,0	4,8	4,0	4,2
Landelijk	4,8	3,6	4,6	3,8	3,8	3,4	4,2	4,4	4,2	4,6	3,2	4,8	4,8	3,0	4,0
Ing/adv bureaus	4,9	3,1	4,2	4,4	4,4	3,8	3,6	4,8	4,9	3,8	2,7	3,8	4,8	4,1	3,9
Onderzoek	4,9	2,6	4,6	3,9	3,9	3,7	4,6	5,0	5,2	4,0	2,7	3,6	5,4	3,3	3,8
Totaal	5,0	3,1	4,5	4,2	4,3	3,6	4,2	4,9	4,9	4,0	2,8	4,0	4,9	3,7	4,1
Standaardafwijking	0,24	0,42	0,22	0,33	0,38	0,16	0,35	0,33	0,40	0,39	0,27	0,45	0,28	0,50	0,30

	Criteria Communiqueerbaarheid														
Deelnemersgroep	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Gemeente Den Haag	4,9	4,6	4,4	3,6	4,7	4,8	4,8	4,5	4,2	4,1	4,5	3,6	4,2	5,0	4,7
Gemeenten	5,0	4,8	4,3	3,8	4,9	4,9	4,9	4,6	4,4	4,3	4,5	3,7	4,3	5,0	4,7
Provincies	5,0	4,6	4,8	4,2	4,8	4,5	4,3	3,9	4,2	3,9	4,6	4,0	4,7	5,5	5,3
Landelijk	4,6	4,8	5,0	4,2	4,6	5,0	4,6	4,8	4,6	3,8	3,8	3,4	4,8	5,0	4,8
Ing/adv bureaus	4,8	4,9	3,8	3,6	4,9	5,0	4,4	4,2	3,8	3,5	4,4	3,6	4,3	4,6	4,4
Onderzoek	5,1	5,1	4,4	3,3	5,0	5,3	4,2	3,8	3,3	4,1	3,6	3,0	3,4	3,7	3,6
Totaal	4,9	4,8	4,5	3,8	4,8	5,0	4,5	4,3	4,1	3,9	4,2	3,6	4,3	4,7	4,6
Standaardafwijking	0,21	0,19	0,46	0,39	0,15	0,29	0,26	0,43	0,50	0,28	0,47	0,37	0,53	0,68	0,65

	Criteria Communiqueerbaarheid				
Deelnemersgroep	42	43	44	45	46
Gemeente Den Haag	3,7	4,4	2,9	3,4	3,4
Gemeenten	3,8	4,4	3,1	3,5	3,6
Provincies	3,7	4,3	4,3	3,7	3,5
Landelijk	4,4	3,4	4,0	3,8	3,6
Ing/adv bureaus	3,5	3,9	3,1	3,8	3,4
Onderzoek	3,1	2,9	3,1	2,9	3,0
Totaal	3,7	3,8	3,5	3,5	3,4
Standaardafwijking	0,47	0,63	0,58	0,39	0,25

Tabel I2: Scores en wegingsfactoren met bijbehorende standaarddeviatie criteria per deelnemersgroep en voor de Totale beroepspraktijk



## Bijlage J: Contact informatie

### Commissie

*Prof.dr.ir. Serge P. Hoogendoorn (voorzitter)*

Organisatie: Technische Universiteit Delft  
Faculteit: Civil Engineering & Geosciences  
Sectie: Operations & Management of Transport Systems  
Adres: Stevinweg 1, room 4.09  
2628 CN Delft  
Telefoon: +31 (15) 27 85475  
e-mail: s.p.hoogendoorn@tudelft.nl

*Dr. Victor L. Knoop*

Organisatie: Technische Universiteit Delft  
Faculteit: Civil Engineering & Geosciences  
Sectie: Operations & Management of Transport Systems  
Adres: Stevinweg 1, room 4.37  
2628 CN Delft  
Telefoon: +31 (15) 27 88413  
e-mail: v.l.knoop@tudelft.nl

*Ir. Jasper Vries*

Bedrijf: Gemeente Den Haag  
Directie: Dienst Stadsbeheer  
Afdeling: Bereikbaarheid en Verkeersmanagement  
Adres: Spui 70  
2511BT Den Haag  
Telefoon: 06-83638691  
e-mail: jasper.vries@denhaag.nl

*Dr. Martijn E. Warnier*

Organisatie: Technische Universiteit Delft  
Faculteit: Techniek Bestuur en Management  
Sectie: Systems Engineering, Policy Analysis & Management  
Adres: Jaffalaan 5, room B1.070  
2628 BX Delft  
Telefoon: +31(15)2782232  
e-mail: m.e.warnier@tudelft.nl

### Afstudeerder

*Wouter A.H.J. Schijns*

Studie: Civil Engineering  
Master Track: Transport & Planning  
Adres: Abdisstraat 5  
4841 HE Prinsenbeek  
Telefoon: 06-44023264  
e-mail: w.schijns@live.nl  
Studentennummer: 4076435