
MFD op trajectniveau

Een empirische analyse

C.A. van Geffen
R.P. van Denderen

29-6-2011

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
1.1	Hoofdvraag	2
1.2	Deelvragen.....	2
2	Situatieschets	3
2.1	Omgeving.....	3
2.2	Beschikbare data	5
3	Simulatie.....	8
3.1	Bepalen MFD	8
3.2	Simulatie puntenwolk.....	8
3.3	Simulatie fitten aan data	10
3.4	Gebruikte grootheden.....	11
4	Resultaten	12
4.1	Simulatie puntenwolk.....	12
4.2	4 oktober	13
5	Discussie	18
5.1	Trambanen	18
5.2	Zijwegen	18
5.3	Opstelstroken	18
5.4	Data	18
5.5	Toepasbaarheid vergroten	18
6	Conclusie	19
7	Literatuurlijst	20

1 Inleiding

Het doel van dit onderzoek is het vat krijgen op een Macroscopisch Fundamenteel Diagram op trajectniveau, zodat uiteindelijk mogelijk met dit diagram op trajectniveau geregeld kan worden. Hierbij is het noodzakelijk om te weten welke data nodig is voor het maken van dit diagram. Daartoe zijn de volgende vragen opgesteld:

1.1 Hoofdvraag

Hoe ziet het Macroscopisch Fundamenteel Diagram eruit op trajectniveau en welke data is benodigd om dit diagram te vormen?

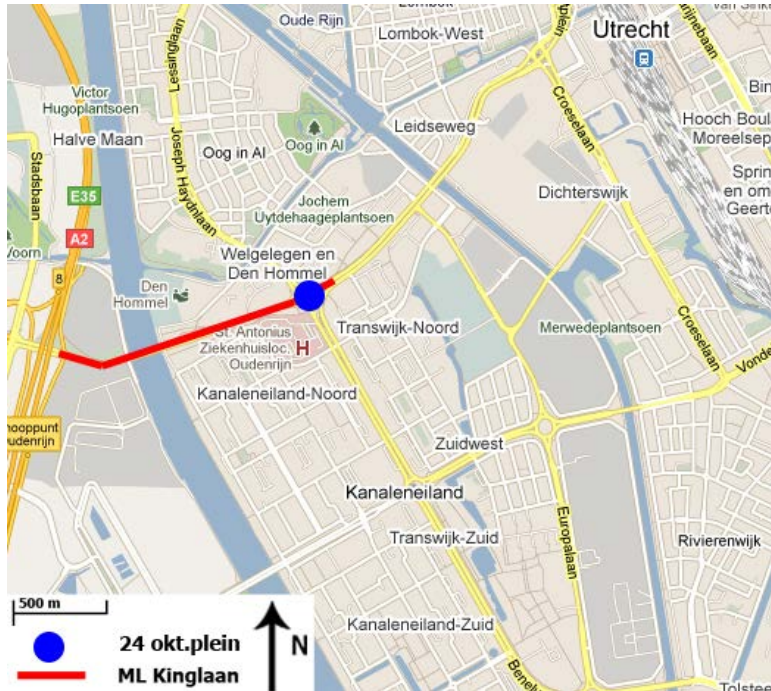
1.2 Deelvragen

- Wat is de vorm van het MFD op trajectniveau en komt deze vorm overeen voor verschillende trajecten?
Door de, uit de data, verkregen waarden voor de grootheden op de assen te plotten, zal een vorm voor het MFD op traject niveau worden verkregen.
- Welke data is nodig voor het vormen van het MFD?
Voor een fundamenteel diagram zijn intensiteiten en reistijden/snelheden noodzakelijk. De vraag is dan ook of de beschikbare data voldoende is om een MFD te vormen.

2 Situatieschets

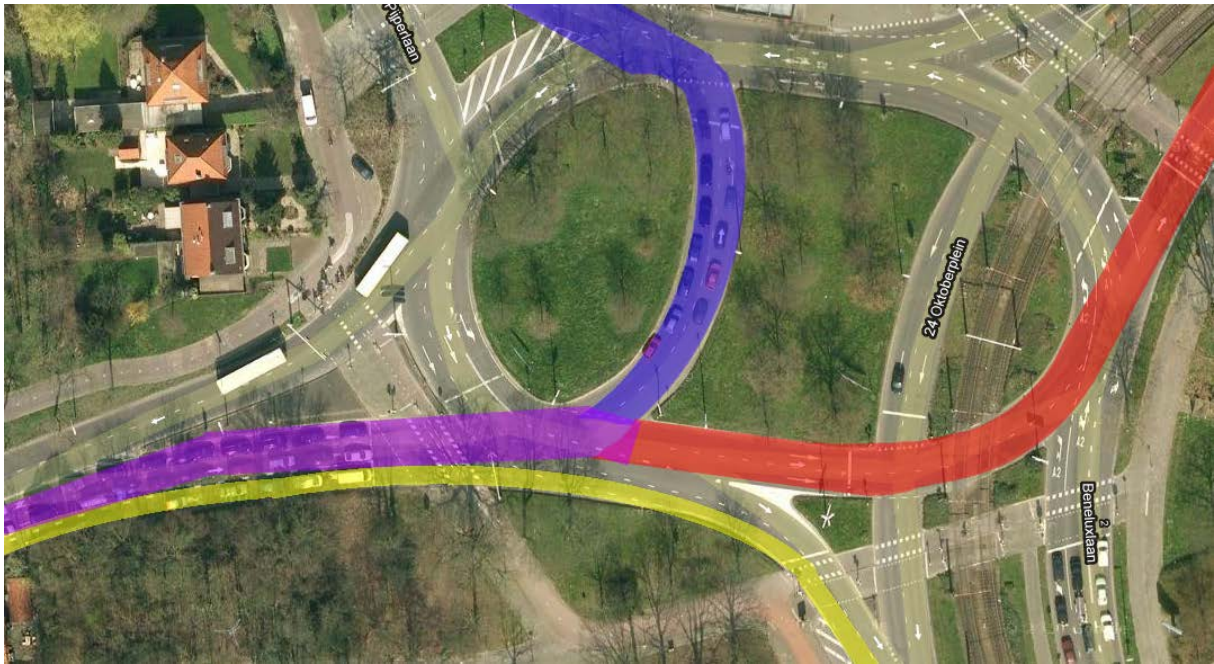
2.1 Omgeving

In dit onderzoek is uitgegaan van de Martin Luther Kinglaan, een stadsweg in Utrecht. Het traject en het 24 Oktoberplein is in de winter van 2010 opnieuw ingedeeld en aangepast. De weg is aangegeven in Figuur 1.



Figuur 1 – Overzichtskartaal

De ML Kinglaan is belangrijk voor de ontsluiting van de Utrechtse binnenstad. Deze weg verbindt de rijksweg A2 met het centrum. De weg bestaat uit 2x2 rijstroken en heeft geen zijwegen tot aan het 24 Oktoberplein. Ter plaatste van het 24 Oktoberplein snijdt de ML Kinglaan met een belangrijke stroomweg. Om deze kruising goed te laten verlopen zijn hier verkeerslichten aanwezig. Omdat het plein alle richtingen zwaar belast wordt, ontstaan er vaak lange wachtrijen voor de verkeerslichten. Hierdoor kan er grote vertraging ontstaan. In Figuur 2 is een overzicht van het plein weergegeven. In dit figuur zijn de afslaande richtingen aangegeven met blauw en geel en de doorgaande hoofdrichting met rood. Belangrijk in dit figuur is dat de opstelstrook van het rechts afslaande verkeer (geel) gescheiden is van de andere twee richtingen. Deze opstelstrook is ongeveer 400 meter lang en het traject waarover gemeten wordt, te zien in Figuur 3, is 1 kilometer lang. De gele route leidt naar een woonwijk en een druk winkelcentrum. De rode route leidt naar het centrum en de blauwe naar een woongebied.



Figuur 2 - Overzicht 24 Oktoberplein



Figuur 3 – Meettraject ML Kinglaan

2.2 Beschikbare data

2.2.1 Meetperiode

Er is gekozen voor twee meet dagen. Daarnaast is er rekening gehouden met het feit dat in de winter van 2010 weersomstandigheden voor grote overlast zorgden op de weg en dat er na winter van 2010 werkzaamheden waren op het 24 Oktoberplein. Het zijn twee werkdagen: maandag 4 oktober en dinsdag 5 oktober. Dit blijken twee dagen te zijn die een duidelijk beeld geven van het probleem.

2.2.2 Herkenningscamera's

Zowel de reistijden als de intensiteiten worden bepaald aan de hand van kentekenherkenningscamera's. Deze delen de motorvoertuigen in verschillende categorieën: Openbaar Vervoer, Lichte Voertuigen, Middelzware Voertuigen en Zware Voertuigen

Reistijden

De data van de reistijden zijn vastgelegd per kwartier. De reistijden van motorvoertuigen die het gehele traject hebben afgelegd, worden gemiddeld per kwartier.

Intensiteiten

De voertuigen die het traject inrijden worden geteld met een tijdstap van een kwartier. De intensiteiten worden ingedeeld in dezelfde voertuigklassen als de reistijden. Daarnaast zijn er bij de intensiteiten per dag herkenningspercentages bekend. Hiermee kan het werkelijke aantal voertuigen dat het meetpunt is gepasseerd worden bepaald met als aanname dat deze percentages constant zijn over de dag. Voor het berekenen van de totale intensiteit worden de voertuigkassen naar personenauto equivalenten omgerekend.

2.2.3 Cyclustijden van verkeerslichten

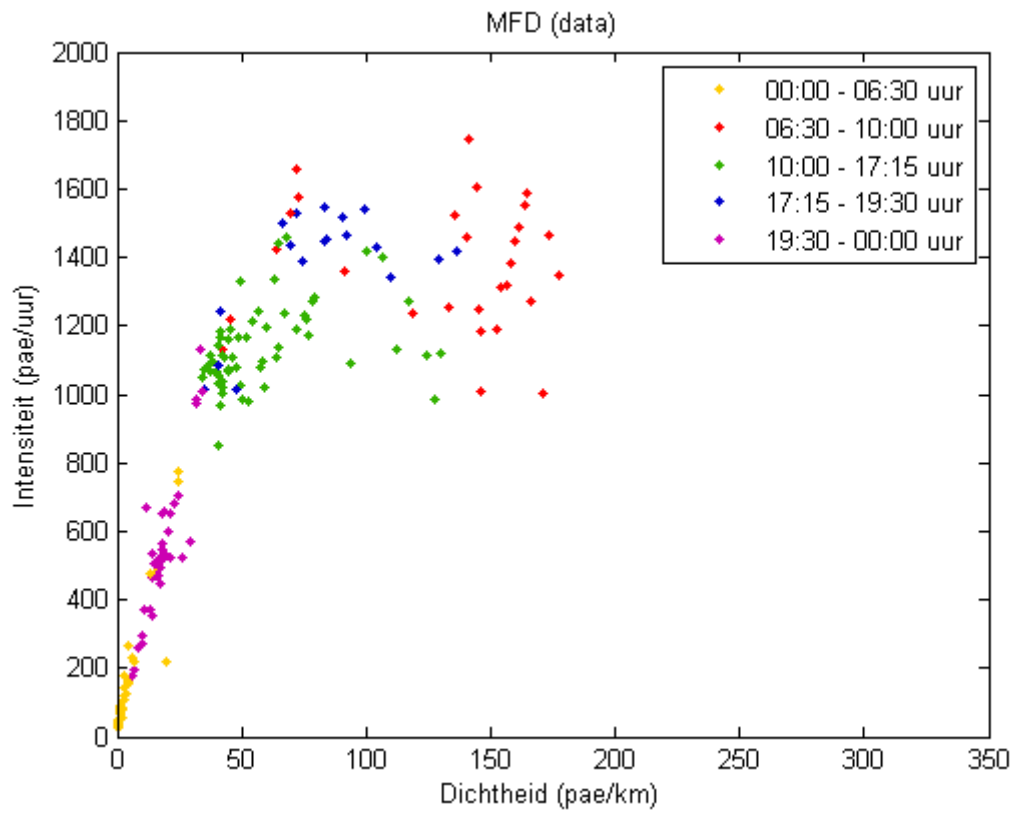
Voor het 24 Oktoberplein zijn logbestanden van de verkeerslichten bij gehouden. Hiermee kunnen de relatieve groentijden en cyclustijden van het plein worden bepaald.

2.2.4 Verwerking data

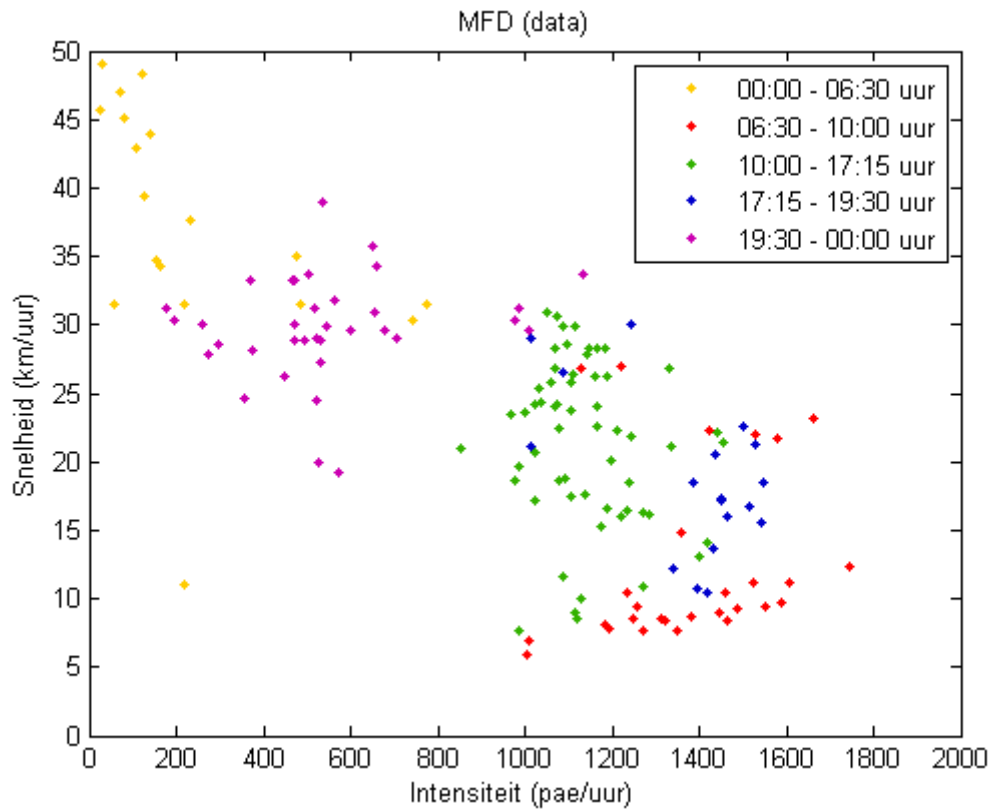
Voor het maken van het MFD is er gekozen voor een intensiteit/dichtheid diagram. Er is hiervoor gekozen omdat hiermee alle eigenschappen van het traject duidelijk worden. Daarnaast is er uit de literatuur bekend hoe een intensiteit/dichtheid diagram verloopt wanneer er een VRI op het traject aanwezig is. Voor het maken van de intensiteit/dichtheid diagram zijn de gemeten intensiteiten per kwartier geëxtrapoleerd naar een uur. Voor het bepalen van de dichtheid is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$q = k * \bar{u}$$

De gemiddelde snelheden zijn berekend door de afstand tussen de twee meetpunten te delen door de reistijden. Met deze snelheden en de intensiteiten zijn de dichtheden bepaald. Het volgende diagram is hieruit voortgekomen:



Figuur 4 - Intensiteit/dichtheid diagram



Figuur 5 - Snelheid/intensiteit diagram

In Figuur 4 is een punten wolk van de data weergegeven. Er is duidelijk te zien dat de wolk horizontaal afvlakt. Deze lijn wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van verkeersregelininstallaties (X. Wu, H. X. Liu, N. Geriminis, 2011). Opvallend in dit figuur is de grote spreiding rond deze horizontale lijn. De punten zijn gekleurd om aan te geven op welk moment van de dag het verkeer gaat. Er is duidelijk te zien dat er vooral 's ochtends problemen ontstaan. In Figuur 5 zijn dezelfde data te zien maar nu zijn de snelheden tegen de intensiteiten uitgezet.

3 Simulatie

3.1 Bepalen MFD

De relatie tussen intensiteit en dichtheid wordt beschreven met een MFD. De verwachte vorm van het MFD voor een traject met daarin een VRI betreft een driehoek met een afgeknotte punt (X. Wu, H. X. Liu, N. Geriminis, 2011). De ligging van de lijnen die het MFD dat past bij de uit de data gevonden puntenwolk vormen, zijn bepaald met behulp van de beschikbare data.

3.1.1 Stijgende lijn

De helling van de stijgende lijn is gelijk aan de vrije snelheid over het traject. Deze snelheid kan benaderd worden door de verwachtingswaarde te bepalen van de reistijd van één motorvoertuig (MVT) waarbij de wachtrij voor de VRI gelijk is aan nul. Dit komt voor bij hele lage intensiteiten. In deze simulatie wordt voor zoveel mogelijk aankomstmomenten bij de VRI (elke seconde) de verwachte reistijd bepaald. Daarbij is aangenomen dat alle motorvoertuigen, als ze rijden, met een snelheid van 50 km/uur rijden. Dit betreft de wettelijke maximum snelheid op dit traject. De verwachte reistijd is afhankelijk van:

- De relatieve groentijd en cyclustijd. De waarden voor de relatieve groentijd en de cyclustijd zijn de gewogen gemiddelden per kwartier van alle groentijden en cyclustijden naar de inverse intensiteit in het desbetreffende kwartier.
- De kleur van de lamp van de VRI op moment van aankomst van het motorvoertuig bij de VRI.

Het gemiddelde van de te verwachten reistijden bij verschillende aankomstmomenten geeft de verwachtingswaarde van de reistijd van een motorvoertuig bij hele lage intensiteiten.

3.1.2 Horizontale lijn

De waarde van de intensiteit horende bij de horizontale lijn betreft de afrijcapaciteit vermenigvuldigd met het maximum van de uit de data behaalde relatieve groentijden. De afrijcapaciteit is afhankelijk van de afrijtijd. De afrijtijd is de volgtijd tussen twee opeenvolgende motorvoertuigen die wegrijden bij de VRI. De afrijtijd is een variabele aan de hand waarvan de puntenwolk verkregen uit de simulatie gefit zal worden aan de puntenwolk verkregen uit de data.

3.1.3 Dalende lijn

De helling van de dalende lijn komt overeen met de helling van de dalende lijn in een niet-afgeknotte MFD. Een niet-afgeknotte MFD geldt voor een traject zonder VRI. De helling van deze dalende lijn komt voort uit twee punten waar de lijn doorheen loopt:

- Een punt met als dichtheid de kritische dichtheid en als intensiteit de afrijcapaciteit. De kritische dichtheid is gevonden door de afrijcapaciteit te delen door de vrije snelheid.
- Het andere punt volgt uit een intensiteit met een waarde gelijk aan nul en een dichtheid gelijk aan de stremmingsdichtheid.

3.2 Simulatie puntenwolk

Een simulatie van de puntenwolk aan tegen dichtheden uitgezette intensiteiten moet laten zien dat de uit de data verkregen puntenwolk te verklaren is met eenvoudige fysische processen.

3.2.1 Intensiteiten

Voor de simulatie worden de intensiteiten afkomstig uit de data gebruikt. Aangenomen wordt dat de intensiteit net voor de VRI gelijk is aan de lokaal gemeten waarde.

3.2.2 Dichtheden

Voor het bepalen van de dichtheden is gebruik gemaakt van de relatie:

$$q = k * \bar{u}$$

De gemeten intensiteiten betreffen 15-minuten waarden, zodat voor het bepalen van de dichtheden waarden voor de gemiddelde snelheid van alle motorvoertuigen over 15 minuten genomen zijn. Deze gemiddelde snelheden zijn bepaald door de reistijden van de motorvoertuigen te modelleren. De reistijd is daarbij een functie van het aantal motorvoertuigen in de wachtrij bij aankomst aan de achterkant van deze wachtrij en de relatieve groentijd.

3.2.3 Reistijden modelleren

Het model dat gebruikt is voor het bepalen van de reistijden van de motorvoertuigen is gebaseerd op verticale wachtrijen die zich direct voor de VRI opbouwen. De term “verticaal” geeft hierin aan dat deze wachtrijen geen fysische lengte hebben. De aankomsten aan de achterkant van de wachtrij spelen zich af in hetzelfde punt als de vertrekken aan de voorkant van de wachtrij, namelijk direct voor de VRI. De aankomst van motorvoertuigen wordt bepaald door de volgtijdverdeling. De vertrek tijdstippen zijn bepaald aan de hand van de relatieve groentijden en cyclustijden verkregen uit de data. Voor het bepalen van reistijden van motorvoertuigen zal uitgegaan worden van één rijstrook. Daarbij wordt aangenomen dat er geen wisselwerking is van motorvoertuigen op verschillende rijstroken en dat er nagenoeg geen snelheidsverschillen bestaan tussen deze motorvoertuigen.

Volgtijdverdeling

Voor de volgtijdverdeling is een exponentiële verdeling aangehouden. De input voor de volgtijdverdeling betreft de 15-minuten waarden voor de intensiteit per rijstrook vermenigvuldigd met een turnfactor. Deze turnfactor geeft aan welke fractie van het gemeten verkeer bij de VRI richting rechts afslaat. Daarbij wordt aangenomen dat motorvoertuigen die rechts afslaan de opstelstrook direct kunnen bereiken ongeacht de lengte van de wachtrij. De waarde van de turnfactor verschilt voor de verschillende gedefinieerde dagdelen en betreft, net als de afrijtijd, een variabele die gefit zal worden aan de hand van de data.

Cyclustijden en relatieve groentijden

De in de simulatie gebruikte relatieve groentijden en cyclustijden betreffen gemiddelden over 15 minuten. In de nacht is de VRI uitgeschakeld en voor de desbetreffende kwartieren wordt een relatieve groentijd van 1 aangehouden, omdat de VRI reageert op naderende motorvoertuigen.

Reistijd willekeurig motorvoertuig

Het model geeft de te verwachten reistijd van een willekeurig motorvoertuig in een bepaalde cyclus. Een cyclus in een bepaald kwartier wordt daarbij gekenmerkt door een relatieve groentijd, een cyclustijd en een intensiteit horende bij het desbetreffende kwartier. De te verwachten reistijd van een willekeurig motorvoertuig in een bepaalde cyclus is vervolgens afhankelijk van:

- De kleur van de lamp van de VRI op het moment van aankomst van het motorvoertuig bij de VRI.
- De afrijtijd.
- De grootte van de verticale wachtrij op het moment van aankomst bij de VRI.

Voor het bepalen van de reistijd is aangenomen dat alle motorvoertuigen, als ze rijden, met een snelheid van 50 km/uur rijden en dat de door de reactietijd van het voorste motorvoertuig niet gebruikte groentijd gecompenseerd wordt door de tijd dat de VRI na groen op oranje staat.

3.2.4 Gemiddelde snelheid

De gemiddelde reistijd voor een bepaalde cyclus wordt bepaald door de verwachte reistijden van alle motorvoertuigen die volgens het aankomstenpatroon binnen de desbetreffende cyclus aan de achterkant van de wachtrij arriveren te middelen. Door dit proces te herhalen voor het aantal cycli dat in een bepaald kwartier plaatsvindt, wordt de gemiddelde reistijd over het desbetreffende kwartier bepaald. De lengte van de verticale wachtrij aan het einde van een cyclus geldt daarbij als input voor de lengte van de wachtrij aan het begin van de volgende cyclus. De gemiddelde reistijd over een bepaald kwartier is 100 keer bepaald. Deze waarden worden vervolgens gefit aan een normale verdeling, waaruit de verwachtingswaarde van de gemiddelde reistijd voor het desbetreffende kwartier volgt. Deze laatste stap verkleint de willekeur van de verkregen waarde voor de gemiddelde reistijd. Deze willekeur ontstaat door het gebruik van een enkele waarde uit een exponentiële verdeling. Er is voor gekozen de gemiddelde reistijd 100 keer te bepalen omdat de over de dag gemiddelde standaardafwijking van de normale verdeling dan gelijk is aan 1,5 km/uur. De gemiddelde snelheid kan daarna bepaald worden door de trajectlengte te delen door de verwachtingswaarde van de gemiddelde reistijd.

3.3 Simulatie fitten aan data

De grootheden in de simulatie die in grootte kunnen worden gevarieerd om de verkregen puntenwolk te fitten aan de puntenwolk verkregen uit de data, zijn de turnfactoren en de afrijtijd. Het vergroten van de afrijtijd zorgt ervoor dat de reistijd bij alle intensiteiten groter wordt. Het vergroten van een van de turnfactoren heeft tot gevolg dat de gemiddelde reistijd van de motorvoertuigen in het desbetreffende deel van de dag kleiner wordt. Door de turnfactoren ten opzichte van elkaar te vergroten en te verkleinen kunnen de ligging en de vorm van de puntenwolk beïnvloed worden.

3.4 Gebruikte grootheden

Een overzicht van de in de simulatie gebruikte grootheden is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 - Overzicht in simulatie gebruikte grootheden

Grootheid/factor	Vrekgren uit
Snelheid rijdende motorvoertuigen	Aanname
Stremmingsdichtheid	Aanname
Intensiteit	Data
Relatieve groentijd	Data
Cyclustijd	Data
Afrijtijd	Fitten
Turnfactor	Fitten

4 Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten uit de simulatie worden vergeleken met de data.

4.1 Simulatie puntenwolk

4.1.1 MFD diagrammen

In Figuur 6 (pagina 14) zijn de intensiteiten en dichtheden afkomstig uit de data tegen elkaar uitgezet. De data is daarbij opgedeeld in dagdelen. Uit Figuur 6 is op te maken dat vooral in de ochtend grote vertragingen ontstaan. De zwarte lijnen geven de verwachting van de ligging van het MFD aan. Deze zijn bepaald aan de hand van de simulatie behandeld in paragraaf 3.1. Wanneer de punten verbonden worden is te zien dat de puntenwolk boven de lijn begint en rechtsom onder de zwarte lijn uitkomt. In Figuur 6 is ook te zien dat de gemeten waarden voor de intensiteit in sommige gevallen groter is dan de verwachte capaciteit van het traject. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de gemeten intensiteiten aan het begin van het traject onafhankelijk zijn van de afrijcapaciteit bij de VRI, zolang de wachtrij dit meetpunt nog niet bereikt heeft. In Figuur 7 toont de puntenwolk afkomstig uit de simulatie. Om Figuur 6 en Figuur 7 eenvoudig met elkaar te kunnen vergelijken is ook in dit figuur de verwachte MFD geplot. Er is duidelijk te zien dat de vorm en ligging van de beide puntenwolken overeenkomt. De waarden voor de intensiteit zijn in beide grafieken gelijk aangezien deze in beide gevallen uit de data afkomstig zijn. De bijbehorende dichtheden zijn bepaald aan de hand van de reistijden (paragraaf 3.2). De reistijden bepalen dan ook het verschil in ligging van de individuele punten.

4.1.2 Reistijden

In Figuur 8 en Figuur 9 zijn de reistijden geplot. De horizontale gele lijn in Figuur 9 is het gevolg van het op 1,0 stellen van de relatieve groentijd in de nacht. Deze lijn komt daarbij redelijk overeen met de data. Een belangrijke overeenkomst tussen beide figuren is dat de pieken in de grafieken op ongeveer dezelfde tijdstippen voorkomen. Ook is de grootte van de reistijden in dezelfde orde van grootte. Het belangrijkste verschil is dat de simulatie na 10:00 veel lagere waarden geeft voor de reistijd. Dit verschil ontstaat doordat uit de simulatie blijkt dat de fysische lengte van de wachtrij in de ochtendspits een grotere waarde aanneemt dan de lengte van de opstelstrook voor rechts afslaand verkeer. Daarbij volgt deze fysische lengte uit een combinatie van de opgebouwde verticale wachtrij en de aangenomen waarde voor de stremmingsdichtheid. Dit heeft als gevolg dat de lengte van de wachtrij in werkelijkheid een grotere waarde heeft dan in de simulatie hetgeen zorgt voor een langere periode aan hoge reistijden.

4.1.3 Gefitte waarden

In het model zijn verschillende turnfactoren gebruikt voor verschillende delen van de dag. In Tabel 2 zijn deze factoren weergegeven.

Tabel 2 - Turnfactoren per dagdeel

Dagdeel	Turnfactoren	
	4 oktober	5 oktober
00:00 – 06:30	0,40	0,40
06:30 – 10:00	0,25	0,20
10:00 – 17:15	0,33	0,34
17:15 – 19:30	0,27	0,32
19:30 – 00:00	0,40	0,40

De turnfactor in de ochtendspits volgt uit het door Utrecht gebruikte model voor het instellen van de VRI. Dit is als basis gebruikt voor het fitten van de simulatie op de data. Met deze waarde is de afrijtijd bepaald, te zien in Tabel 3.

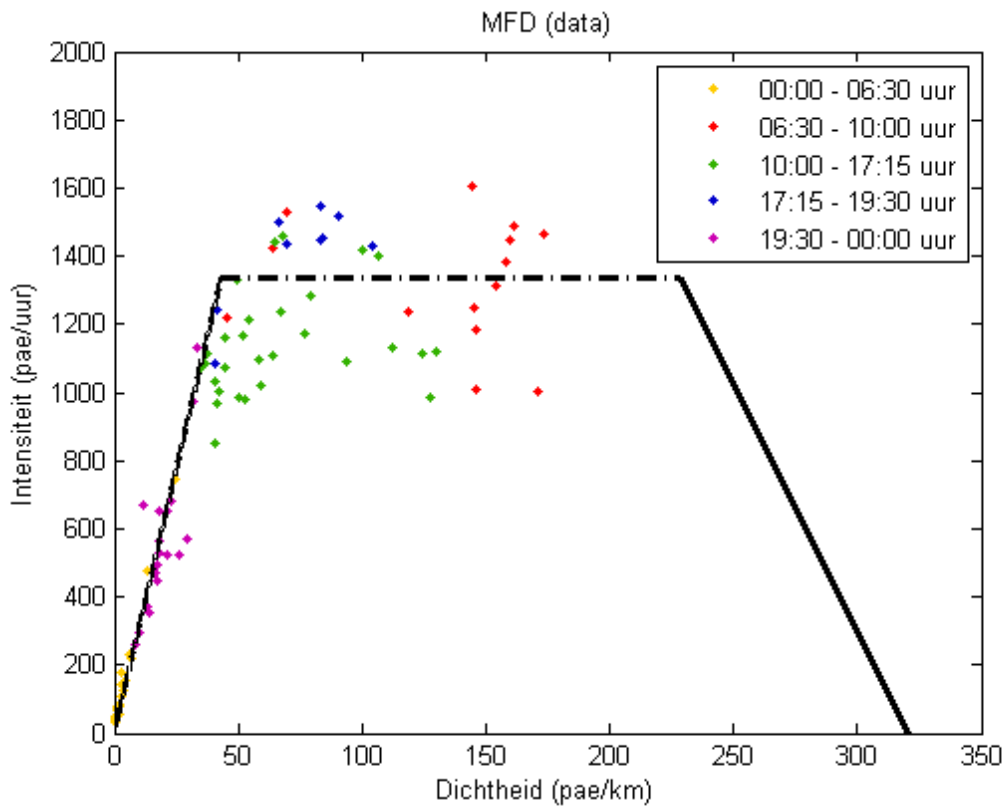
Tabel 3 - Afrijtijden per dag

	Afrijtijd (s)
4 oktober	2,27
5 oktober	2,27

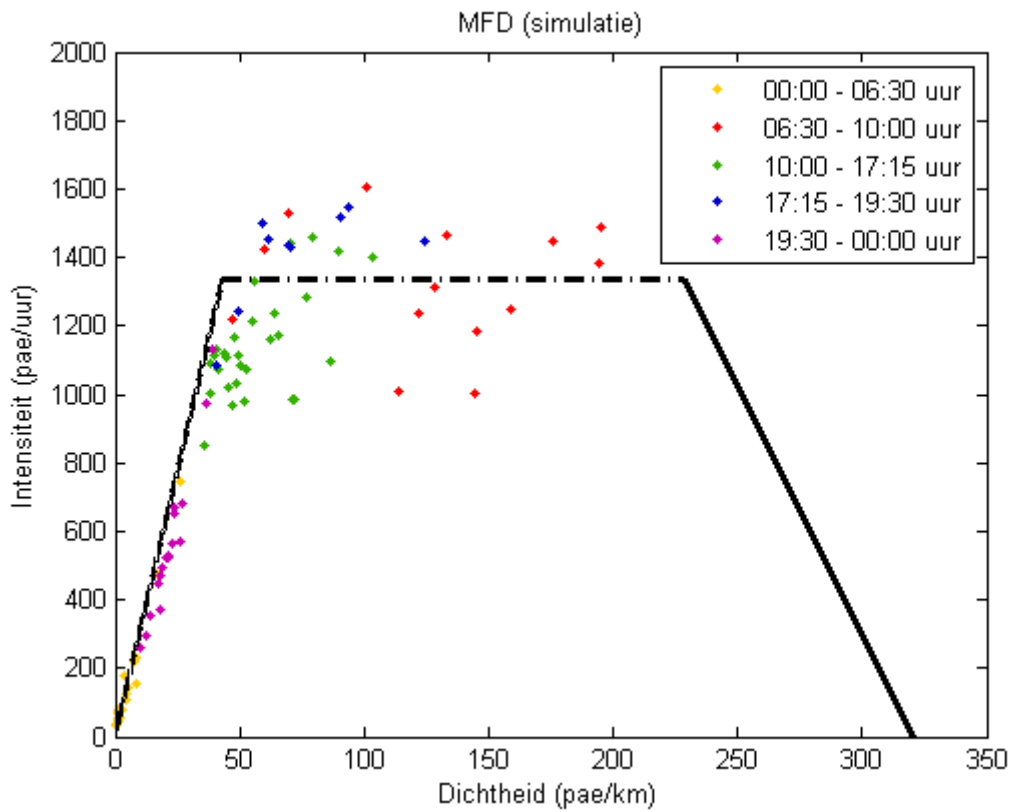
Deze afrijtijd is daarna als constant op de dag gesteld en hiermee zijn de andere turnfactoren bepaald.

4.2 4 oktober

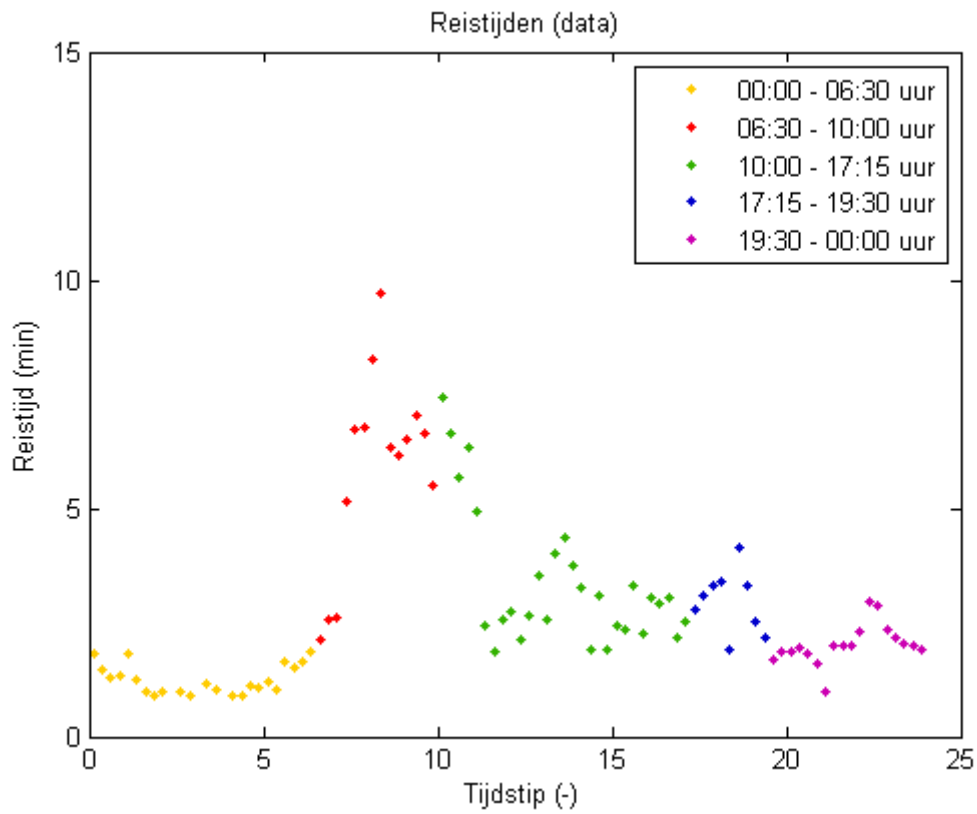
Figuur 10 tot en met Figuur 13 zijn dezelfde figuren als behandeld in paragrafen 4.1.1 en 4.1.2 maar van de dag 4 oktober. Er zijn geen grote verschillen tussen de twee dagen. Hierdoor wordt de kans op een effect veroorzaakt door korte storingen zoals bijvoorbeeld een ongeluk, kleiner.



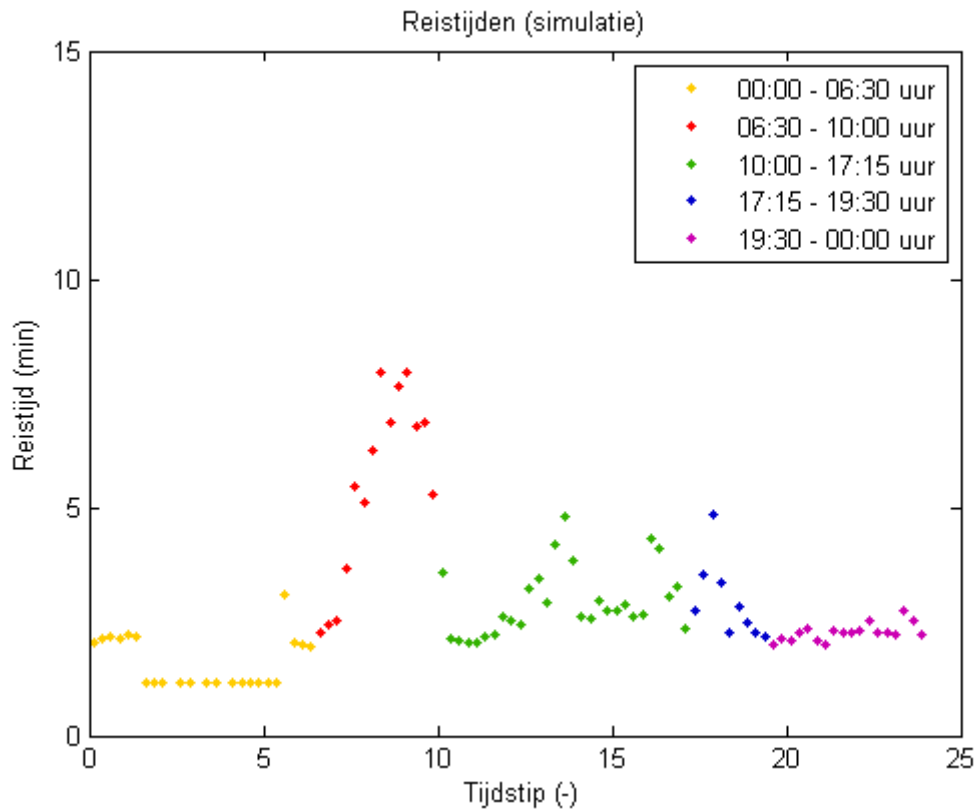
Figuur 6 - MFD bepaald uit de data (5 oktober)



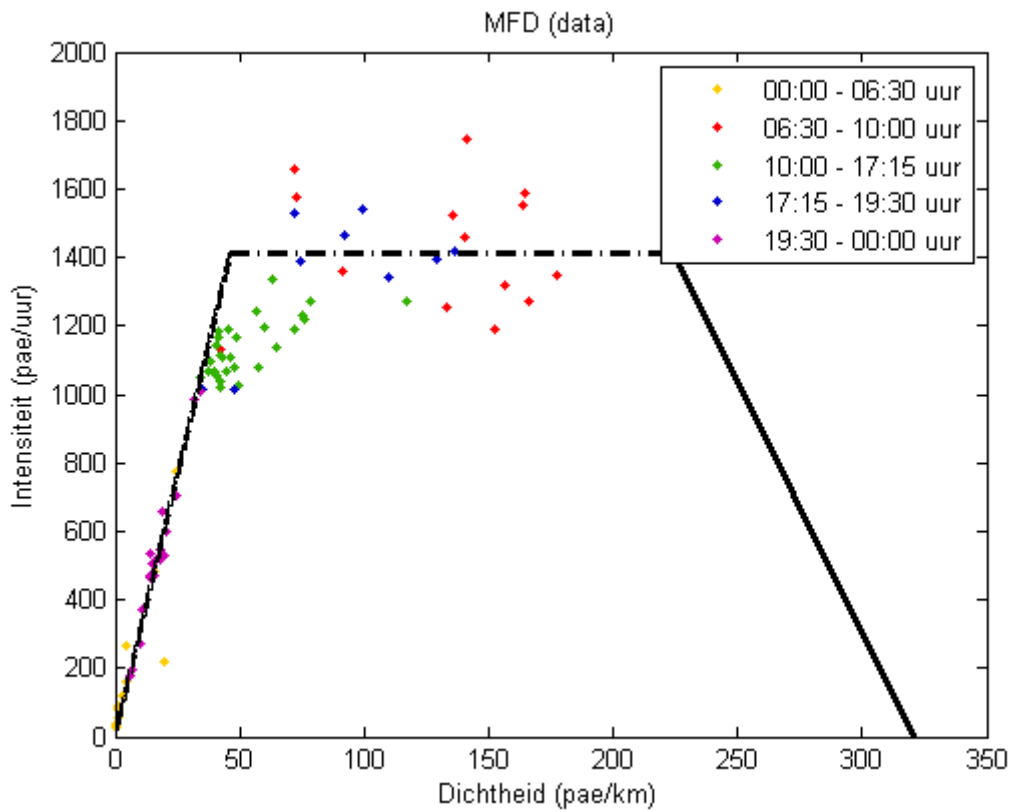
Figuur 7 - MFD bepaald uit de simulatie (5 oktober)



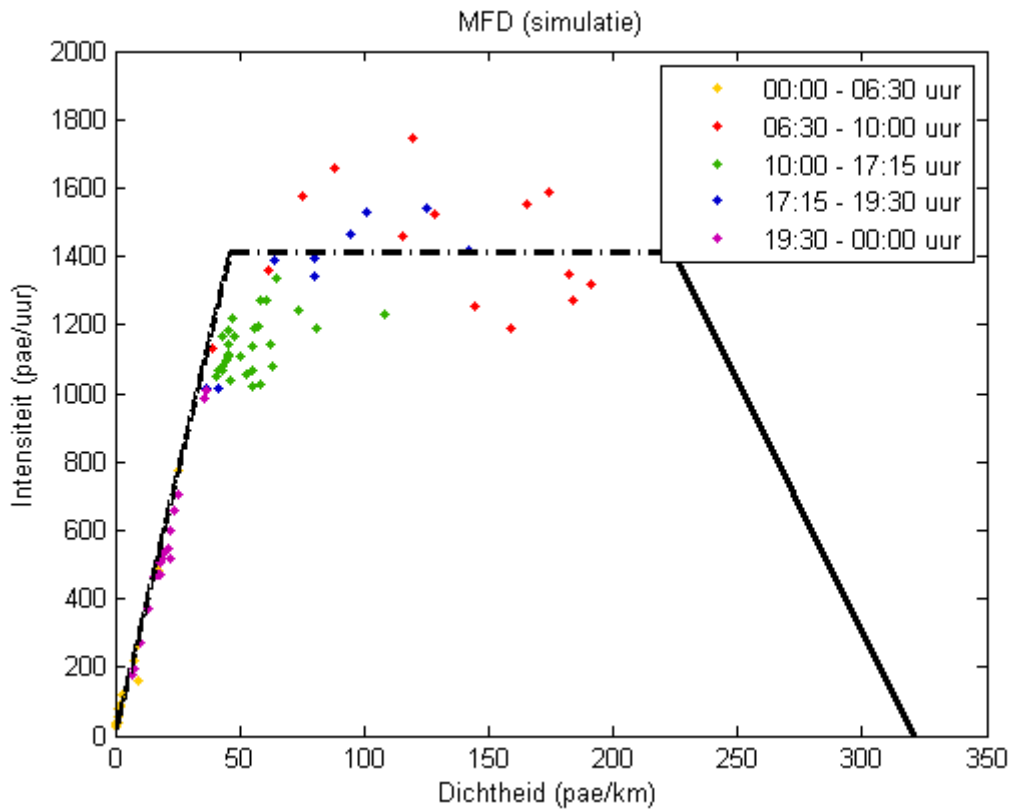
Figuur 8 - Weergave reistijden data (5 oktober)



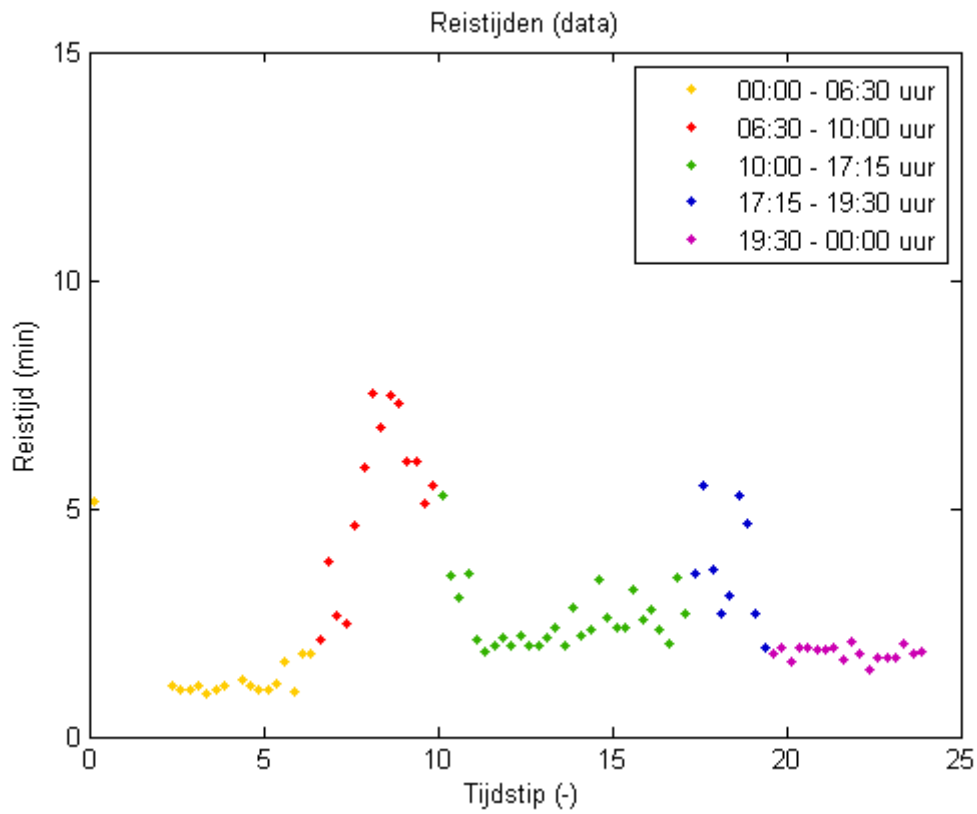
Figuur 9 - Weergave reistijden simulatie (5 oktober)



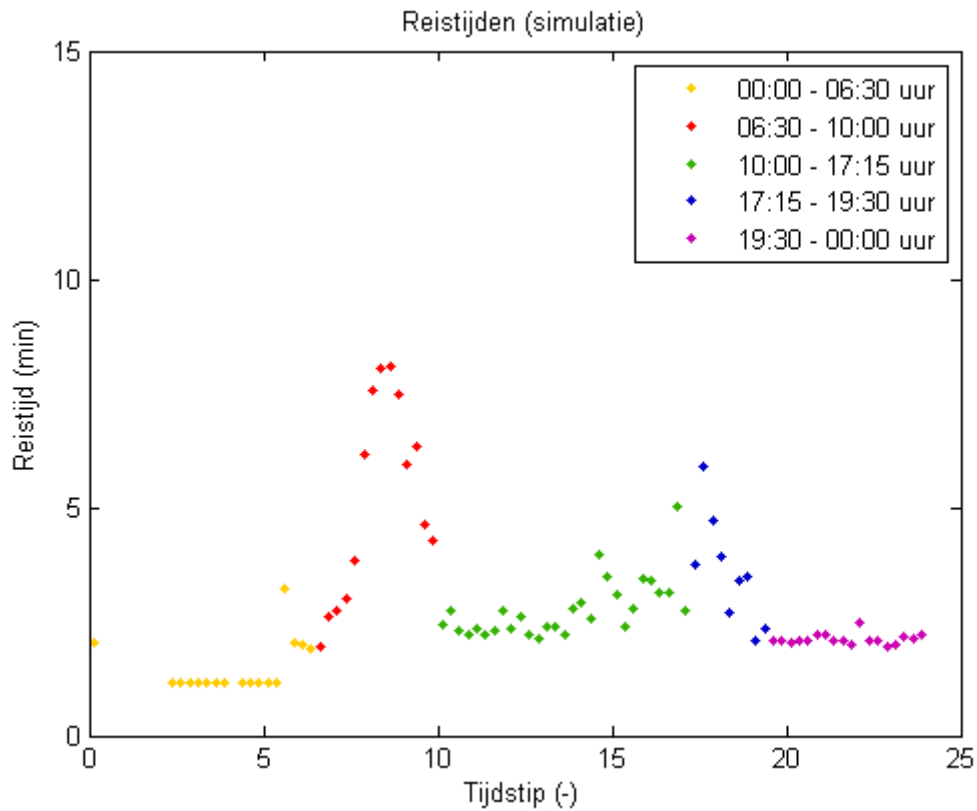
Figuur 10 - MFD bepaald uit de data (4 oktober)



Figuur 11 - MFD bepaald uit de simulatie (4 oktober)



Figuur 12 - Weergave reistijden data (4 oktober)



Figuur 13 - Weergave reistijden simulatie (4 oktober)

5 Discussie

In dit onderzoek is uitgegaan van een stedelijk traject zonder zijwegen met aan het einde van het traject een VRI. Ter hoogte van de VRI kruisen twee trambanen het traject en de lengte van de opstelstrook voor rechts afslaand verkeer is redelijk lang. Aan het begin en eind van het traject staan kentekenherkenningscamera's. Dit zijn de randvoorwaarden en zij vormen de uitgangspunten voor het opgestelde model. Gezien de toepasbaarheid van het model bepaald wordt door de randvoorwaarden zal hieronder kort op een aantal van deze randvoorwaarden worden ingegaan.

5.1 Trambanen

De toepasbaarheid van het opgestelde model wordt niet beperkt door kruisende trambanen waarop de trams frequent rijden. De reden hiervoor is het volgende. De trams zorgen niet voor een grote toevallige spreiding in de over 15 minuten gemiddelde reistijd omdat de trams met hoge frequentie rijden. De tramroutes komen in het model dan ook enkel terug in de gebruikte relatieve groentijden en cyclustijden welke beïnvloed worden door het gebruik van de trambanen.

5.2 Zijwegen

De toepasbaarheid van het model is beperkt tot trajecten zonder ongeregelde kruispunten, die veel interactie met het desbetreffende traject hebben. In het model is namelijk aangenomen dat de intensiteit net voor de VRI gelijk is aan de lokaal gemeten waarde van de camera's. Deze aanname is redelijk voor een traject zonder zijwegen, maar zorgt voor een onjuiste relatie tussen de intensiteit en dichtheid wanneer het model wordt toegepast op een traject met noemenswaardige zijwegen.

5.3 Opstelstroken

De lengte van de opstelstroken voor afslaand verkeer zorgt voor een beperkte toepasbaarheid van het model. Het model is namelijk gebaseerd op verticale wachtrijen. Daarbij wordt geen fysische lengte toegekend aan de wachtrij voor de VRI. Dit betreft een redelijke aanname zolang de opstelstroken voor afslaand verkeer direct bereikbaar zijn. In het geval dat de fysische lengte van de wachtrij voor de VRI groter is dan de lengte van de opstelstroken geeft het model te lage waarden voor de resterende wachtrij. Hierdoor is het model alleen toepasbaar op trajecten waarbij de maximale fysische lengte van de wachtrij niet groter is dan de lengte van de opstelstroken.

5.4 Data

Het opgestelde model voor het vormen van een MFD is alleen toepasbaar op trajecten als hierbij dezelfde data beschikbaar is. De locatie van de VRI in het traject is hierbij niet van invloed.

5.5 Toepasbaarheid vergroten

De toepasbaarheid van het model kan vergroot worden aan de hand van verder onderzoek. Allereerst moet het model toegepast worden op meerdere trajecten met dezelfde randvoorwaarden om het model te valideren. Daarnaast moet onderzocht worden hoe groot de invloed van zijwegen is op de relatie tussen de lokaal gemeten intensiteit en de dichtheid. Daartoe is aanvullende data benodigd in de vorm van waarden voor de intensiteit stroomafwaarts van de zijwegen. Verder kan een wijziging aangebracht worden in het model zo dat het model wel rekening houdt met de fysische lengte van de wachtrij.

6 Conclusie

Als vorm voor het MFD is gekozen voor een intensiteits/dichtheids-diagram. Om het MFD te vormen zijn de intensiteit en de gemiddelde snelheid/reistijd essentieel. Wanneer er een VRI in het traject aanwezig is, zal ook de relatieve groentijd nodig zijn. Deze heeft namelijk invloed op de capaciteit van de weg. De vorm van het MFD, zoals te zien in Figuur 6 en Figuur 10, wordt voornamelijk veroorzaakt door de VRI. De relatieve groentijd is samen met de afrijtijd verantwoordelijk voor de capaciteit van de weg. De relatieve groentijd heeft daarnaast ook effect op de vrije snelheid. Een MFD voor een traject zonder VRI zal er dus ook heel anders uitzien. De turnfactor zorgt voor een hogere snelheid bij dezelfde intensiteit. Deze turnfactor varieert over de dag en is afhankelijk van de functie van de weg en de bestemmingen in de omgeving van deze weg. Dit MFD geldt alleen voor een traject in deze vorm. Een traject met noemenswaardige zijwegen zal een minder duidelijke relatie hebben tussen de intensiteit en de dichtheid. Ook is de verwachting dat de reistijd en afrijtijd hierdoor een grotere variatie zullen hebben.

7 Literatuurlijst

X. Wu, H. X. Liu, N. Geriminis. (2011). An empirical analysis on the arterial fundamental diagram.
Transportation Research Part B.