



Afstudeerscriptie

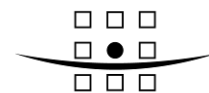
Effect van fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes

Royal Haskoning
Verkeer & vervoer, vestiging Enschede

27 mei 2010

Definitief rapport

T. Dragtstra & R. Elferink



ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V.
VESTIGING ENSCHEDE

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND B.V.
VESTIGING ENSCHEDE

Colosseum 3
Postbus 26
7500 AA Enschede
+31 (0)53 483 01 20 Telefoon
053-432 27 85 Fax
info@enschede.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Afstudeerscriptie
Effect van fietsers op de capaciteit van
enkelstrooksrotondes
Verkorte documenttitel Effect fietsers op rotondecapaciteit
Status Definitief rapport
Datum 27 mei 2010
Projectnaam
Projectnummer
Opdrachtgever Royal Haskoning
Referentie ScriptieVK/s1004047TD/s1002459RE/

Auteur(s) T. Dragtstra & R. Elferink
Datum/paraaf
Vrijgegeven door
Datum/paraaf

VOORWOORD

“Wat is het effect van fietsers op de capaciteit van een rotonde?” Deze vraag bleek na enkele gesprekken met Royal Haskoning op dat moment moeilijk te beantwoorden. “Er is wel informatie, maar dat is meer dan 10 jaar oud”. Een uitgelezen kans om dit op te pakken als afstudeeronderwerp!

De beantwoording op die vraag, wat het effect van fietsers op de capaciteit van een enkelstrooksrotonde is ligt voor u, uitgewerkt in de afstudeerscriptie van Tim Dragtstra en Ruud Elferink. Beiden zijn 4^e-jaars HBO-Verkeerskundestudent aan de Christelijke Hogeschool Windesheim. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Royal Haskoning, vestiging Enschede, adviesgroep Verkeer en Mobiliteit. Er is gekozen voor een projectmatige aanpak, wat betekent dat de uitvoering van de opdracht gefaseerd uitgevoerd is.

Onze dank gaat in eerste instantie uit naar onze begeleiders en eerste aanspreekpunten van respectievelijk Hogeschool Windesheim en Royal Haskoning, dhr. E. Bezembinder en dhr. R. Fokkert. Zij waren onze directe aanspreekpunten en hebben ons regelmatig de goede richting opgestuurd. Ook dhr. M. Bonestroo willen we bedanken als tweede begeleider vanuit Windesheim.

Daarnaast bedanken we overige collega's binnen Royal Haskoning voor de begeleiding en prettige samenwerking; dhr. G. Kuiper (Royal Haskoning Enschede) en dhr. D. de Baan, dhr. C. Hoiting, dhr. G. Korthals-Altes en dhr. M. Boender (Royal Haskoning Rotterdam).

Als laatste danken wij nog de experts van verschillende instellingen voor het aandragen van informatie en opmerkingen op onze rapportage en onderzoek, dhr. J. Boender (CROW), dhr. A. Dijkstra (SWOV) en dhr. P. Carton (prov. Zuid-Holland).

Enschede, mei 2010,

Tim Dragtstra
Ruud Elferink



SAMENVATTING

Het wegennet van Nederland raakt steeds voller. De toenemende drukte veroorzaakt op sommige locaties hoge verkeersdruk met vertragingen als gevolg. Op steeds meer punten wordt een geregeld kruispunt vervangen door een rotonde. Dit om de doorstroming te bevorderen. Wanneer deze rotondes worden aangelegd is het van belang vooraf een goede inschatting te kunnen maken van de wachtrijen die gaan ontstaan. Hiervoor wordt momenteel door de vakwereld veelal gebruik gemaakt van de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Hierin is echter geen fietsverkeer opgenomen, wat ons brengt bij het onderwerp van dit onderzoek:

Het effect van fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes.

Dit onderzoek heeft als doel:

Het voorkomen/minimaliseren van vertragingen/opstoppingen bij nieuw te realiseren enkelstrooksrotondes waarbij fietsers over een vrijliggend fietspad fietsen en voorrang hebben op het autoverkeer.

Hiermee kan in de toekomst een nog meer betrouwbare uitspraak worden gedaan over de te verwachten wachtrijen en IC-waardes ter hoogte van een nieuw aan te leggen rotonde.

Om tot het doel van dit onderzoek te komen zijn er meerdere subdoelen en onderzoeksvragen opgesteld.

Literatuuronderzoek, veldonderzoek, simulatie en analyse geven antwoord op de onderzoeksvragen. Literatuuronderzoek is gebruikt om reeds bestaande methodes in kaart te brengen. Hierbij is gekeken naar methodes die de verkeersafwikkeling bij een rotonde voorspellen.

Gekozen is om alleen enkelstrooksrotondes te onderzoeken waarbij fietsers voorrang hebben op het autoverkeer. Dit omdat de fietsers binnen de bebouwde kom meestal voorrang hebben op het autoverkeer. In het gros van de gevallen gaat het hierbij om enkelstrooksrotondes. Daarnaast verschillen enkelstrooksrotondes onderling minder dan tweestrooksrotondes en zijn dus makkelijker te vergelijken. Onderstaande bevindingen zijn dus alleen van toepassing op enkelstrooksrotondes waarbij het fietsverkeer voorrang heeft.

De huidige methodieken die de verkeersafwikkeling beschrijven op rotondes zijn niet geschikt voor de bepaling van de wachttijden op de toeritten van rotondes. In de meeste gevallen houden deze methodieken namelijk geen rekening met fietsverkeer.

Voor een rotonde zijn er enkele methodes om de capaciteit te bepalen. Enkele methodes ('rotondedesigner') en formules geven wel een goede indicatie van de capaciteit voor rotondes waar de fietser in of uit de voorrang afgewikkeld wordt, maar zijn niet makkelijk en snel te gebruiken en zijn behoorlijk verouderd(1994). Daarnaast geven lang niet alle methoden een voorspelling van de wachttijd wanneer het fietsverkeer voorrang heeft.

Om de informatie omtrent het effect van de fietsers op de wachttijden op toeritten van enkelstrooksrotondes te verkrijgen, zijn veldonderzoeken uitgevoerd. De verkregen informatie is geanalyseerd. De gegevens zijn in grafieken, puntenwolken en tabellen tegen elkaar uitgezet. Hier is voornamelijk inzicht verkregen in een variabele pae-waarde van de fietsers, afhankelijk van het verkeer op de rotonde. Hiermee zijn de

capaciteit en intensiteiten van de verschillende rotondetoeritten berekend. Ook is door middel van een regressielijn in de puntenwolken en het berekenen van een correlatiecoëfficiënt de betrouwbaarheid van de verschillende verbanden bepaald.

Dit leverde echter niet het gewenste resultaat op om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over het effect van het fietsverkeer op de wachttijden op de toeritten. Om deze reden is er met de gegevens uit de veldtellingen een simulatie opgesteld. Op deze manier konden meer gegevens gegenereerd worden en kon er meer informatie worden verkregen over het aantal voertuigen en wachttijden. Deze informatie is vergeleken met de uitkomsten van de 'meerstrooksrotondeverkenner' en de nomogrammen uit CROW publicatie 126, eenheid in rotondes.

De grote hoeveelheid data die uit het simulatiemodel naar voren kwam is geanalyseerd. Hieruit kon bepaald worden wat de capaciteitsreductie is van het verkeer op de toerit, als gevolg van verschillende intensiteiten kruisend fietsverkeer op de rotonde. Dit is in stappen van 120 fietsers extra gedaan. Hieruit kwam naar voren dat de reductie per uur gemiddeld 40 motorvoertuigen betreft.

Ook de wachttijden zijn aan de hand van de extra verkregen gegevens uit de simulaties bepaald. Ook hier is het aantal fietsers per uur in stappen van 120 extra opgevoerd. Hierbij is gemeten over 23 meter en 300 meter. 23 meter is een afstand vanaf de rotonde tot en met de 4^e a 5^e auto in de wachtrij. Deze afstand is aangehouden aangezien de 'meerstrooksrotondeverkenner' ook met deze aantallen rekent en hierdoor de gegevens goed te vergelijken zijn. De 300 meter afstand is gemeten omdat dat het gehele ingetekende wegvak in het simulatiemodel is. Deze gegevens kunnen echter niet worden vergeleken met de 'meerstrooksrotondeverkenner' of de nomogrammen. Uit deze gegevens blijkt dat het effect van het fietsverkeer op de wachttijden op de toeritten van de rotondes gering is; 2,4 seconden per 120 kruisende fietsers per uur extra.

Met deze gegevens is vervolgens een aangepast 'meerstrooksrotondeverkenner' -model opgezet. Hierbij gaat het dan uiteraard alleen om de enkelstrooksrotonde. Hiervan is een apart Excel-werkblad opgesteld waarin invoervelden voor fietsverkeer zijn toegevoegd. Hierachter zit een formule dat de variabele pae-waarde vanzelf berekend wordt aan de hand van het aantal voertuigen op de rotonde. Hiermee zou het mogelijk moeten zijn meer betrouwbare uitspraken te kunnen doen over nieuw aan te leggen rotondes en de bijbehorende IC-waarden en wachttijden op de toeritten. Echter verschillen de uitkomsten van de zelf opgestelde spreadsheet in vrij grote mate van de uitkomsten van de bestaande spreadsheet. Ook zijn de uitkomsten niet altijd gelijk aan de uitkomsten van het simulatiemodel. Dit laatste is opvallend, aangezien de spreadsheet is opgesteld aan de hand van de analyse van gegevens uit de simulaties. Deze spreadsheet zal nog nader geanalyseerd en getoetst moeten worden met meerdere intensiteitensets. Wanneer dit 100% betrouwbaar is kan deze versie wellicht worden opgenomen als tabblad in de bestaande 'meerstrooksrotondeverkenner'. Hiervan zal de vakwereld veel gemak hebben, aangezien fietsers binnen de bebouwde kom wel degelijk van invloed zijn op de wachttijden en IC-waarden van toeritten van enkelstrooksrotondes.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Leeswijzer	2
2	PROBLEEM- EN DOELSTELLING	3
2.1	Probleemstelling	3
2.1.1	Werking 'meerstrooksrotondeverkenner'	4
2.1.2	Probleem	5
2.2	Doelstelling	6
2.2.1	Hoofddoelstelling	6
2.2.2	Subdoelstelling	6
2.2.3	Onderzoeksvragen	7
2.3	Werkwijze	8
2.4	Inkadering	9
3	INVENTARISATIE BESTAANDE METHODIEKEN	11
3.1	Inleiding	11
3.1.1	Inleidende begrippen	11
3.2	Bestaande methodieken	12
3.2.1	Softwareprogramma's	13
3.2.2	Formules	14
3.2.3	Capaciteitformules	14
3.2.4	Wachttijdformules	15
3.2.5	Oversteekformules	16
3.2.6	Bepaling variabele pae-waarde	17
3.2.7	Effect fietsers op afrit	17
4	VELDONDERZOEK	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Vorbereiding veldonderzoek	18
4.3	De onderzochte locaties	19
4.4	Uitvoering veldonderzoek	20
4.5	Resultaten en analyse veldonderzoek	20
4.5.1	Verkregen gegevens	21
4.5.2	Vergelijking uitkomsten	22
4.5.3	Werkwijze	24
4.6	Evaluatie veldonderzoek	29
5	SIMULEREN	30
5.1	Vorbereiding simulatie	30
5.1.1	Keuze programma	31
5.1.2	Parameters afstemmen	31
5.2	Uitvoering simulatie	32
5.3	Resultaten en analyse simulatie	33
5.3.1	Inleiding	33
5.3.2	Capaciteitsreductie	33
5.3.3	Effect kruisend fietsverkeer op de wachttijden	35

5.3.4	Nomogrammen toetsen	37
5.4	Evaluatie simulatie	39
6	UITKOMSTEN ANALYSE IMPLEMENTEREN IN EEN SPREADSHEET	40
7	EINDOORDEEL	42
7.1	Conclusies	42
7.2	Aanbevelingen	43
	Betrokken partijen	
	Begrippenlijst	
	Literatuurlijst	
	Bijlagenlijst	



INLEIDING

1.1 Aanleiding

Verkeerskundige adviesbureaus en de verschillende overheden staan regelmatig voor de opgave een type kruispuntvorm te bepalen bij reconstructie of nieuwe aanleg van infrastructuur. Ook wordt dan onderzocht of een rotonde een optie is. Om te bepalen of een rotonde geschikt is en zo ja, wat voor type rotonde er op een bepaalde plaats aangelegd kan worden, zijn er meerdere hulpmiddelen. Één van de onderdelen in de afweging of een bepaald kruispunttype de intensiteiten op een bepaalde locatie goed kan verwerken, is een berekening maken met softwareprogramma's. Ook zijn er meerdere formules waarmee berekend kan worden of de wachttijden op een toerit van een kruispunt of rotonde nog acceptabel zijn. In meerdere softwareprogramma's zijn de formules opgenomen.

De meeste programma's die gebruikt worden voor het bepalen of een rotonde geschikt is voor een bepaalde locatie berekenen de wachttijden en verhoudingen tussen de intensiteit en de capaciteit. Dit gebeurt over het algemeen met formules gebaseerd op de intensiteiten op de rotonde en de intensiteiten op de toeritten van de rotonde. Het fietsverkeer is hierbij echter meestal niet meegenomen. Een veel gebruikte manier is de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Dit is een gebruiksvriendelijke tool in Excel waarmee capaciteiten en gemiddelde wachttijden van verschillende rotondevormen berekend kunnen worden. Deze tool is oorspronkelijk ontworpen voor de keuze van een meerstrooksrotondetype. Daarnaast is de tool gemaakt voor wegen buiten de bebouwde kom, waar de fietsers geen voorrang hebben. Om deze reden zijn de fietsintensiteiten niet opgenomen in de tool, aangezien de fietsers uit de voorrang nagenoeg geen invloed hebben op de capaciteit en wachtrijen van een rotonde.

In de praktijk blijkt echter dat er wel degelijk vraag is naar een rotondeverkenner waarin fietsers wel zijn meegenomen, voor de afweging wel of niet een rotonde binnen de bebouwde kom (BIBEKO) aan te leggen. Veel gemeenten en adviesbureaus gebruiken de huidige 'meerstrooksrotondeverkenner' ter indicatie of een bepaalde rotondevorm zal passen binnen de bebouwde kom, omdat simulatiemodellen te tijdrovend zijn. Er is met name behoefte aan informatie over enkelstrooksrotondes waarbij fietsers op een vrijliggend fietspad voorrang hebben. Dit is dan ook de rotondevorm die in dit onderzoek is gebruikt.

Het onderzoek is gericht op het bepalen van de effecten van het kruisende fietsverkeer op de toeritcapaciteit van de enkelstrooksrotonde met vrijliggende fietspaden. Hieronder wordt verstaan; de hoeveelheid gemotoriseerd verkeer die de toerit van de rotonde kan verwerken, zonder dat er wachttijden langer dan 20 seconden ontstaan. Dit wordt in het volgende hoofdstuk nog verder toegelicht. In CROW publicatie 126, 'Eenheid in rotondes', wordt wel ingegaan op deze effecten. Hierin staan nomogrammen en worden formules omschreven waarmee het effect berekend kan worden. Echter, deze publicatie stamt uit 1998 en het is dus mogelijk dat deze gegevens niet meer up to date zijn. Wanneer het effect bekend en verwerkt is in een tool als de 'meerstrooksrotondeverkenner' kan een nauwkeuriger beeld worden geschetst van de capaciteit van een enkelstrooksrotonde.

Op dit moment is er weinig bekend over het effect van fietsers op de capaciteit van rotondes. De huidige methoden om deze effecten te bepalen stammen uit 1998 en zijn dus mogelijk niet meer up to date. Het is dus van belang hier beter inzicht in te krijgen.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit zeven hoofdstukken.

In het tweede hoofdstuk zijn de probleem- en doelstellingen omschreven. Eerst wordt omschreven wat het probleem is waar men momenteel in de vakwereld tegenaan loopt. Hierna wordt de doelstelling beschreven aan de hand van een hoofddoelstelling met daarbij vier subdoelstellingen.

Om deze doelstellingen te behalen zijn een aantal onderzoeksvragen opgesteld. Vervolgens is de werkwijze van dit onderzoek globaal omschreven, gevolgd door de inkadering van het onderzoek.

Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de bestaande methodieken om de capaciteit en wachttijden bij rotondes door te rekenen. Hiervoor wordt eerst inzicht verschaft in veel gebruikte begrippen met daarop volgend een korte toelichting op de bestaande methodieken. Hierin is onderscheid gemaakt in softwareprogramma's en bestaande formules en beschrijvingen die gebruikt kunnen worden.

Vervolgens is in hoofdstuk 4 het veldonderzoek toegelicht. In dit hoofdstuk wordt eerst de voorbereiding op het onderzoek en de te onderzoeken locaties omschreven. Daarna wordt de uitvoering van het veldonderzoek omschreven om vervolgens de resultaten en een analyse hierop te beschrijven. Als afsluiter wordt er kort geëvalueerd op het veldonderzoek.

In hoofdstuk 5 wordt het volgende grote onderdeel van deze studie behandeld, namelijk de simulatie. Ook hier wordt de voorbereiding omschreven om vervolgens de uitvoering te behandelen. Hierna wordt gekeken naar de resultaten en is de analyse hierop uitgevoerd. Ook dit hoofdstuk is afgesloten met een kleine evaluatie.

In hoofdstuk 6 is beschreven hoe de uitkomsten van het onderzoek in een spreadsheet met een enkelstrooksrotonde zijn geïmplementeerd, waardoor deze ook kan worden doorgerekend mét fietsverkeer. Ook een vergelijking met de bestaande methode is hier beschreven.

De uiteindelijke conclusies en aanbevelingen zijn beschreven in het laatste hoofdstuk, Eindoordeel.

Daarna worden nog de betrokken partijen bij dit onderzoek genoemd, volgt een begrippen- en literatuurlijst en zijn de bijlagen bijgevoegd.

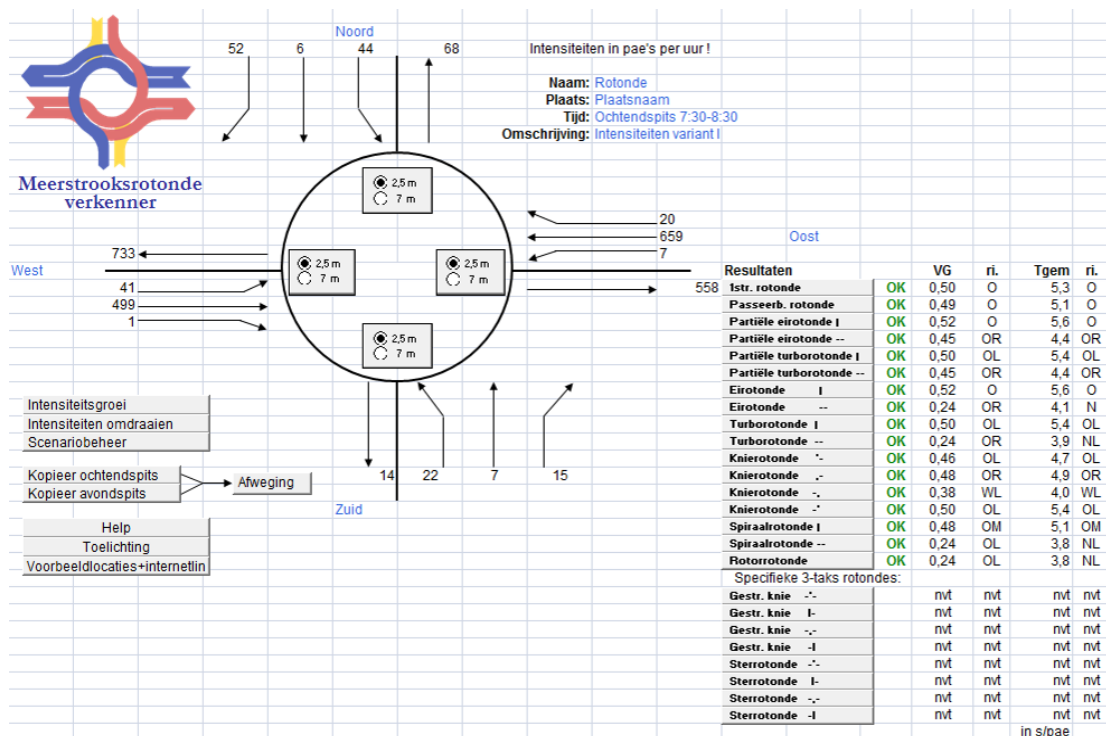
2 PROBLEEM- EN DOELSTELLING

In dit hoofdstuk worden de probleem- en doelstellingen beschreven. Vervolgens zijn de onderzoeksvragen opgesteld en is de werkwijze omschreven om tot een goed antwoord op deze onderzoeksvragen te komen. Als laatst is de inkadering van het onderzoek in dit hoofdstuk omschreven.

2.1 Probleemstelling

Voordat er op een bepaalde locatie een nieuwe kruispuntvorm wordt gerealiseerd, wordt er veel berekend. Voor het aanleggen van een rotonde zijn hiervoor verschillende methoden beschikbaar. Zo kan er gewerkt worden met formules en met softwareprogramma's waar vaak bepaalde formules in verwerkt zijn. Het probleem van deze methoden is echter dat er in bijna geen van de gevallen aandacht is voor het fietsverkeer op een bepaalde locatie. In veel gevallen is er behoefte aan informatie over enkelstrooksrotondes waarop fietsers voorrang hebben op het gemotoriseerde verkeer. Deze informatie is met de huidige methoden lastig te verkrijgen en de vraag is hoe betrouwbaar de verkregen gegevens zijn.

Bij het bepalen van een aan te leggen kruispuntvorm wordt zowel binnen- als buiten de bebouwde kom vaak de 'meerstrooksrotondeverkenner' gebruikt. Dit is een tool in Excel waarmee snel bepaald kan worden of een rotonde op de bepaalde locatie het verkeer goed verwerken kan en welke vorm deze rotonde dan moet krijgen. De 'meerstrooksrotondeverkenner' is oorspronkelijk bedoeld voor het bepalen van een meerstrooksrotondetype. Echter is er in de tool ook een enkelstrooksrotonde opgenomen. Dit onderzoek is gericht op de enkelstrooksrotonde. Hierna volgt een korte uitleg van de tool.



Figuur 1 Invoerscherm 'meerstrooksrotondeverkenner' in Excel

2.1.1 Werking 'meerstrooksrotondeverkenner'

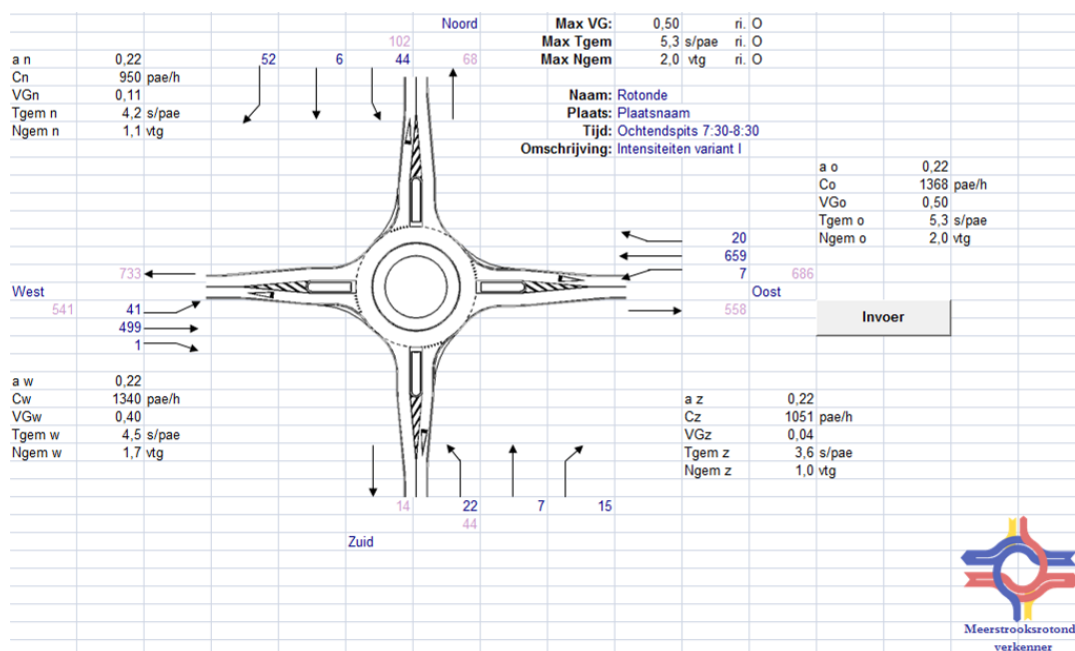
De 'meerstrooksrotondeverkenner' is een tool in Excel. In een spreadsheet vult men alle benodigde gegevens in die nodig zijn voor het berekenen van het best passende rotondetype. Zo worden door de tool de volgende stappen doorlopen: Invullen intensiteiten per richting → conflicten bepalen → afwikkeling per tak berekenen → afwikkeling op de hele rotonde in beschouwing nemen → maat geven voor de verkeersafwikkeling(VG-waarde).

De intensiteiten in pae's¹ op de beoogde locatie dienen voor iedere tak per richting per uur bekend te zijn en bij de invoervelden ingevuld te worden. De breedte van de middengeleider dient ook ingegeven te worden. Dit i.v.m. de conflictsituatie. De oorspronkelijke 'meerstrooksrotondeverkenner' heeft per tak slechts twee mogelijkheden voor de breedte van de middengeleider: 2,5 meter en 7 meter. Hier moet men kiezen voor de maat die in de buurt komt van één van deze twee opties.

In het eerste werkblad ('Invoer') zijn de resultaten van de berekeningen te zien(zie figuur 1). Voor de verschillende rotondevormen wordt de maximale verzadigingsgraad (VG) en de gemiddelde wachttijd (Tgem) per pae weergegeven die op één van de takken van de rotonde voorkomt. Tevens wordt voor de verzadigingsgraad en de wachttijd afzonderlijk met letters aangeduid welke rijstrook maatgevend is (N=noord, O=Oost, Z=Zuid, W=West, l =linker rijstrook, r =rechter rijstrook en m =middelste rijstrook).

De verzadigingsgraad is het quotiënt van de intensiteit en de capaciteit, ook wel I/C-waarde genoemd (Verzadigingsgraad = Intensiteit/Capaciteit). Een onderdeel van de verzadigingsgraad is de toeritcapaciteit. In de 'meerstrooksrotondeverkenner' wordt aangenomen dat bij een verzadigingsgraad kleiner dan 0,80 en een gemiddelde wachttijd van minder dan 50 seconden/pae het verkeer goed afgewikkeld wordt. Indien hieraan voldaan wordt, wordt bij de rotondevorm een groene OK geplaatst, om aan te geven dat deze rotondevorm het verkeer kan verwerken.

De voorkeursrotonde kan meer gedetailleerd bekeken worden in aparte werkbladen. Hier zijn onder andere de verschillende verzadigingsgraden (VG), gemiddelde wachttijden (Tgem) en wachtrijen (Ngem) per rijstrook terug te vinden(figuur 2).



Figuur 2 Voorbeeld van een uitkomst na invoeren intensiteiten

¹ Pae's: Personenauto-equivalent

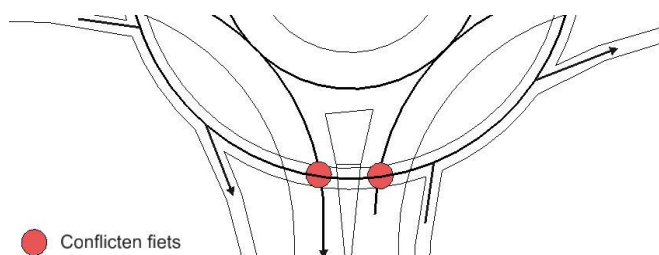
2.1.2 Probleem

De 'meerstrooksrotondeverkenner' is gericht op rotondes met fietsers uit de voorrang (hierbij hebben fietsers geen voorrang op het autoverkeer) en bevat daarom geen optie om fietsintensiteiten in de capaciteitsberekening mee te nemen. Hierdoor kan het voorkomen dat het type rotonde dat wordt aangeraden door de 'meerstrooksrotondeverkenner' niet optimaal is voor rotondes met fietsers in de voorrang (fietsers hebben voorrang op het autoverkeer). Er kan namelijk aangenomen worden dat fietsers de op- en afrijcapaciteit en wachtrijlengten voor rotondes beïnvloeden wanneer zij voorrang hebben, aangezien het autoverkeer op hen moet wachten. Zie figuur 3 voor de situaties wanneer dit kan voorkomen. Wanneer de fietsintensiteiten niet worden meegenomen bij het bepalen van een rotondetype kan het voorkomen dat de wachttijden voor een rotonde onacceptabel worden.

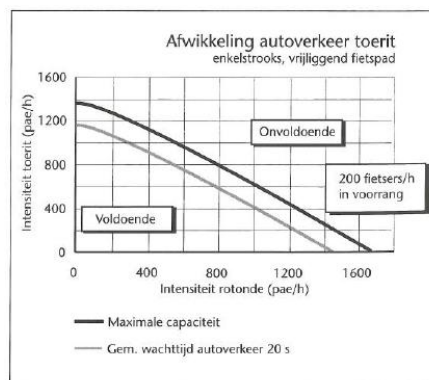
Het probleem waar mensen in de vakwereld tegenaan lopen is dus dat er in de tool geen optie is opgenomen om fietsintensiteiten in de capaciteitsberekening mee te nemen. Hierdoor komen er

adviezen uit de 'meerstrooksrotondeverkenner' die enkel berekend zijn voor rotondes met fietsers uit de voorrang, maar de ervaring leert dat die worden toegepast op locaties met fietsers in de voorrang. Een pragmatische indicatie van de invloed van fietsintensiteiten op de verkeersafwikkeling op enkelstrooksrotondes waarbij fietsers voorrang hebben is niet beschikbaar.

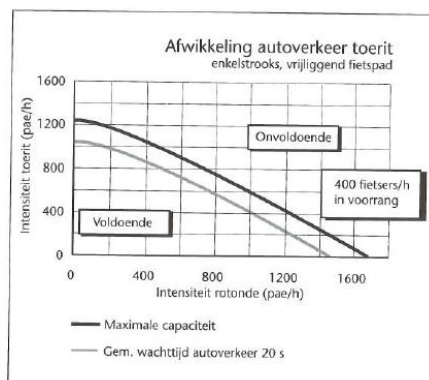
CROW publicatie 126 gaat hier wel op in, echter is deze publicatie uitgebracht in 1998 en is de kans aanwezig dat deze informatie gedateerd is. Maar voornamelijk de bruikbaarheid van deze publicatie laat nog wel eens te wensen over. Momenteel worden de betreffende gegevens in publicatie 126 nog gebruikt omdat er geen ander materiaal beschikbaar is. Vooral de nomogrammen (grafieken) uit de publicatie (zie figuur 4 en 5) worden nog wel eens gebruikt. Deze nomogrammen geven aan welke rotonde- en toeritintensiteiten horen bij een wachttijd van gemiddeld 20 seconden voor verkeer op de toerit. Hierbij is onderscheid gemaakt in de situatie met 200 kruisende fietsers en 400 kruisende fietsers. Omdat deze informatie mogelijk verouderd is en de bruikbaarheid en inzetbaarheid niet optimaal is, is het van belang antwoord te krijgen op de vraag; wat is het effect van fietsers op de toeritcapaciteit van enkelstrooksrotondes? Deze vraag wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.



Figuur 3 Conflictpunten fietsverkeer met



Figuur 4 Nomogram bij 200 fietsers



Figuur 5 Nomogram bij 400 fietsers

2.2 Doelstelling

In de vorige twee paragrafen zijn de aanleiding en probleemstelling van dit onderzoek omschreven. Hieruit zijn de volgende hoofd- en subdoelstellingen geformuleerd:

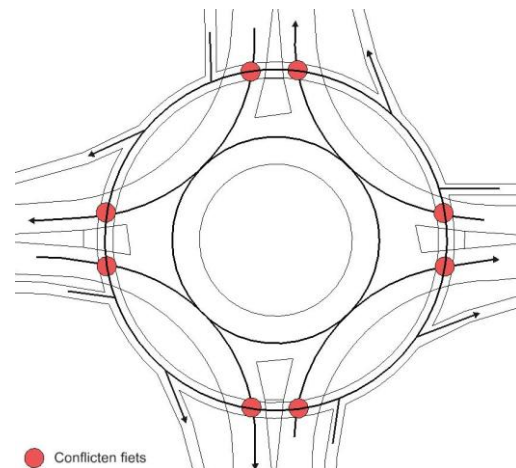
2.2.1 Hoofddoelstelling

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het voorkomen/minimaliseren van vertragingen/opstoppingen bij nieuw te realiseren enkelstrooksrotondes waarbij fietsers over een vrijliggend fietspad fietsen en voorrang hebben op het autoverkeer. Hiermee zal de doorstroming van het verkeer ter hoogte van de rotonde gewaarborgd worden. De uitkomsten van het onderzoek moeten aantonen of een enkelstrooksrotonde op een bepaalde plaats voldoende capaciteit heeft om al het verkeer op de rotonde goed te kunnen verwerken.

2.2.2 Subdoelstelling

Om tot de hoofddoelstelling te komen zijn de volgende subdoelstellingen opgesteld;

1. Het bepalen van het effect van kruisend fietsverkeer op de wachttijden van gemotoriseerd verkeer op de toeritten van enkelstrooksrotondes.
2. Het toetsen van de nomogrammen met betrekking tot de intensiteiten en bijbehorende gemiddelde wachttijd op rotondes uit CROW-publicatie 126 (nomogrammen 5 en 6, pagina 86) aan de verkregen data uit het onderzoek. Er zal gekeken worden of deze nomogrammen nog up to date zijn of dat er verschil zit in de nieuw verkregen gegevens en de bestaande gegevens.
3. Spreadsheet opstellen voor enkelstrooksrotondes waarbij voorrang hebbend fietsverkeer is meegenomen in de capaciteitsberekening van de rotonde. Dit kan een aangepaste versie van de 'meerstrooksrotondeverkenner' met enkel het tabblad 'enkelstrooksrotonde met fietsers in de voorrang' zijn, maar ook een op zichzelfstaande rekentool. Hiermee kan snel een indicatie worden gegeven of een enkelstrooksrotonde binnen de bebouwde kom een goede uitkomst is, lattend op wachttijden en capaciteitsreductie (zie figuur 6 voor conflictpunten tussen fietsverkeer en gemotoriseerd verkeer).
4. Opstellen van een microsimulatiemodel met Vissim ter visualisatie van de situatie op straat. Aan de hand van dit simulatiemodel toetsen of de ingevoerde gegevens in de spreadsheet en de bijbehorende uitkomsten hiervan, overeenkomen met de uitkomsten die het simulatiemodel geeft.



Figuur 6 Conflictpunten fietsverkeer met gemotoriseerd verkeer op rotondes

2.2.3 Onderzoeksvragen

Om de doelstellingen van dit onderzoek te kunnen behalen zijn een aantal onderzoeksvragen opgesteld:

1. Wat is het effect van de intensiteiten van fietsverkeer op de wachttijden van gemotoriseerd verkeer op de toerit van de rotonde? Het gaat hierbij om de beantwoording van de vraag hoeveel capaciteitsreductie er optreedt wanneer fietsers in de voorrang zitten en dus de afwikkeling van het autoverkeer op de rotondetoeit beïnvloeden.
2. Bij welke intensiteit fietsverkeer wordt de capaciteit van een rotonde dusdanig beïnvloed dat de wachttijden voor gemotoriseerd verkeer op de toerit niet meer acceptabel zijn? Volgens CROW-publicatie 126 is een wachttijd van meer dan 20 seconden onacceptabel. Deze tijden worden in dit onderzoek aangehouden.
3. Wat zijn de bestaande methoden om tot een goede afweging in kruispuntvormen te komen, waarbij fietsers zijn meegenomen in de capaciteitsberekening?
4. Hoe zijn intensiteiten verwerkt in de 'meerstrooksrotondeverkenner'? Dus met welke formules wordt er gewerkt? Hiermee wordt inzicht verschaft in de werking van de tool waardoor extra kennis wordt vergaard. Hierdoor kan het opstellen van een dergelijke tool worden herhaald en uitgebreid, met controlemogelijkheid.
5. Op welke wijze is het mogelijk de intensiteiten fietsverkeer op te nemen in de huidige 'meerstrooksrotondeverkenner'? Hierbij wordt gekeken naar hoe momenteel het gemotoriseerde verkeer is opgenomen in de capaciteitsberekening.
6. Is de nieuw opgestelde spreadsheet met capaciteitsberekeningen voor enkelstrooksrotondes waarbij fietsers voorrang hebben op het gemotoriseerde verkeer betrouwbaar?
7. Zijn de nomogrammen 5 en 6 uit CROW-publicatie 126 nog up to date?



Figuur 7 Wachtdende auto's voor fietsers in de voorrang op rotonde

2.3 Werkwijze

Dit onderzoek bestaat uit meerdere onderdelen. In deze paragraaf is een globale werkwijze van dit onderzoek omschreven. Per onderdeel volgt later nog een gedetailleerde beschrijving van de werkwijze door middel van de paragrafen 'uitvoering veldonderzoek' en 'uitvoering simulatie'. Hieraan voorafgaand wordt ook per onderdeel de voorbereiding omschreven.

Dit onderzoek is uitgevoerd aan de hand van meerdere stappen. Er is begonnen met het definiëren van het eigenlijke probleem en de bijbehorende doelstellingen. Aan de hand hiervan is bepaald op welke manier deze doelstellingen behaald kunnen worden. Om inzicht te krijgen in hoe een rotonde werkt en welke begrippen hierbij horen is er eerst een verdieping gemaakt in deze begrippen. Hierna is er een literatuuronderzoek gedaan. Hierbij zijn de bestaande methodieken onderzocht. Hierin is onderscheid gemaakt in softwareprogramma's en formules.

Hierna is gekomen tot globaal twee stappen die doorlopen moeten worden; veldonderzoek en simulatie.

Het veldonderzoek bestaat hierbij uit het uitvoeren van verkeersmetingen op rotondes. Het doel was om 30 uur veldonderzoek te doen. Hierbij wordt zoveel mogelijk informatie verzameld die van belang is om inzicht te krijgen in de effecten van fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes. Doel van het veldonderzoek is het meten van wachttijden op de rotondetoeritten bij verschillende intensiteiten rotondeverkeer en kruisend fietsverkeer. Ook de intensiteiten op de toerit zijn geteld. Op deze manier kan informatie worden verkregen over het aantal wachttijden, de lengte van deze wachttijden en de bijbehorende intensiteiten. Deze gegevens zijn geanalyseerd en overzichtelijk tegen elkaar uitgezet in grafieken. Hoe dit precies gedaan is wordt in hoofdstuk 4 nader omschreven.

De gegevens van het veldonderzoek zijn vervolgens gebruikt als input voor het simulatiemodel. Met de simulaties kunnen extra gegevens worden gegenereerd, die meer duidelijkheid verschaffen in de situatie op straat. Het doel van de simulatie is dan ook extra gegevens genereren door het invoeren van verschillende intensiteitensets. Zo kan bijvoorbeeld worden gekozen voor een hoger aantal kruisende fietsers en het effect daarvan kan vervolgens worden teruggevonden in de uitvoergegevens van het programma. Op deze manier kunnen situaties worden nagebootst die in de werkelijkheid tijdens de veldmeting niet zijn waargenomen, maar wel degelijk mogelijk zijn. Hierdoor ontstaat een nog grotere spreiding in meetgegevens. Ook van deze gegevens zijn grafieken en tabellen opgesteld. Met deze gegevens is vervolgens getracht een goed inzicht te verkrijgen in het effect van fietsers op enkelstrooksrotondes en daarmee de onderzoeksvragen te beantwoorden. De werkwijze van het opstellen en draaien van de simulatie wordt toegelicht in hoofdstuk 5.

De verkregen gegevens zijn vergeleken met de 'meerstrooksrotondeverkenner' en met de nomogrammen. Aan de hand hiervan is ook een aangepaste spreadsheet opgesteld voor de berekening van IC-waarden en wachttijden bij enkelstrooksrotondes, waarbij de fietsintensiteiten zijn meegenomen in de berekening. Hieruit kunnen dan als afsluiting conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan.

2.4 Inkadering

Voordat aan dit onderzoek is begonnen is een inkadering opgesteld. Zonder een goede inkadering zou er pas tijdens het uitvoeren van een telling, bepaald kunnen worden of er andere factoren dan fietsers effect hebben op de capaciteit van een rotonde. Er wordt dus ingekaderd om er voor te zorgen dat er zo min mogelijk andere invloeden zijn op de doorstroming van het verkeer. Hierdoor moet het mogelijk zijn om een zo precies mogelijk beeld te schetsen van het effect van de fietser op de capaciteit van de rotondes.

Het tweede doel van inkaderen is het beperken van tijdverlies door problemen die vooraf verwacht kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer er pas tijdens het veldwerk geconstateerd wordt dat bijvoorbeeld een VOP² een dusdanig groot effect op de doorstroming van een rotonde heeft, dat daarmee het effect van fietsers niet meer duidelijk aan te tonen is.

Dit onderzoek is gericht op enkelstrooksrotondes met vrijliggende fietspaden waarbij de fietsers voorrang hebben. Deze keuze is gemaakt aangezien een groot aantal van de rotondes binnen de bebouwde kom deze vormgeving heeft. Hierbij worden enkel rotondes meegenomen waarbij het fietsverkeer in één richting de rotonde passeert.

Enkel de toeritten

Dit onderzoek richt zich op enkel de toeritten van de rotondes. De afritten zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Hiervoor is bewust gekozen, met name doordat het onderzoek door slechts twee personen uitgevoerd diende te worden. De verwachting is dat kruisend fietsverkeer op afritten wel van invloed is op de rotondecapaciteit, maar om dit vast te kunnen stellen is nader onderzoek nodig.

Voetgangeroversteekplaatsen in de nabije omgeving van de rotonde

Er wordt in dit onderzoek gekeken naar rotondes waarbij er geen voetgangeroversteekplaats (VOP) aanwezig is in de nabije omgeving die van invloed zou kunnen zijn op de aanvoer van verkeer op de rotonde (clustervorming). Daarom is er naar gestreefd rotondes te onderzoeken waarbij er binnen een straal van 500 meter geen VOP aanwezig is. Dit om de kans op belemmering van de snelle doorstroming op de rotonde zo klein mogelijk te maken.

Voetgangeroversteekplaatsen op de rotonde

In sommige gevallen is de VOP gesitueerd op de toerit van de rotonde, direct tegen het kruisende fietspad aan. Er wordt getracht rotondes te onderzoeken waarbij dit niet het geval is. Wanneer automobilisten op de toerit namelijk ook vertraging oplopen door overstekende voetgangers, dan ontstaat een vertekend beeld. Naderhand is dan namelijk moeilijk te achterhalen wat het exacte effect van de kruisende fietser was doordat het autoverkeer een extra vertraging heeft opgelopen door de voetgangers.

Verkeerslichten (VRI's³)

Rotondes met VRI's op korte afstand van de rotonde (binnen 500 meter) zijn niet meegenomen. Dit omdat door de VRI het verkeer in colonnes de rotonde zal naderen, waardoor er al gauw een wachtrij kan ontstaan, wat het idee geeft dat de capaciteit onvoldoende is. Wanneer een VRI op korte afstand na een rotonde is geplaatst kan het

² VOP= voetgangeroversteekplaats (ook wel zebraapad).

³ VRI= Verkeersregelininstallatie (ook wel verkeerslichten).

zijn dat de wachtrijen voor de VRI terugslaan op de rotonde, met blokkade van de rotonde als gevolg. Dit kan ook het geval zijn als er een rotonde of spoorwegovergang op korte afstand van de onderzoekslocatie is gesitueerd.

Hoofdfietsroute

Er is gelet op de functie van de wegen waarin de rotonde is opgenomen. Maakt de rotonde bijvoorbeeld deel uit van een schoolfietsroute, dan betekent dit nogal wat voor de fietsintensiteiten. Dit hoeft niet direct een belemmering te zijn, maar deze gegevens moeten wel bekend zijn.



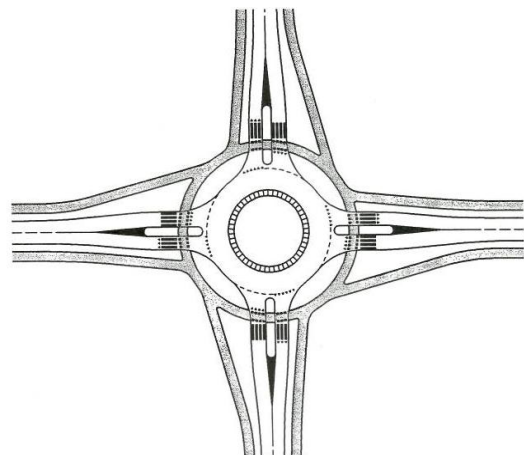
Figuur 8 Schoolfietsroute over rotonde

Uitzonderingen

Er is bijvoorbeeld gelet op de plaats van de bromfiets in het verkeer. De bromfiets hoort binnen de bebouwde kom op de rijbaan te rijden, maar de praktijk leert dat zij de wachtrijen wel eens passeren door over het fietspad te rijden. Deze, en andere uitzonderingen zijn in de telling gewoon meegeteld. Achteraf kan dan besloten worden een bepaalde uitzondering niet mee te nemen in het onderzoek. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor het passeren van een hulpverleningsvoertuig.

Lay-out rotonde

De rotondes zijn geselecteerd op overeenkomsten in de lay-out. Hierbij is gekeken naar de straal van de rotonde, de afstand van het fietspad tot de rotonde (min. 5 meter), het zicht voor de automobilisten, rotondes met een viertal takken haaks ten opzichte van elkaar enz. Getracht is om zoveel mogelijk overeenkomsten te vinden in de rotondes, waardoor de lay-out van de rotonde nagenoeg niet van invloed kan zijn op verschillen in de afwikkelingstijd op de toeritten. Hierdoor kan ook een meer betrouwbare uitspraak worden gedaan over de capaciteiten van een enkelstrooksrotonde zoals deze door het CROW wordt aanbevolen (zie figuur 9). Voor het toepassen van de nieuw op te stellen spread-sheet op andere vormen, aantal takken, maatvoering etc., is nader onderzoek nodig.



Figuur 9 Voorbeeld lay-out rotonde

Weersomstandigheden

Bij het onderzoek is ook rekening gehouden met weersomstandigheden. De tellingen zijn alleen uitgevoerd tussen zonsopkomst en ondergang. Ook was fietsvriendelijk weer een vereiste. Dit omdat bijvoorbeeld regen of mist een sterke invloed heeft op het gedrag van weggebruikers. Automobilisten zullen bij mist minder snel de rotonde op- en afrijden omdat ze meer tijd nemen om eventuele fietsers op te merken. Bij regen ontstaat er een verschuiving in de modal-split (minder fietsers, meer auto's). Hetzelfde geldt voor de lichtgesteldheid. In het donker zullen er fietsers zonder licht rijden wat onverwachte remreacties van automobilisten kan opleveren. Dit beïnvloedt het onderzoek dusdanig dat er is gekozen om alleen bij daglicht de tellingen uit te voeren.

3 INVENTARISATIE BESTAANDE METHODIEKEN

3.1 Inleiding

Om erachter te komen welke informatie nodig is voor dit onderzoek en wat de huidige methoden zijn om rotondes door te rekenen, zijn de bestaande methodieken geïnventariseerd. Dit heeft betrekking op onderzoeksvraag 3 en 4.

3. *Wat zijn de bestaande methoden om tot een goede afweging in kruispuntvormen te komen, waarbij fietsers zijn meegenomen in de capaciteitsberekening?*
4. *Hoe zijn intensiteiten verwerkt in de 'meerstrooksrotondeverkenner'? Dus met welke formules wordt er gewerkt?*

In de loop der jaren zijn er verschillende onderzoeken gedaan en programma's ontwikkeld die de capaciteiten van rotondes en kruispunten doorrekenen. Zo zijn er softwareprogramma's en formules ontwikkeld. Echter is er in bijna geen enkel geval rekening gehouden met het fietsverkeer.

3.1.1 Inleidende begrippen

Om inzicht te krijgen in het proces op een rotonde en bijbehorende gegevens is allereerst hieronder een aantal begrippen uitgelegd.

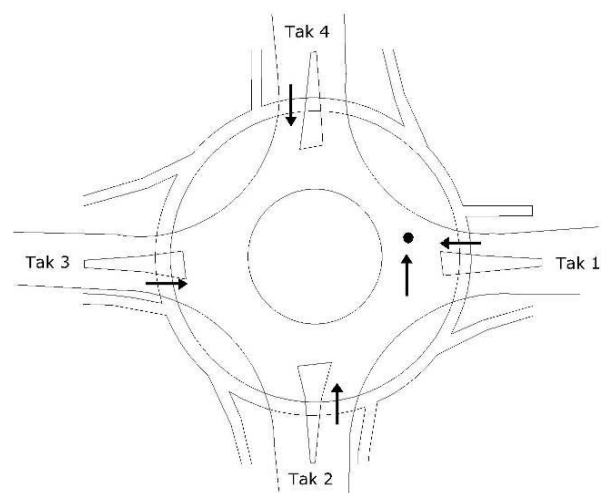
Een rotonde kan gezien worden als een serie ongeregelde kruispunten. Uit de definitie van een rotonde – 'plein waar het verkeer op het plein voorrang heeft en waarop wegen radiaal aansluiten' (CROW-publicatie 126, *Eenheid in rotondes*) – volgt dat verkeer dat de rotonde nadert, voorrang moet verlenen aan verkeer op de rotonde. Het aantal auto's dat per tijdseenheid vanaf een toerit de rotonde op kan rijden is de *toeritcapaciteit*. De toeritcapaciteit hangt naast het verkeer op de rotonde, ook van weersomstandigheden en de geometrie (lay-out) van een rotonde af. Het verkeer dat daadwerkelijk de rotonde oprijdt is de *toeritintensiteit*. Indien niet al het verkeer verwerkt kan worden dat er aan komt rijden, is de toeritintensiteit gelijk aan de toeritcapaciteit. Het verkeer op de rotonde waaraan voorrang verleent moet worden, is de *rotonde-intensiteit*.

Figuur 10 geeft meer duidelijkheid.

Hierop is een rotonde met vier armen (vanaf nu: takken) te zien. De pijl op de rotonde geeft de rotonde-intensiteit weer. Dit is de som van tak 3: linksaf en tak 2: rechtdoor en linksaf. Wanneer van alle richtingen de intensiteiten bekend zijn, is de rotonde-intensiteit uit te rekenen. De pijlen op de toeritten geven de toeritintensiteiten weer.

De stip waar beide verkeersstromen (zoals op tak 1) samen komen is het conflictpunt. De som op dit conflictpunt (rotonde-intensiteit + toeritintensiteit) wordt de conflictpuntbelasting genoemd.

Omgekeerd geldt dat de maximale conflictpuntbelasting minus de rotonde-intensiteit, de maximale toeritcapaciteit als uitkomst heeft.



Figuur 10 Conflictpuntbelasting op rotonde

Wanneer er meer verkeer aankomt dan dat de rotonde op kan rijden (oververzadiging), ontstaat een wachtrij. Voor het bepalen van een wachtrij en de bijbehorende wachttijden is van belang inzicht te krijgen in het verkeer dat aan komt rijden en het verkeer dat de rotonde op kan rijden (toeritcapaciteit). Wanneer de uurintensiteit beneden de uurcapaciteit ligt, kan er toch een wachtrij ontstaan. Het verkeer hoeft namelijk niet op alle takken gelijkmatig aan te komen.

Het aanbod wordt in veel gevallen bepaald met behulp van een *poissonverdeling*. Dit is een aankomstpatroon waarbij verkeer ongehinderd en willekeurig aan komt rijden. Dit is in de verkeerskunde een veel gebruikte verdeling om de aankomst van het verkeer in te schatten. Daarbij is het een verdeling waarmee makkelijk te rekenen is en blijkt deze een goede indicatie te geven van de werkelijkheid.

De toeritcapaciteit op een rotonde staat dus niet vast. Deze hangt voor een groot deel af van de rotonde-intensiteit(dus ook kruisend fietsverkeer).

Om te bepalen hoeveel verkeer er van een toerit de rotonde kan oprijden, is de vuistregel bedacht die de toeritcapaciteit laat afhangen van de conflictpuntbelasting. 'De conflictpuntbelasting is de som van de intensiteit op een toeleidende weg en de intensiteit van de rotonde ter hoogte van de toeleidende weg.' (CROW- *publicatie 126, eenheid in rotondes*). De hoeveelheid verkeer dat de rotonde op kan rijden hangt volgens deze methode af van de rotonde-intensiteit.

Uit ervaringscijfers blijkt de volgende conflictpuntbelasting van toepassing:

- Bij enkelstrooksrotondes ligt de maximale conflictpuntbelasting rond de 1500 pae per uur.

- Voor een tweestrooksrotonde met enkele toe- en afritten is de maximale conflictpuntbelasting rond de 1800 pae per uur vastgesteld.

- Voor een tweestrooksrotonde met tweestrooks toe- en afritten ligt de maximale conflictpuntbelasting tussen de 2100 en 2400 pae per uur.

Hierbij is van belang dat er bij tweestrooksrotondes meerdere toepassingsvormen zijn, met daarbij tussen de rotondes een grotere fluctuatie van de capaciteit.

De toeritcapaciteit kan ook beperkt worden door de *afritcapaciteit*. De afritcapaciteit is van invloed op de hoeveelheid verkeer dat de rotonde kan verlaten. Het kan zijn dat verkeer bij het verlaten van de rotonde voorrang moet verlenen aan kruisende fietsers. Daardoor ontstaat er op de rotonde een wachtrij en die slaat terug op de toeritten van de rotonde. Voor een rotonde met een enkelstrooksafrit, is een capaciteit van 1500 pae/uur op de afrit de richtlijn. Voor een rotonde met een tweestrooks afrit geldt een maximale capaciteit van 2500 pae/uur (CROW-*publicatie 126, Eenheid in rotondes*). De afritcapaciteit is, zoals eerder genoemd bij de inkadering, in dit onderzoek echter niet meegenomen. Dit zou een onderzoek op zich kunnen zijn.

3.2 Bestaande methodieken

Van de beschikbare methodieken om rotondes mee door te rekenen is hieronder een zeer beknopte omschrijving gegeven. Er is tijdens deze inventarisatie onderscheid gemaakt in softwareprogramma's en beschreven methoden/ formules. Het kan zijn dat softwareprogramma's gebruik maken van de genoemde formules. Deze inventarisatie is beperkt tot programma's en formules die veelal in Nederland worden gebruikt.

3.2.1 Softwareprogramma's

1. *Rotondedesigner (Oranjewoud)*

Een in 1994 opgesteld eenvoudig programma om rotondes mee door te rekenen. Hier kan ook fietsverkeer apart worden ingevoerd. Er wordt gebruikt gemaakt van de formules 'Van Minnen' en 'Arem/Traag'.

2. *Meerstrooksrotondeverkenner (prov. Zuid-Holland)*

Excel spreadsheet om theoretische capaciteiten van verschillende rotondevormen te kunnen bepalen. De spreadsheet is gemaakt op basis van de capaciteitsformule van Bovy (*CROW publ. 126, eenheid in rotondes*). De formule van Bovy berekent de capaciteit van een toerit voor het autoverkeer. De 'meerstrooksrotondeverkenner' is door de provincie Zuid-Holland ontwikkeld en 'officieel' bijgevoegd bij CROW-publicatie 257 turborotondes. Daarmee is deze tool voor heel Nederland beschikbaar gekomen.

3. *Capacito (Trenso)*

Softwarepakket wat bestaat uit de volgende 5 modules:

- Intensiteitscriterium van Slop (bepalen noodzaak capaciteitsmaatregel kruispunt);
- Methode Harders (capaciteitsberekening/wachttijdberekening kruispunt);
- Rotondemodel Brilon/Stuwe (capaciteitsberekening/wachttijdberekening rotonde);
- Wachttijdformule van Akçelik (capaciteitsberekening/wachttijdberekening verkeerslicht);
- Oversteekbaarheid van wegen voor voetgangers en fietsers.

Op basis van de resultaten uit deze berekeningen kan worden bepaald of de verkeersafwikkeling toereikend is.

4. *Lisa+ (Slothauer & Wauer, Duitsland)*

In LISA+ kan eenvoudig worden overgeschakeld tussen verschillende kruispuntoplossingen, zoals een met verkeerslichten geregeld kruispunt, een ongeregeld kruispunt (voorrangsregeling) of een rotonde. Voor iedere arm wordt de voorrangsregeling ingesteld. De keuze bestaat uit 'verleen voorrang', 'verplicht stoppen', 'rechtsaf voor linksaf', 'voorrangsweg' en 'ongeregeld'. De capaciteitsberekening is gebaseerd op de berekeningen conform HBS 2001 (*Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*).

5. *Omni-X (Goudappel Coffeng)*

OMNI-X kan de verkeersafwikkeling en het ruimtebeslag van verschillende kruispunttypen beoordelen. OMNI-X is modulair opgebouwd en kan ongeregelde kruispunten, rotondes en met verkeerslichten geregelde kruispunten evalueren. Op basis van de afwikkeling en ruimtebeslag kan een integrale afweging worden gemaakt tussen de mogelijke kruispunttypen.

6. *VRI of Rotonde (Mobycon)*

De methodiek VRI of Rotonde is een bruikbaar instrument op internet om per locatie te bepalen of een enkelstrooksrotonde toegepast kan worden of dat de VRI gehandhaafd kan worden. Daarbij gaat het niet om procedures en financiële consequenties, maar puur om de vraag of de rotonde vanuit het oogpunt van beleidsuitgangspunten, verkeerstechniek en verkeersveiligheid mogelijkheden biedt.

Alleen 'de rotondedesigner' gaat specifiek in op de wachttijden op de toeritten, veroorzaakt door voorranghebbend fietsverkeer.

Naast deze softwareprogramma's bestaan er nog verschillende binnen- en buitenlandse microsимулатiemodellen. Een aantal voorbeelden hiervan zijn Vissim, Aimsung, Paramics en SIDRA-intersection. Deze simulatieprogramma's kunnen tot in detail een situatie nabootsen waarbij verkeersgedrag kan worden afgesteld en gegevens worden verkregen over reistijden, snelheden, wachttijden enz. De programma's geven een 3D-weergave van de werkelijkheid.

3.2.2 Formules

Voor het berekenen van wachttijden en capaciteiten zijn er verschillende formules beschikbaar. De formules en nomogrammen (formules omgezet in grafieken) staan in: *CROW- publicatie 126, Eenheid in rotondes*. De formules zijn van toepassing op de capaciteit en wachttijden, evenals de gemiddelde wachtrijlengte. Ook de toerit- en rotondecapaciteit bij een gemiddelde wachttijd van 20 seconden is hierin af te lezen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen 200 en 400 kruisende fietsers op de rotonde. Hierna volgt een beschrijving van bestaande capaciteitsformules, wachttijdformules en oversteekformules. Daarna is omschreven hoe de variabele pae-waarde voor kruisend fietsverkeer op een rotonde in elkaar zit.

3.2.3 Capaciteitformules

Wanneer inzicht is verkregen in de capaciteit op een rotonde, is een basis gelegd voor de wachttijdbepaling. Er is een aantal formules beschikbaar die de capaciteit bepalen. De toepassingsgebieden en benodigde informatie voor elke formule zijn hieronder kort toegelicht. De capaciteitsformules met bijbehorende technische toelichting zijn opgenomen in bijlage 1a.

- Capaciteitsformule van Bovy.

Deze formule is het meest toepasbaar voor dit onderzoek. Deze formule is dan ook opgenomen in de huidige 'meerstrooksrotondeverkenner'. Hij is toe te passen op een- en tweestrooksrotondes. Hier wordt rekening gehouden met de intensiteiten op de rotondeafrit. Om de toeritcapaciteit te bepalen moeten verschillende gegevens worden ingevoerd als; invloed aantal stroken op toerit, invloed aantal rijstroken op de rotonde, invloed van het afslaan van verkeer, intensiteiten afslaand verkeer en op de rotonde. Fietsers zijn niet apart opgenomen in deze formule. Daarom worden zij meegenomen in het aantal pae's bij deze formule. De 'meerstrooksrotondeverkenner' rekent hierbij dat de fietsers een pae van 0,3 hebben. De formule zelf gaat uit van fietsers met een pae van 0,5. Bij deze formule hoort een grafiek die het verband aangeeft tussen de snelheden en intensiteiten. Deze grafiek met een uitgebreide toelichting op de formule is opgenomen in bijlage 1a.

De formule is ontwikkeld in Zwitserland en gebaseerd op empirische gegevens. De resultaten lijken in Nederland goed te voldoen, maar een uitgebreide validatiestudie is niet uitgevoerd. Let wel dat de fietsers hierin dus niet apart worden ingevoerd!

- Capaciteitsformule van Van Arem en Traag.

Deze formule is toe te passen op enkelstrooksrotondes zonder fietsers in de voorrang. De formule gaat uit van een maximale conflictpuntpbelasting van 1440 en acht de toeritcapaciteit afhankelijk van de intensiteit op de rotonde en de intensiteit van de afrit. De formule is opgenomen in het programma 'de rotondedesigner'. Voor dit onderzoek heeft deze formule dus niet veel meerwaarde aangezien hier juist het effect van kruisend fietsverkeer in de voorrang aangetoond moet worden.

- Capaciteitscorrectie van Van Minnen.

Deze formule werkt verder op basis van de formule van Van Arem en Traag, maar neemt fietsers mee in de berekening (maximaal 200 per uur). De maximale capaciteitsreductie door fietsers betreft 300 motorvoertuigen per uur. Bij een rotonde-intensiteit boven de 1000 motorvoertuigen per uur is de invloed van het fietsverkeer te verwaarlozen. Deze formule is ook opgenomen in het programma 'de rotondedesigner'. Omdat deze formule tot maximaal 200 fietsers per uur meeneemt in de berekening is deze formule ook niet afdoende voor dit onderzoek.

3.2.4 Wachtijdformules

Een aantal methoden gaat uit van de gemiddelde wachttijd en berekenen vanuit daar de gemiddelde wachtrij. De wachttijdformules met bijbehorende technische toelichting zijn opgenomen in bijlage 1b. In geen van deze wachttijdformules is aandacht besteed aan kruisend fietsverkeer met voorrang op het verkeer op de rotondetoeit.

- Formule van Willems.

Deze formule is gebaseerd op praktijkmetingen bij vier rotondes in Zuid-Holland. De resultaten blijken goed overeen te komen met de empirische gegevens. De formule is alleen bruikbaar als de intensiteit 100 pae per uur of meer onder de capaciteit ligt. Aan de hand van de intensiteit / capaciteit verhouding op de toerit wordt de gemiddelde wachttijd bepaald. Daarna wordt met de gemiddelde wachttijd, de gemiddelde wachtrijlengte bepaald.

Overige formules (Kimber&Hollis, Brilon en Akcelik&Troutbeck) verklaren de gemiddelde wachttijd aan de hand van de capaciteit op de toerit, de intensiteit op de toerit (in en soms ook na de spits) en de tijdsduur van de spitsperiode.

- Formule van Kimber&Hollis

De wachttijdformule van Kimber&Hollis wordt in de literatuur vaak aanbevolen als rekening moet worden gehouden met overbelaste situaties. Kimber&Hollis nemen de intensiteit en de capaciteit van de perioden voor en na de spitsperiode mee in de berekening.

- Formule van Brilon

De formule van Brilon kan evenals de formule van Kimber&Hollis gebruikt worden in overbelaste situaties. De formule houdt ook rekening met de belastingsgraad voor en na de beschouwde periode. De periodes voor, tijdens en na de spitsperiode kunnen apart berekend worden. De formule berekend de gemiddelde wachttijd in de spitsperiode.

- Formule van Akcelik&Troutbeck

De formule van Akcelic&Troutbeck is eenvoudig van opzet en houdt geen rekening met de belastingsgraad in de perioden voor en na de beschouwde periode. Toch blijken de uitkomsten vaak overeen te komen met de formules van Kimber&Hollis en Brilon. Vooral voor handmatige berekeningen is de formule van Akcelik&Troutbeck aan te raden.

Om wachttijden op de rotondetoeritten exact te bepalen wordt door CROW microsimulatie aangeraden als de beste methode. Dit omdat hiermee veel factoren die van invloed kunnen zijn op de wachttijd(afstand tussen voertuigen, snelheid, remvertraging, rijgedrag enz.) tot in detail afgesteld kunnen worden en hiermee de

werkelijkheid het best benaderd wordt. Het grootste voordeel van microsimulatie is dat dit dynamisch is. Het gedrag per voertuig kan hierbij verschillend zijn en de gegevens worden per voertuig verkregen.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van het programma Vissim om simulaties mee te maken. Dit is nader toegelicht in hoofdstuk 5.

3.2.5 Oversteekformules

Daarnaast is er nog een tweetal formules (Brilon/Siegloch en Marlow&Maycock) dat zich bezig houdt met de invloed van de voorranghebbende fietser. De formules bepalen de kans dat het verkeer op de toerit moet wachten voor een fietser. Rekening gehouden wordt met het feit dat bij een rustige rotonde-intensiteit het verlies dat optreedt bij een overstekende fietser groter is, dan bij een drukke rotonde-intensiteit (omschreven in de volgende paragraaf).

Deze formules met bijbehorende technische toelichting zijn opgenomen in bijlage 1c.

- Formule van Siegloch

Voor het berekenen van de invloed van de voorranghebbende fietsers op de toerit (waar dit onderzoek om draait) kan gebruikgemaakt worden van een combinatie van formules van Siegloch en Brilon. Als er sprake is van een fietsstrook (aanliggend) kan de invloed van fietsverkeer op de toerit berekend worden met de formule van Siegloch. Dit is een formule die gebaseerd is op hiaattheorie. Deze formule berekend de kans dat de toerit niet is geblokkeerd door overstekende fietsers. Daarnaast kan de capaciteitswaarde van de toerit berekend worden wanneer er sprake is van een fietsstrook.

- Formule van Brilon

Wanneer sprake is van een vrijliggend fietspad, kan de extra capaciteitswinst die dit met zich meebrengt ten opzicht van een fietsstrook berekend worden met de formule van Brilon. Deze formule is oorspronkelijk bedoeld om de capaciteitswinst van opstelruimte in de middenberm van een voorrangsweg bij het oversteken te berekenen. De formule berekend de capaciteit van de toerit bij een vrijliggend fietspad. Dit is alleen geldig bij opstelruimte van één voertuig tussen het fietspad en de rotonde.

- Formule van Marlow&Maycock

De formules van Marlow&Maycock zijn oorspronkelijk bedoeld voor het berekenen van de invloed van overstekende voetgangers op de capaciteit. Het is waarschijnlijk dat deze formules ook voldoen voor overstekend fietsverkeer. Ze hebben een theoretische basis.

3.2.6 Bepaling variabele pae-waarde

In deze paragraaf is toegelicht hoe is gekomen tot de variabele pae-waarde van fietsverkeer bij verschillende intensiteiten op de rotonde. (Bron: *Afstudeerscriptie Onderzoek naar de maximale wachtrijlengte op toeritten van rotondes*. Régis Leijs).

Bij een hogere rotonde-intensiteit is de invloed van de kruisende fietser beperkt. Verkeer dat de rotonde op wil rijden ondervindt immers geen hinder van een fietser, wanneer er op hetzelfde moment ook verkeer op de rotonde rijdt. Bij een verzadigde rotonde is uitgegaan dat fietsers geen invloed hebben (0 pae). Bij een rotonde-intensiteit van 0 heeft elke fietser 1 pae aan invloed. Zo is de hoeveelheid pae per fietser bepaald. Gekozen is om in het

Rotonde-intensiteit	Pae waarde per kruisende fietser
1350-1500 pae	0
1200-1350 pae	0,1
1050-1200 pae	0,2
900-1050 pae	0,3
750-900 pae	0,4
600-750 pae	0,5
450-600 pae	0,6
300-450 pae	0,7
150-300 pae	0,8
0-150 pae	0,9
0 pae	1

Figuur 11 Bepaling invloed fietsers in pae's

drukste uur de pae-waardes te bepalen. Het moet immers in ieder geval een periode zijn waarbij het aanbod constant aanwezig is⁴. Zie figuur 11 voor de bepaling van de variabele pae per kruisende fietser door de rotonde-intensiteit. Deze variabele pae-waardes worden gebruikt bij het berekenen van de toeritcapaciteit. Ook worden deze waardes ingevoerd in de huidige 'meerstrooksrotondeverkenner' om het verschil t.o.v. de vaste pae-waarde van 0,3 per kruisende fietser te bepalen. Aan de hand van deze tabel wordt de pae-waarde per fietser dus als volgt bepaald: Bij een rotonde-intensiteit van bijvoorbeeld 650 pae moet volgens tabel 11 een pae-waarde van 0,5 per kruisende fietser worden aangehouden. Wanneer er bijvoorbeeld 100 fietsers zijn geteld, betekend dit dat deze in totaal 50 pae zijn ($100 \cdot 0,5 = 50$ pae). Totaal brengt dit de rotonde-intensiteit dan op 700 pae (650 op rotonde + 50 pae aan fietsers).

3.2.7 Effect fietsers op afrit

De fietser die rijdt waar verkeer afslaat zal ook invloed hebben op de rotondecapaciteit. Het kan voorkomen dat afslaand verkeer moet wachten op een passerende fietser. Dit wachtende verkeer kan bij meerdere fietsers een rij gaan vormen, waarbij deze rij terug slaat op de toerit. In dit geval kan er geen verkeer vanaf de toerit de rotonde oprijden, maar rijdt het verkeer op de rotonde ook niet door. De rotonde-intensiteit is voor een tijdseenheid dan lager, maar de toeritintensiteit is in die zelfde tijdseenheid niet hoger geworden. Vandaar dat deze fietser ook invloed heeft op de toeritcapaciteit. Bij weinig afslaand verkeer is de invloed beperkt. Bij meer afslaand verkeer is de invloed groter. Echter is in dit onderzoek, zoals eerder genoemd, de afrijcapaciteit niet meegenomen. Het effect van de fietser die voor de afrit langs rijdt is dus ook buiten beschouwing gelaten. Het is daarom niet mogelijk om aan de hand van de in dit rapport verwerkte gegevens het totale effect van fietsers op de rotondecapaciteit met 100% zekerheid te bepalen. De capaciteit zou namelijk lager uit kunnen vallen door kruisend fietsverkeer over de afrit.

⁴Bron: *Afstudeerscriptie Onderzoek naar de maximale wachtrijlengte op toeritten van rotondes*. Régis Leijs, Deventer, mei 2003.

4 VELDONDERZOEK

4.1 Inleiding

Veldonderzoek geeft een beeld van de werkelijkheid. Hier moeten wel de juiste aspecten gemeten worden, zodat later de gewenste informatie kan worden verkregen. Een voorbeeld van een veldonderzoekmeting is een telling van het verkeer op straat. Aan de hand van bestaande methoden is naar voren gekomen dat de toeritcapaciteit voor een groot deel afhangt van de rotonde-intensiteit, kruisende fietsers en eventueel afslaand verkeer. Het doel van het veldonderzoek is gegevens te verkrijgen over de intensiteiten gemotoriseerd verkeer op de rotonde en de rotondetoerit, alsmede over de fietsintensiteit op de rotonde. Intensiteiten worden altijd verwerkt in pae's per uur. Ook kunnen er tijdens de veldmeting gegevens worden verkregen over de wachttijden op de rotondetoeritten bij bepaalde intensiteiten. Het doel van het veldonderzoek is het bepalen van het effect van kruisend fietsverkeer door waarnemen van wachttijden op de rotondetoerit bij een bepaalde intensiteit kruisend fietsverkeer. Belangrijk hierbij is de combinatie van alle genoemde intensiteiten.

4.2 Voorbereiding veldonderzoek

Voorafgaand aan het veldonderzoek zijn de onderzoeklocaties bepaald (zie paragraaf 4.3). Er is bedacht wat er gemeten moet worden en op welke manier dit het best gedaan kan worden. Ook de locatie van de waarnemers is bepaald.

Na het bepalen van de onderzoekslocaties zijn duidelijke en makkelijk hanteerbare telformulieren opgesteld. Deze formulieren zijn opgenomen in bijlage 3. Na enkele proeftellingen op verschillende rotondes bleek dat het formulier nog niet helemaal makkelijk hanteerbaar was. Hierop zijn de formulieren aangepast waardoor ze tijdens de echte tellingen niet voor problemen hebben gezorgd.

De in de inleiding genoemde gegevens kunnen gemeten worden per tijdseenheid. In dit onderzoek is gekozen om per blokken van 5 minuten te meten. Hierdoor kunnen eventuele onregelmatigheden makkelijk worden weggewerkt zonder dat de gegevens van de gehele meetperiode op de bepaalde locatie verloren gaan. Achteraf kan hiermee makkelijk het aantal pae's per uur worden bepaald (12 blokken van vijf minuten is een uur). In paragraaf 4.4 wordt deze omrekening nader toegelicht.

In dezelfde tijd kan de wachttijd worden genoteerd. In dit onderzoek is gekozen om van elke vierde auto in de wachtrij de wachttijd te meten van aansluiten in de wachtrij tot aan het passeren van de haaiantanden voor de rotonde. Hiervoor is gekozen omdat de 'meerstrooksrotondeverkenner' ook met deze afstand rekent. Hierdoor valt er naderhand een betere vergelijking te maken met gegevens verkregen uit het veldonderzoek en de al bestaande gegevens ('meerstrooksrotondeverkenner' en de nomogrammen).

Hoe vaker er gemeten wordt, hoe meer bruikbare tijdsblokjes er zijn die inzicht kunnen geven in de opbouw en afbouw van de wachttijden bij verschillende intensiteiten fietsenverkeer. Het is ook van belang om inzicht te krijgen in situaties met een minimaal aanbod fietsers. Hierdoor wordt het effect van verschillende aantallen fietsers duidelijk. Het is niet gewenst om alleen uitspraken te kunnen doen met intensiteiten die op de gemeten rotondes voorkomen. Dit zou een vrij beperkt aantal zijn. Ook met andere intensiteitensets is het gewenst om uitspraken over de wachttijden te kunnen doen. Bij de metingen op straat kan immers niet voor eigen intensiteitensets gekozen worden.

Simuleren is daarvoor een goede optie, hier kunnen eigen intensiteitensets worden ingevuld, waardoor vele verschillende situaties kunnen worden nagebootst. De waarden uit het veldonderzoek dienen dan als controle.

Veldonderzoek dient om gegevens te genereren, simulatie om meer gegevens te genereren met andere intensiteitensets.

Wanneer alleen simulatie wordt gedaan is geen controle mogelijk van de werkelijkheid.

Analyse dient om met de resultaten uit het veldwerk en de simulatie, relevante uitspraken te doen over de wachttijden en capaciteitsreductie op de toerit door kruisend fietsverkeer.

In eerste instantie was het de bedoeling om 20 locaties te onderzoeken. Dit is tijdens de voorbereiding van het onderzoek en in goed overleg met Royal Haskoning en op aanraden van SWOV teruggebracht naar tien locaties. 20 locaties bleek i.v.m. de planning niet haalbaar. Daarnaast heeft de SWOV aangegeven dat wanneer dit onderzoek 100% representatief moet zijn, er veel langer en veel meer tellingen gedaan moeten worden. Dat is in een afstudeerperiode van vier a vijf maanden niet haalbaar. Om een goed beeld te krijgen heeft de SWOV aangeraden minimaal vijf verschillende locaties te onderzoeken. Uiteindelijk is dit uitgekomen op tien verschillende locaties in drie verschillende gemeenten. Daarnaast zijn er door middel van simulaties extra gegevens gegenereerd aan de hand van de uitgevoerde tellingen. De onderzochte locaties zijn in paragraaf 4.3 aangegeven.

4.3 De onderzochte locaties

De onderzoekslocaties zijn voornamelijk aangedragen door contacten binnen Royal Haskoning en door eigen kennis van het wegennet. Daarnaast heeft de gemeente Enschede een aantal locaties aangedragen, welke allen zijn opgenomen in het onderzoek. De locaties zijn uitgezocht op lay-out en bereikbaarheid voor de veldonderzoekers, in beginsel met behulp van online kaartmateriaal⁵. Een veldbezoek aan de locaties gaf de uiteindelijke doorslag voor de keuze van onderstaande locaties. In totaal is van de onderstaande tien locaties één toerit per rotonde onderzocht:

Locatie 1: Enschede, Haaksbergerstraat - Ferdinand Bolstraat

Locatie 2: Enschede, Auke Vleerstraat - Capitool

Locatie 3: Enschede, Knalhatteweg – Broekheurnering

Locatie 4: Enschede, Zuiderval – Haaksbergerstraat

Locatie 5: Enschede, H.T. Kuilestraat – Binnenhaven

Locatie 6: Hengelo, Sloetsweg – Deurningerstraat

Locatie 7: Hengelo, Deurningerstraat – Salamanderstraat

Locatie 8: Hengelo, Westelijke Esweg – Gerrit Peuscherstraat

Locatie 9: Rijssen, Roelf Bosmastraat – Holterstraatweg

Locatie 10: Rijssen, Enterstraat – Karel Doormanstraat

Van de exacte locaties zijn overzichtkaartjes en impressiefoto's opgenomen in bijlage 2. Er is geteld op willekeurige dagen (mede afhankelijk van de weersomstandigheden) in de ochtend- en avondspits. Er is gekozen voor willekeurige dagen om een zo groot mogelijke spreiding in meetgegevens te verkrijgen. Op één locatie is in de namiddag geteld omdat het hier een schoollocatie betrof (Sloetsweg – Deurningerstraat, Hengelo).

⁵ Digitaal kaartmateriaal: Google Maps(streetview), Google Earth, MAP24,

4.4 Uitvoering veldonderzoek

Nadat de onderzoekslocaties waren vastgesteld is begonnen met de tellingen. Er is gekeken naar het aantal gemotoriseerde voertuigen per uur en het aantal fietsers per uur, die een bepaalde tak van de rotonde passeert en elkaar kruist.

Dit is gedaan door één van de twee waarnemers al het gemotoriseerde verkeer op de toerit te laten tellen. Daarnaast nam deze persoon door middel van een stopwatch ook de wachttijd waar van het vierde voertuig in de wachtrij op de toerit.

Onder wachtrij wordt in dit onderzoek een rij van minimaal 4 motorvoertuigen verstaan. Dit is gemeten in seconden vanaf het aansluiten in de wachtrij tot het moment dat de achterwielen van het voertuig de

Motorfiets	0,75	pae
Personenauto	1	pae
Ongelde vrachtauto	1,9	pae
Gelede vrachtauto	2,4	pae
Autobus	3	pae

haaietanden voor het oprijden van de rotonde(niet het fietspad) gepasseerd zijn. Deze aantallen zijn per 5 minuten genoteerd op het telformulier zodat bij eventuele oneffenheden een blok van 5 minuten gemakkelijk verwijderd kan worden. De aantallen gemotoriseerde voertuigen zijn naderhand omgerekend naar pae's/uur. Dit omdat dit in de verkeerskunde een bekende rekeneenheid is. Zo rekent de 'meerstrooksrotondeverkenner' ook met intensiteiten in pae's. In figuur 12 is aangegeven hoeveel pae per voertuigtype gerekend is. De verdeling is opgesteld doormiddel van gegevens uit de 'meerstrooksrotondeverkenner' en het ASVV (*ASVV 2004, Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom, oktober 2004*)

Figuur 12 Voertuigtypen in pae's

De tweede waarnemer telde het aantal motorvoertuigen dat zich op de rotonde bevond en de toerit kruiste. Deze persoon telde ook het aantal fietsers dat zich op de rotonde bevond en de betreffende tak kruiste. De fietsers zijn individueel geteld. Ook wanneer er meerdere fietsers naast elkaar fietsen, of de fietsers in groepen tegelijk de toerit passeren, zijn deze individueel geteld. Dit om nauwkeurige gegevens te verkrijgen. Er is overwogen om twee(of drie) naast elkaar fietsende fietsers maar als één fietser te noteren, aangezien deze maar de lengte hebben van één fietser en een eventueel wachtende automobilist hier geen extra hinder van ondervindt. Toch is besloten om tijdens de telling alle fietsers individueel te tellen. Zo kan achteraf altijd nog een percentage worden toegepast op het totaal aantal fietsers. Wanneer tijdens de telling direct een verdeling wordt gemaakt wanneer fietsers naast elkaar fietsen, gaat de betrouwbaarheid van het onderzoek achteruit, omdat achteraf nooit meer te achterhalen is hoeveel fietsers er precies de toerit hebben gekruist.

4.5 Resultaten en analyse veldonderzoek

In deze paragraaf worden de resultaten uit het veldonderzoek behandeld en geanalyseerd. Zaken die inzicht verschaffen in de wachttijden, zijn in tabellen of grafieken tegen elkaar uitgezet. Zo is stapsgewijs toegewerkt naar de mate van invloed van fietsverkeer op de wachttijden op de toerit.

Uit veldonderzoek komen resultaten voort en deze vormen de basis voor de analyse. De uitkomsten van de veldonderzoekmeting zijn gebruikt in een berekening om aan de gewenste informatie te komen(zie figuur 13). Naast de resultaten van het veldonderzoek, zijn de resultaten van dit hoofdstuk getoetst met bestaande methoden als de 'meerstrooksrotondeverkenner' en Vissim.

Er is in totaal 23 uur gemeten wat resulteert in 276 momenten van 5 minuten. Binnen deze 276 momenten zijn er 86 momenten met 1 of meer getelde wachttijden. In totaal zijn er 226 wachttijden geteld over alle locaties. De gedetailleerde meetgegevens per locatie zijn opgenomen in bijlage 4.

4.5.1 Verkregen gegevens

Met de verkregen gegevens tot nu toe kan de toeritcapaciteit per rotonde en de I/C-waarde van de toeritten per rotonde worden bepaald. Deze I/C-waarde kan naast de getelde wachttijden worden gelegd. Een logisch beeld wat hier ontstaat is dat hoe hoger de I/C-waarde is, hoe meer getelde wachttijden en hoe hoger de gemiddelde wachttijd in seconden is. Dit is terug te vinden in onderstaande tabel 13. De gegevens in de tabel zijn per uur.

Rotonde	Kruisende fiets	Pea waarde fietser	Fietzers in pae	Rotonde intensiteit	Toerit intensiteit	Toerit capaciteit	I/C verhouding	Getelde wachttijden	Gemiddelde wachttijd in sec.
F. Bolstraat (ochtend)	388	0,9	349	74	677	1127	0,60	25	21
F. Bolstraat (ochtend) (vakantie)	71	0,9	64	22	514	1464	0,35	0	0
F. Bolstraat (middag)	248	0,9	223	54,8	602	1272	0,47	12	19
Sloetsweg (middag)	603	0,8	482	157	851	911	0,93	37	29
Sloetsweg (middag)	625	0,9	563	127	728	861	0,85	19	30
Capitool	113	0,5	57	749	377	745	0,51	26	39
Capitool	129	0,5	65	715	260	771	0,34	11	44
Knalhutweg	128	0,7	90	392	319	1068	0,30	4	23
Enterstraat	291	0,8	233	238	395	1079	0,37	9	15
Enterstraat (vakantie)	8	0,8	6	159	264	1385	0,19	2	21
Westelijke Esweg	47	0,9	42	96	295	1412	0,21	1	12
H.T. Kuilestraat	46	0,8	37	166,3	355	1347	0,26	18	14
Deurningerstraat	255	0,5	128	639	391	784	0,50	21	32
Roelf Bosmastraat (vakantie)	6	0,9	5	19	391	1526	0,26	0	0

Figuur 13 Berekening I/C verhoudingen en toeritcapaciteit per rotonde

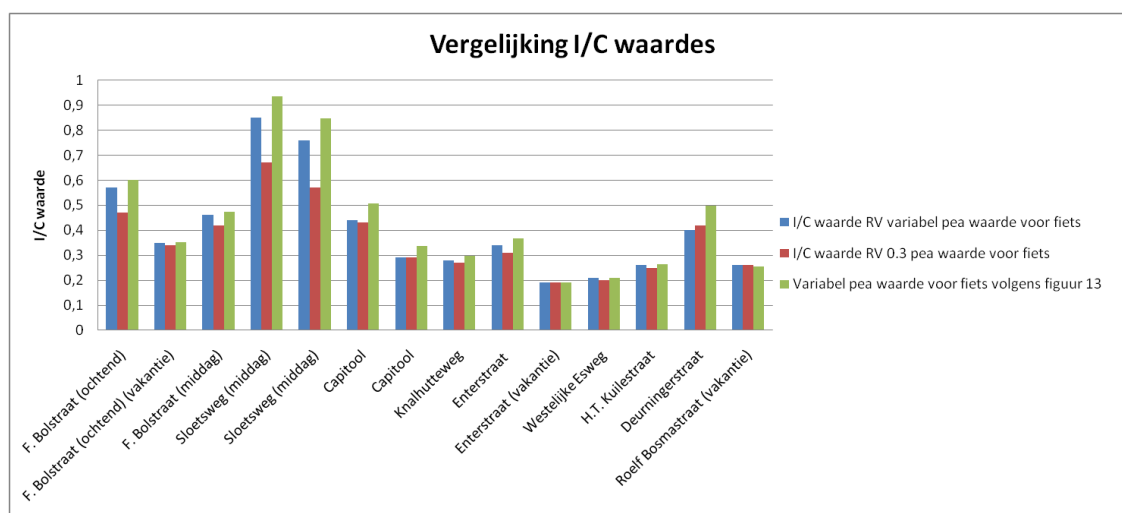
Als eerste is het aantal kruisende fietsers omgerekend naar variabele pae's middels eerder genoemde methode. Hiermee wordt inzicht verkregen in de invloed van fietsers in pae's. De toeritcapaciteit is vervolgens bepaald door de volgende redenatie: maximale conflictpunbelasting (1500) – invloed fietsers in pae – rotonde-intensiteit. Hierbij worden dus in principe de pae's van de rotondeintensiteit en de pae's van de kruisende fietsers samengenomen, om dit van de conflictpunbelasting af te trekken. De bijbehorende I/C-verhouding per toerit is vervolgens te berekenen door de toeritintensiteit / toeritcapaciteit te doen. In figuur 13 is een tabel weergegeven. Hierin zijn alle uitkomsten per rotonde terug te vinden. Deze tabel is ook opgenomen in bijlage 5. Opvallend hierin zijn de intensiteiten in de vakantieperiode. Er zijn in totaal drie tellingen op drie verschillende locaties verricht in de voorjaarsvakantie. In de tabel is snel te zien dat de intensiteiten in deze periode beduidend lager liggen dan tijdens de overige tellingen. De I/C-verhouding is veel lager dan bij de overige tellingen waardoor er in twee gevallen geen wachttijden zijn waargenomen en in één geval slechts twee keer. Het gevolg van de intensiteiten op een bepaalde locatie is hiermee logischerwijs duidelijk zichtbaar.

De verkregen gegevens geven geen goed inzicht in wanneer de gemeten wachttijd wordt veroorzaakt door kruisende fietsers of auto's op de rotonde(of door allebei). Om dit probleem te omzeilen kan er bij de analyse van deze gegevens gekeken worden naar de uitschieters. Dit houdt in dat er alleen naar de gegevens gekeken kan worden waaraan duidelijk te zien is dat de wachttijd wordt veroorzaakt door fietsers. Dit kan gedaan worden door alleen de metingen te nemen waar het aantal getelde kruisende

fietsers ver boven het getelde aantal kruisende auto's ligt. Zo is er bijvoorbeeld een telmoment (5 min.) dat er plusminus 150 fietsers en 4 auto's de toerit van de rotonde kruisen. Wanneer er dan een groot aantal auto's de rotonde op wil rijden is het zeker dat er wachttijden ontstaan door de kruisende fietsers. Nadeel hierbij is dat er alleen een effect aantoonbaar is bij extreem hoge fietseraantallen. Wanneer de rotonde-intensiteit en de fietsintensiteit dus niet in grote mate van elkaar verschillen is het effect van enkel de fietsers moeilijk aan te tonen.

4.5.2 Vergelijking uitkomsten

Om te vergelijken of de variabele pae-waarden geloofwaardige uitkomsten geven, zijn de intensiteiten uit figuur 13 vergeleken met de formule van Bovy in de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Dit is gedaan om zicht te krijgen op de effecten van de variabele pae-waarde tegenover de starre pae-waarde van 0,3. Hierbij moet dus gelet worden op dat CROW aanbeveelt een fietser als 0,3 pae te rekenen, terwijl in dit onderzoek een variabele verdeling is toegekend aan het fietsverkeer (figuur 11). Daarom zijn de intensiteiten op de rotonde en de intensiteiten fietsverkeer twee keer getoetst met de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Figuur 14 geeft een grafiek met de uitkomsten weer.



Figuur 14 Vergelijking I/C waardes

De blauwe kleur geeft per rotonde de uitkomst van I/C waarde weer wanneer de intensiteiten uit figuur 13 worden ingevoerd in de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Hierbij zijn de variabele pae-waardes (volgens figuur 11) voor de fietsers aangehouden.

De rode kleur geeft de I/C waardes weer wanneer dezelfde intensiteiten worden ingevoerd in de 'meerstrooksrotondeverkenner', maar waarbij de fietsers ten alle tijden een pae-waarde van 0,3 krijgen toegekend.

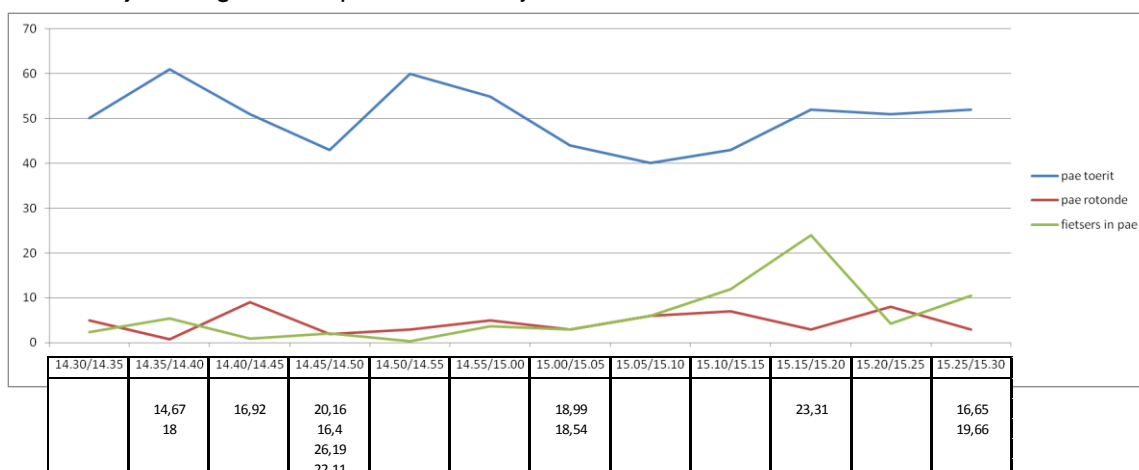
De groene kleur geeft de I/C waardes volgens de eigen berekening met variabele pae-waardes volgens figuur 11, dus zonder invoer in de 'meerstrooksrotondeverkenner'.

Het is duidelijk te zien dat de uitkomsten allemaal erg dicht bij elkaar liggen met uitzondering van de twee tellingen op de Sloetsweg. Figuur 13 laat zien dat de intensiteiten op de rotonde vrij laag zijn, terwijl er op dat moment, in vergelijking met de andere tellingen, extreem veel fietsers passeren. Volgens de variabelen krijgt de fietser hierdoor een grotere pae-waarde (en dus effect op de wachttijd) dan wanneer er voor

elke fietsers 0,3 wordt aangehouden. Doordat de fietsers hierbij meer effect hebben neemt de I/C waarde op de toerit toe. Dit verklaart de hogere uitkomsten dan de uitkomsten waarbij elke fietser 0,3 pae is. Het lijkt aannemelijker de variabele pae-waardes aan te houden omdat wanneer de rotonde-intensiteit laag is, het effect van een kruisende fietser hoger is. Wanneer de rotonde-intensiteit hoog is, is het effect van de kruisende fietser kleiner, aangezien het verkeer op de toerit dan sowieso moet wachten met oprijden tot er ruimte is op de rotonde.

Van elke rotonde afzonderlijk is een grafiek opgesteld. Hierin is het aantal pae's op de toerit, op de rotonde en het aantal kruisende fietsers in pae weergegeven en uitgezet tegenover de wachttijden. Deze grafieken zijn opgenomen in bijlage 4. Opvallend is dat hieruit geen eenduidige lijn te halen is. Bij sommige grafieken is wel af te lezen wanneer het aantal fietsers stijgt, er ook wachttijden zijn gemeten. Dit lijkt een logisch gevolg, echter geeft een aantal andere grafieken wachttijden aan, waar de lijn van de fietsers of auto's op de rotonde juist daalt(zie figuur 15). Dit kan in een dergelijk geval komen door het verkeer op de rotonde. Dit is echter moeilijk te achterhalen, aangezien er gemeten is in blokken van 5 minuten. In die 5 minuten hoeft het verkeer niet allemaal netjes verdeeld aan te komen. Hiermee wordt bedoeld dat het aantal fietsers in dat blok bijvoorbeeld allemaal in 1 minuut passeert. In zo'n geval worden er een aantal wachtrijen gemeten terwijl het aantal fietsers over die 5 minuten (gemiddeld) helemaal niet hoog is.

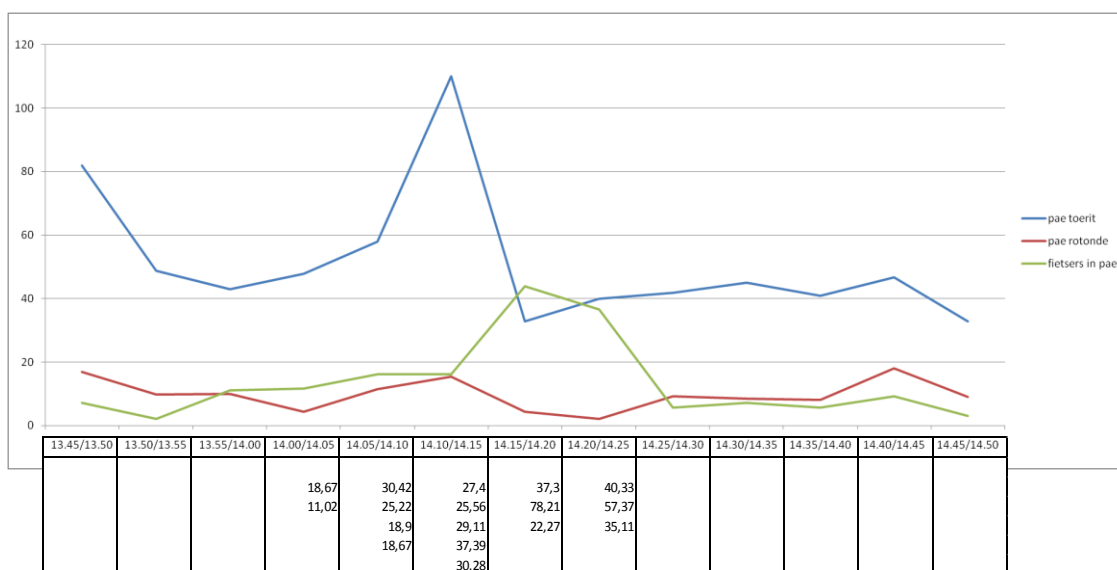
Andersom kan het voorkomen dat het aantal fietsers erg laag is over het gehele blok, maar dat er op een bepaald moment net een aantal auto's tegelijk de rotonde op wil rijden, terwijl er op dat moment ook toevallig een aantal auto's achter elkaar voor de toerit langsrijden. Hierdoor worden dan tijdens de meting enkele wachttijden genoteerd, terwijl het aantal auto's over de 5 minuten gezien helemaal niet hoog is. De gekleurde lijnen geven per stroom(toerit, rotonde of kruisende fietsers) de intensiteiten in pae's per vijf minuten aan. Op de horizontale as is te zien dat dit is gedaan in stappen van vijf minuten. De tabel die onder de grafiek is afgebeeld geeft de wachttijden in seconden aan die zijn waargenomen per blok van vijf minuten.



Figuur 15 Grafiek behorende bij rotonde F.Bolstraat

In figuur 16 lijkt een vrij logisch verband te zitten tussen het aantal fietsers op de rotonde, het aantal auto's dat op de toerit komt aanrijden en de wachttijden. Dit is goed te zien in het tijdsbestek 14:05 uur tot en met 14:25 uur; hier worden meerdere wachtrijen waargenomen, wanneer de intensiteiten kruisend fietsverkeer en verkeer op

de toerit toenemen. Dit is niet bij elke rotonde zo duidelijk waargenomen. De grafieken behorende bij de overige rotondes zijn opgenomen in bijlage 4.



Figuur 16 Grafiek behorende bij rotonde Sloetsweg

Met de gegevens uit de veldmeting kan een statistische analyse gemaakt worden. Deze analyse bestaat uit het opstellen van puntenwolken en daaruit een regressielijn⁶ en correlatiecoëfficiënt⁷ bepalen. Hiermee wordt duidelijk of de verschillende verbanden tussen de intensiteiten en vertragingstijden betrouwbaar zijn. De punten in de puntenwolken geven in een soort grafiek alle waargenomen vertragingstijden en de in die periode (vijf minuten) waargenomen intensiteiten aan. De gegevens uit alle tellingen van alle locaties zijn hier bij elkaar genomen en in één puntenwolk gezet.

4.5.3 Werkwijze

Er is begonnen met het uitzetten van het aantal kruisende fietsers en voertuigen op de rotonde tegenover de vertragingstijd. Dit zijn de vertragingstijden voor het gemotoriseerde verkeer op de toerit. Dit is weergegeven in figuur 17. Vervolgens is in de puntenwolk een horizontale lijn gelegd op 20 seconden. Dit omdat 20 seconden zoals eerder genoemd de grens van acceptabele wachttijd is. Alles boven de 20 seconden wachttijd is in principe niet gewenst.

Er kan gezegd worden dat alle punten in de puntenwolk links onderin vrij logisch zijn. Bij weinig kruisend verkeer (auto's + fietsers) zijn de wachttijden ook minimaal. Alle punten rechts onderin de grafiek zouden een zeer goed functionerende rotonde zijn. Bij hoge aantallen kruisend verkeer zou de vertragingstijd dan namelijk laag zijn. De punten rechts bovenin de grafiek geven situaties aan van een hoog aantal kruisend verkeer, maar ook een hoge vertragingstijd. Dit is een logisch gevolg.

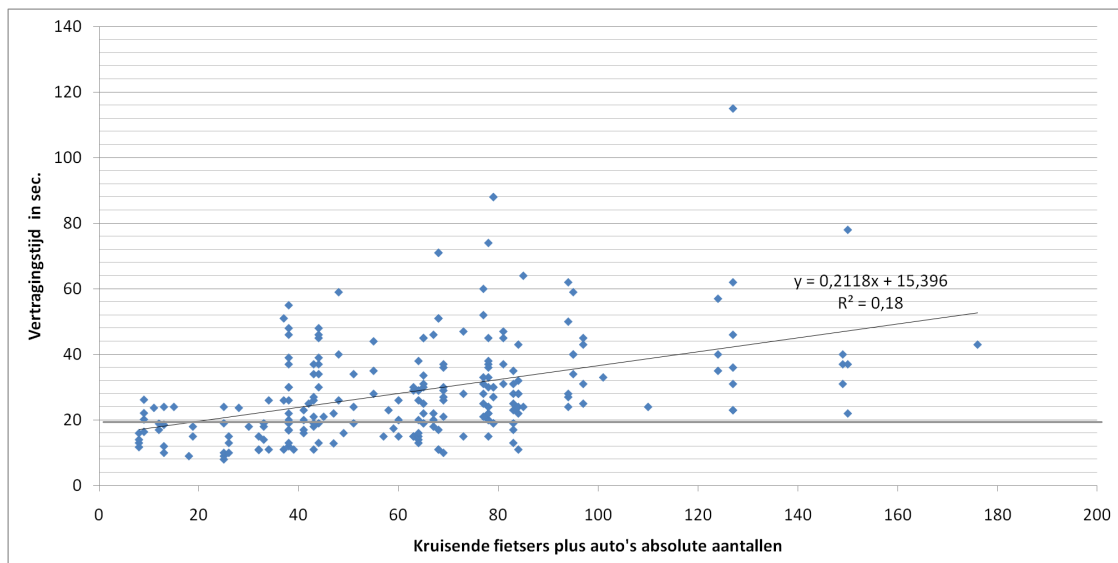
⁶ Regressielijn = een lijn door een verzameling punten met een minimale afwijking ten opzichte van die punten.

⁷ Correlatiecoëfficiënt = De correlatiecoëfficiënt r is een maat voor de betrouwbaarheid. Als r een waarde aanneemt dicht bij de 1 of -1 dan is de samenhang tussen x en y sterk. Als r een waarde aanneemt die dicht bij 0 zit is de samenhang minder sterk of zelfs afwezig (de punten liggen dan niet op de regressielijn)

De punten links bovenin zijn het meest opmerkelijk. Hier ontstaan bij weinig kruisend verkeer hoge vertragingstijden. In figuur 17 liggen hier ook de meeste punten. De moeilijkheid ligt hier in het bepalen van de oorzaak hiervan. Dit omdat de punten zowel kruisende fietsers en auto's zijn.

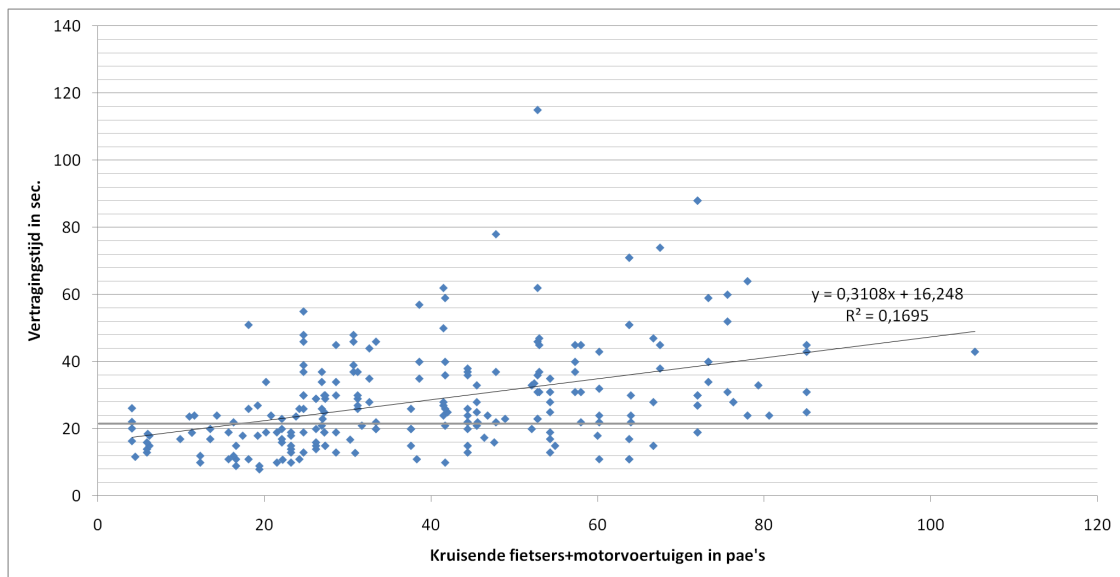
Wel kan door middel van een regressielijn en de correlatiecoëfficiënt de betrouwbaarheid van de verbanden worden bepaald. De regressielijn is de lijn die door de punten loopt. Deze lijn heeft een minimale afwijking ten opzichte van al deze punten. Uit deze lijn komt een R^2 waarde naar voren. In figuur 17 is dit 0,18. De R^2 is nodig om de correlatiecoëfficiënt te berekenen. De mate van correlatie tussen twee variabelen wordt uitgedrukt in de correlatiecoëfficiënt. De waarde daarvan kan variëren tussen -1 en +1. Daarbij betekent 0: geen lineaire samenhang, +1: een perfecte positieve lineaire samenhang en -1: een perfecte negatieve lineaire samenhang. Hoe verder de correlatiecoëfficiënt verwijderd is van 0, hoe sterker de correlatie en hoe nauwkeuriger de waarde van de ene variabele voorspeld kan worden op grond van de waarde van de andere variabele.

De uitgerekenen correlatiecoëfficiënten worden verderop in figuur 22 weergegeven. Volgens de berekening hoort er bij figuur 17 een correlatiecoëfficiënt van 0,42. Dit geeft aan dat er een redelijk betrouwbaar verband zit tussen de kruisende fietsers+auto's in absolute aantallen en de daarbij ontstane vertragingstijden. Echter, heel erg betrouwbaar lijkt dit nog niet, aangezien het niet erg dicht in de buurt van 1 of -1 komt.



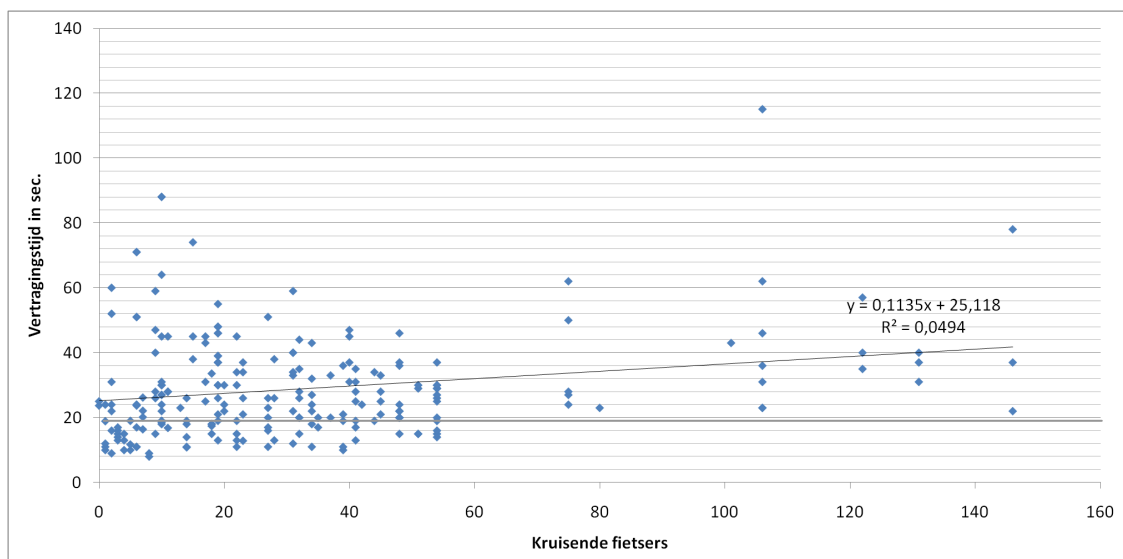
Figuur 17 Puntenwolk fietsers+auto's

De eerste puntenwolk is opgesteld uit absolute aantallen fietsers en auto's. Dit kan een vertekend beeld geven, aangezien de 'meerstrooksrotondeverkenner' en andere programma's werken met aantallen in pae's. Daarom is in figuur 18 een puntenwolk weergegeven waarbij de losse aantallen auto's en fietsers zijn omgerekend naar pae's. Hierbij geldt dat fietsers een pae-waarde hebben van 0,3. Dit omdat de 'meerstrooksrotondeverkenner' hiermee ook rekent en omdat er anders geen vergelijking gemaakt kan worden. Bij deze puntenwolk hoort een R^2 van 0,17 en een correlatiecoëfficiënt 0,41. Dit is een klein verschil ten opzichte van figuur 17. Dit is te verklaren doordat de wachttijden die gemeten zijn hetzelfde blijven en alleen de voertuigen worden omgerekend. Hierdoor wordt bijvoorbeeld het aantal fietsers stukken minder (allemaal x 0,3 pae).



Figuur 18 Puntenwolk fietsers+auto's in pae's

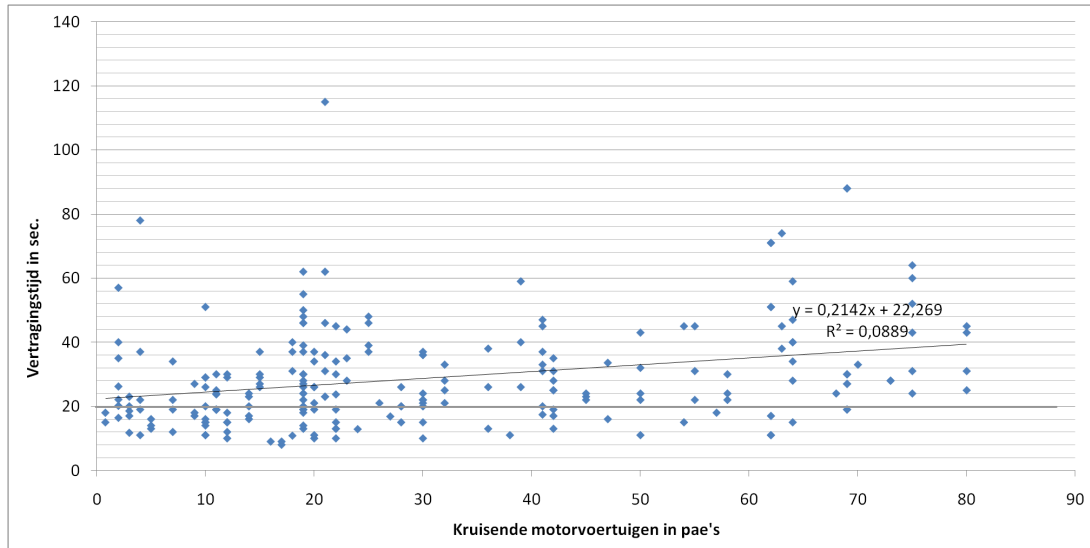
Wederom is op dit moment nog moeilijk te bepalen wat het effect van de fietsers is. Dit omdat de fietsers en de auto's nog samen zijn genomen. Om een beter beeld te verkrijgen van het effect van enkel het fietsverkeer zijn de puntenwolken uit elkaar gehaald. Figuur 19 geeft een puntenwolk weer van de verhoudingen tussen de kruisende fietser en de vertragingstijden voor gemotoriseerd verkeer op de toerit. Figuur 20 doet dit voor de kruisende motorvoertuigen.



Figuur 19 Puntenwolk kruisende fietsers

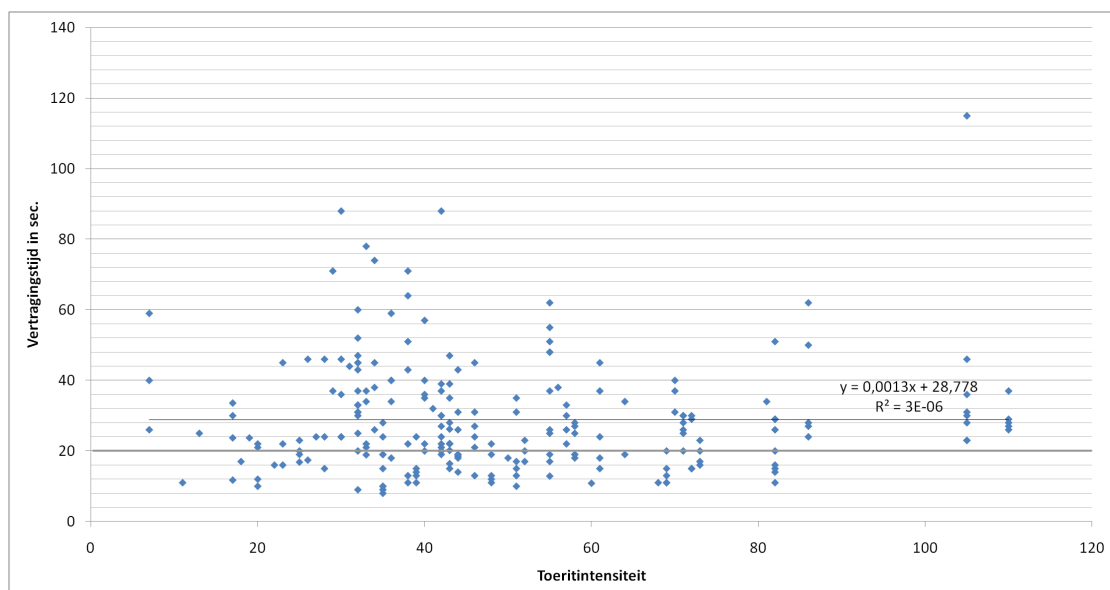
Na scheiding van de puntenwolk zien we een iets betere verdeling van aantallen per voertuigtype (fiets of auto) en de bijbehorende wachttijden. Figuur 19 geeft weer dat op de meeste rotondes er niet meer dan 60 kruisende fietsers per blok van 5 minuten langskomen. Een aantal punten geeft aan dat er een uitzonderlijk hoog aantal fietsers is gepasseerd. Een logisch gevolg is dat ook de vertragingstijden hierbij tot boven de 20 seconden oplopen. De correlatiecoëfficiënt bij figuur 19 is 0.22. Voor figuur 20 geldt dat

dit 0.30 is. Hieruit kan worden opgemaakt dat de samenhang tussen kruisende motorvoertuigen en de vertragingstijden groter is dan de samenhang van kruisende fietsers en vertragingstijden.



Figuur 20 Puntenwolk motorvoertuigen in pae's

Als laatst is geprobeerd het verband te bepalen tussen de toeritintensiteit en de vertragingstijden (zie figuur 21). Opvallend is dat volgens de berekening blijkt dat deze relatie nagenoeg niet aanwezig is. De correlatiecoëfficiënt die hierbij hoort is namelijk 0,002. Zolang de capaciteit van de toerit niet overschreden wordt is dit een vrij logisch gevolg. Voor het ontstaan van vertragingstijden op de toerit zullen eerst kruisende fietsers of voertuigen aanwezig moeten zijn. Alle puntenwolken zijn vergroot opgenomen in bijlage 6.



Figuur 21 Puntenwolk toeritintensiteit

In tabel 22 zijn de correlatiecoëfficiënten en de verschillende situaties tegenover elkaar uitgezet. Op deze manier kan snel inzicht worden verkregen in de betrouwbaarheid van de verbanden met elkaar. Volgens de berekeningen is de betrouwbaarheid van de samenhang tussen de kruisende fietsers + kruisende motorvoertuigen en de vertragingstijden het grootst. De betrouwbaarheid van samenhang tussen enkel de kruisende fietsers en de vertragingstijden is met 0,22 bijna de helft. De samenhang is wel aanwezig, maar niet in sterke mate. De gegevens die verkregen zijn met de functie 'beschrijvende statistiek' in het programma Excel zijn opgenomen in bijlage 6. Het gaat hier om de gegevens die horen bij de momenten dat er een wachttijd is waargenomen.

Tabel correlatiecoëfficiënt	fietsers	kruisende motorvoertuigen	rotonde-intensiteit in pae(fiets=0,3)	fiets+ motorvoertuigen	toerit intensiteit	vertragingstijd
fietsers	1,00					
kruisende motorvoertuigen	-0,32	1,00				
rotonde-intensiteit in pae(fiets=0,3)	0,10	0,91	1,00			
fiets+motorvoertuigen	0,75	0,38	0,73	1,00		
toeritintensiteit	0,44	-0,25	-0,07	0,26	1,00	
vertragingstijd	0,22	0,30	0,41	0,42	0,00	1,00

Figuur 22 Correlatiecoëfficiënten

Met de verzamelde informatie is het niet mogelijk te achterhalen of de wachttijd is veroorzaakt door een fietser of door een voertuig op de rotonde. Dit omdat er in blokken van 5 minuten is gemeten. Om te bepalen of een wachttijd door een fietser of voertuig op de rotonde wordt veroorzaakt zal gewerkt moeten worden met videobeelden waardoor elke situatie afzonderlijk kan worden beoordeeld. Er is geprobeerd de gegevens nog verder te filteren. Bij deze filtering zijn extra puntenwolken opgesteld. Zo is er een puntenwolk gemaakt waarin de intensiteiten kruisend fietsverkeer en rotonde-intensiteiten niet meer dan 10 van elkaar verschillen. Dit is ook gedaan voor de situaties met een minimale rotonde-intensiteit en maximale fietsintensiteit(en vice versa) waarbij het verschil groter is dan 10. De gemiddelde uitkomsten per puntenwolk zijn in figuur 23 weergegeven. Deze puntenwolken zijn eveneens opgenomen in bijlage 6.

Aantal waarnemingen	Vertragingstijd toerit in seconden	Motorvoertuigen in pae's	Kruisend fietsverkeer
100	32	52	11
74	31	12	74
52	26	24	28

Figuur 23 Gemiddelden uit puntenwolken 6 F, G en H.

Om toch meer te weten te kunnen komen over het effect van de fietsers op de wachttijden is besloten een simulatie te draaien. Met deze simulatie kunnen extra gegevens gegeneerd worden waarbij de situaties wel afzonderlijk kunnen worden bekeken. Het grote voordeel van een simulatie is dat er ook andere intensiteitensets kunnen worden ingevoerd. Hierover meer in hoofdstuk 5.

Door weersomstandigheden, voornamelijk sneeuw en gladheid, is het beoogde aantal metingen niet behaald. Ook een aantal andere factoren hebben invloed gehad op de metingen. Zo heeft de politie de waarnemers twee keer aangesproken tijdens de telling. Er was geparkeerd op een ongebruikelijke plek en dit vonden de passanten een vreemde situatie, waarna ze de politie hebben gebeld. Dit heeft geresulteerd in een kleine verstoring van de betreffende metingen. Ook is er een meting gehouden op een (achteraf)ongeschikte locatie; tijdens de spits werd ondervonden dat een nabijgelegen verkeerslicht dusdanig veel congestie veroorzaakte dat het verkeer op de rotonde compleet vaststond. Deze meting is dan ook niet meegenomen in het onderzoek.

4.6 Evaluatie veldonderzoek

Wanneer er wordt uitgegaan van de doelstellingen in het PVA is het veldonderzoek geslaagd. Achteraf bleek echter dat bepaalde gegevens niet beschikbaar waren omdat deze niet geteld waren. Het betreft hier de schijnconflicten en de herkomst en bestemming van al het verkeer op de rotonde. De oorzaak hiervan is dat er door twee personen gemeten is en er afwegingen gemaakt moesten worden over wat er geregistreerd zou worden. Tijdens het invoeren van intensiteiten in het simulatiemodel werd geconstateerd dat deze gegevens niet beschikbaar waren terwijl het simulatiemodel hier wel om vraagt. Door bij te houden hoeveel verkeer de rotonde afrijdt aan de tak die waargenomen werd, had het aantal schijnconflictsituaties bepaald kunnen worden.

De analyse van de gegevens uit de veldmeting verliep wat moeizaam. Dit omdat er niet kan worden bepaald of een wachttijd wordt veroorzaakt door een fietser of auto. Dit is met de gegevens uit de gehouden veldmeting niet mogelijk aangezien hier per 5 minuten is gemeten. Voor het bepalen of een wachttijd ontstaat door een fietser of een auto op de rotonde zal elke situatie afzonderlijk bekeken moeten worden, wat dus niet mogelijk is met de beschikbare gegevens uit de veldmeting. Er kon wel een statistische analyse worden uitgevoerd. Door middel van puntenwolken en de regressielijn is uiteindelijk de correlatiecoëfficiënt per situatie berekend. Hiermee is aangetoond of en hoe betrouwbaar de verbanden tussen de verschillende intensiteiten en de vertragingstijden zijn.

De vergelijking van de verkregen veldgegevens met de nomogrammen kan pas wanneer de gegevens afzonderlijk bekend zijn. Dit omdat bepaalde intensiteiten uit de nomogram moeten worden ingevoerd. Dit is op straat natuurlijk niet mogelijk. Het volgende hoofdstuk omschrijft hoe dit opgelost is door middel van een simulatie.

5 SIMULEREN

Onderdeel van het onderzoek is het opstellen van een simulatiemodel. Voor het nabootsen van de werkelijke meting zijn diverse parameters nodig. Door deze parameters zo goed mogelijk in te stellen, is het de bedoeling dat met die instellingen ook een goede indicatie van de gemeten situatie wordt nagebootst in het model. Hierdoor kunnen ook de effecten van afwijkende en/of toekomstige situaties in beeld worden gebracht.

In een simulatiemodel kan met eigen invoer verkeersgedrag worden nagebootst. Dit wordt gedaan met een microscopisch model. Een microscopische model gaat uit van individuele voertuigen. Kenmerken van verkeer en weg worden ingevoerd en zo kunnen – mits de juiste waarden zijn ingevoerd, aan de hand van een herkomst en bestemmingsmatrix – capaciteiten en wachttijden worden gesimuleerd. Simulatie wordt incidenteel uitgevoerd om de effecten in te schatten van – in dit voorbeeld – een rotonde die aangelegd moet worden. Nadelen van het simuleren zijn de slechte toegankelijkheid, de validiteit (parameters moeten goed ingesteld worden), de benodigde invoer (kost veel tijd) en de kosten. Vaak zal daarom niet voor elke rotonde een nieuwe simulatie worden gemaakt.

5.1 Voorbereiding simulatie

Voordat gesimuleerd is, is in eerste instantie bekeken wat precies met het simuleren beoogd is. De simulatie heeft als doel om extra gegevens te genereren bij verschillende intensiteitensets. Gekeken is naar de verandering van de hoeveelheid verkeer en de verhouding tussen verkeersstromen. Deze paragraaf behandelt de keuze van het simulatieprogramma en de overeenstemming van parameters in het simulatieprogramma met de gemeten gegevens. Het doel van de simulaties is extra gegevens te genereren, waarbij gebruik wordt gemaakt van de gegevens die met het veldonderzoek zijn verkregen. Door de simulatie kunnen verschillende intensiteitensets worden ingevoerd. Zo kan bijvoorbeeld het aantal fietsers makkelijk worden verhoogd, om te zien wat de effecten daarvan zijn op de wachttijden van verkeer op de rotondetoerit. Hiermee kan inzicht worden verkregen in verkeerssituaties die tijdens de veldmeting niet zijn waargenomen, maar in de praktijk wel mogelijk zijn.

Aangezien er tijdens het veldonderzoek geen herkomst en bestemming over de gehele rotonde is geteld en de conflictsituaties niet zijn meegenomen, zouden er aannames gedaan moeten worden voor de invoer in het simulatiemodel. Omdat dit de betrouwbaarheid niet ten goede komt zijn er nog twee extra metingen gehouden op één van de rotondes (Ferdinand Bolstraat). Hierdoor zijn toch betrouwbare gegevens verkregen over de herkomst en bestemming van het verkeer en het aantal schijnconflicten. Zo waren toch alle benodigde gegevens beschikbaar voor een betrouwbaar simulatiemodel.

De invoer van intensiteiten voor de simulaties gaat niet in pae's maar in werkelijke aantallen.

5.1.1 Keuze programma

Er is gesimuleerd met het microsimulatieprogramma Vissim. In Vissim kunnen allerlei factoren worden ingevoerd om de simulatie in overeenstemming te brengen met de werkelijkheid.

Dit programma is aanwezig binnen Royal Haskoning. Dit maakte het mogelijk dat de afstudeerders hiervan gebruik mochten maken en begeleiding konden krijgen.

5.1.2 Parameters afstemmen

Bij de simulatie zijn twee zaken overeengebracht met de gemeten situatie. Allereerst de conflictpuntbelasting: de som van de rotonde-intensiteit en de toeritintensiteit. Ten tweede de wachttijden. De wachttijden kunnen niet worden ingesteld, maar de verderop in deze paragraaf genoemde parameters zijn dusdanig aangepast dat de simulatie dezelfde wachttijden aangaf dan de wachttijden die tijdens de veldmeting zijn genoteerd. Zo kan er vanuit worden gegaan dat het simulatiemodel een goede weergave van de werkelijkheid is.

De overeenstemming van de conflictpuntbelasting is door een combinatie van de volgende zaken tot stand gebracht.

- Snelheden van het verkeer
- *Gaptime* en *headway*

Samen zorgen ze voor de overeenstemming van de conflictpuntbelasting.

De *gaptime* is het benodigd hiaat (in tijd) tussen verkeer op de rotonde, waarbij verkeer vanaf de toerit invoegt. Deze is aangepast en zo is de hoeveelheid verkeer dat per tijdseenheid de rotonde op reed geregeld (hiermee stuur je dus in principe het invoeggedrag van de automobilisten op de toerit; hoe snel voegen ze in op de rotonde).

De *headway* is het benodigd hiaat (in afstand) tussen verkeer op de rotonde, waarbij verkeer vanaf de toerit invoegt. De *gaptime* of de *headway* is maatgevend voor de hoeveelheid verkeer dat vanaf de toerit de rotonde oprijdt.

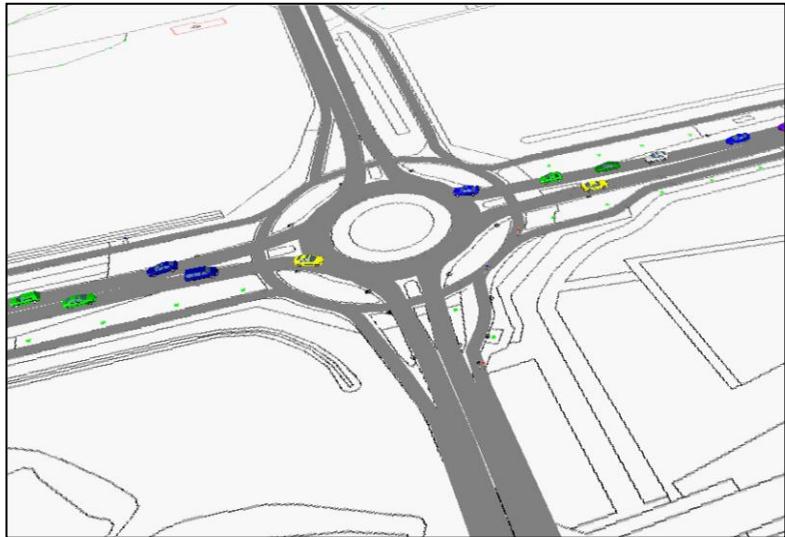
De overeenstemming met de gemeten situaties is in eerste instantie door verandering van de *gaptime* and *headway* tot stand gekomen. De controle vond plaats door telpunten (Data collection-points) neer te leggen vlak voor de rotonde (ter hoogte van de haaietanden). Zodra een voertuig daarover reed, reed dit voertuig werkelijk de rotonde op. Hetzelfde is gedaan voor de rotonde-intensiteit. Hierbij werd het telpunt ter hoogte van de toerit gelegd, zodat informatie werd verkregen over het verkeer dat daadwerkelijk voor de toerit langs reed.

Aanpassingsmogelijkheden zaten in:

- Front gap = de ruimte die aan de voorkant van elk voertuig vrij moet blijven
- Rear gap = de ruimte die aan de achterkant van elk voertuig vrij moet blijven

5.2 Uitvoering simulatie

In eerste instantie is in VISSIM een rotonde nagebootst. In het model is de aantakking op de rotonde als een T-splitsing gemodelleerd. Een rotonde is namelijk een opeenvolging van T-splitsingen. Vrijliggend van de rotonde zijn de fietspaden aangebracht. Door een GBKN ondergrond te gebruiken van één van de locaties waar metingen zijn gehouden (in dit geval Ferdinand Bolstraat te Enschede), zal de



Figuur 24 Model in Vissim

maatvoering nagenoeg overeenkomen met de door het CROW aanbevolen maatvoering voor enkelstrooksrotondes met vrijliggende fietspaden. De regelgeving voor de rotonde is als volgt ingesteld; op de toeleidende wegen is een maximumsnelheid van 50 km/h ingevoerd, de snelheid waar mee over de rotonde gereden kan worden is op 30 km/h ingesteld (deze instellingen hebben niet tot gevolg dat ieder voertuig zich aan deze snelheden zal houden). Voertuigen op de toeleidende wegen moeten voorrang verlenen aan zowel fietsers als verkeer op de rotonde. In figuur 24 is een afbeelding van het model weergegeven.

Na het opstellen van de rotonde, de regelgeving en de parameters zijn er meetlussen aangelegd om reistijd te registreren en data collection points om intensiteiten bij te houden. Alle meting zijn gericht op één rotondetak (de tak die in werkelijkheid ook is geteld). Op het toeleidende wegvak zijn twee meetlussen geplaatst; één paar met een afstand van 300 meter en één met een afstand van 23 meter. In beide gevallen ligt het eindpunt tegen de rotonde aan, ter hoogte van de haaiantanden. Met deze meetlussen is de reistijd geregistreerd. Er is gekozen voor een lus met een afstand van 23 meter omdat dit opstelruimte biedt aan ongeveer 4 auto's aangezien er tijdens de tellingen ook wachtrijen van 4 auto's zijn geteld. Ook om een goede vergelijking te maken tussen de uitkomsten van het simulatiemodel en de 'meerstrooksrotondeverkenner' is deze ruimte aangehouden, aangezien de 'meerstrooksrotondeverkenner' ook de uitkomsten geeft tot maximaal 5 auto's.

Naast deze reistijdslussen zijn data collection points geplaatst op de toerit (oostkant) om het verkeer te tellen dat de rotonde oprijdt, de afrit (oost kant) om het verkeer te tellen dat de rotonde afrijdt (i.v.m. schijnconflict), op de rotonde tussen de toe- en afrit (oost kant) om het verkeer te tellen dat voor de toerit langs gaat en één op het fietspad tussen de toe- en afrit voor autoverkeer om bij te houden hoeveel fietsers voor de oprit langs gaan.

Nadat het model gereed was, zijn de runs⁸ met het programma gedraaid. Dit is voor verschillende situaties met verschillende intensiteitensets gedaan. Dit is 8 keer uitgevoerd, waardoor de laatste situatie de huidige situatie nabootst met een verhoging van 960 kruisende fietsers per uur (per stap komen er 120 fietsers bij). Van iedere stap zijn 10 runs gedraaid waarvan het gemiddelde van de uitgevoerde data is genomen. De reden hiervoor is dat er bij iedere run licht afwijkende data uit kan komen, doordat het simulatiemodel werkt met een poissonverdeling. Hierdoor kan het zijn dat er bij een invoer van 120 fietsers, in het model maar 118 of juist 122 fietsers passeren. Het is daarom beter om het gemiddelde van tien runs te nemen om een analyse te maken.

5.3 Resultaten en analyse simulatie

5.3.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de resultaten uit de simulaties behandeld en geanalyseerd. Zaken die inzicht verschaffen in de wachttijden, zijn in tabellen of grafieken tegen elkaar uitgezet. Zo is stapsgewijs toegewerkt naar de mate van invloed van fietsverkeer op de wachttijden op de toerit. Hierbij worden de capaciteitsreductie, effecten op de wachttijden en het toetsen van de nomogrammen behandeld.

De resultaten en analyse van de simulatie beantwoorden hiermee een aantal van de vooraf opgestelde onderzoeksvragen.

5.3.2 Capaciteitsreductie

Wanneer een telling met een lage fietsintensiteit naast een telling met een hoge fietsintensiteit gelegd wordt, is er een verhoging van het aantal waargenomen wachttijden op de toerit en de duur van deze wachttijden te constateren. Uit de veldmeting is zoals eerder omschreven niet op te maken wat het effect van enkel de fietsers is op de toeritcapaciteit.

Om dit probleem te omzeilen is er gebruik gemaakt van het programma Vissim. Met Vissim is een verkeersmodel gemaakt gebaseerd op één van de veldmetingen. Het model is zo opgesteld dat het overeenkomt met de gemeten situatie. Na voltooiing van het model van de gemeten situatie, zijn er runs uitgevoerd waarbij het aantal kruisende fietsers met 120 stuks werd verhoogd. Er is gekozen om telkens met 120 fietsers te verhogen omdat het model gebaseerd is op tellingen die per 5 minuten geregistreerd zijn. Om het model zo dicht mogelijk bij deze werkelijke situatie te krijgen zijn de gegevens in het model ook per 5 minuten ingevoerd. Bij het opvoeren van het aantal fietsers, zijn deze gelijk verdeeld over 12 periodes van 5 minuten, dus 10 fietsers per 5 minuten. Dit verklaart dat er stappen van 120 zijn genomen.

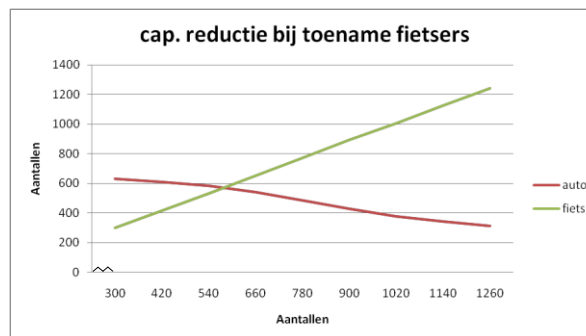
De uitkomsten van de runs met elke keer de verhoging van de fietsintensiteiten zijn te zien in figuur 25. HVG betekent hierin vrachtverkeer. De daling van capaciteit als gevolg van de verhoogde fietsintensiteiten is daarnaast ook uitgezet in een tabel met bijbehorende grafiek(zie figuur 26&27).

⁸Run: Elke keer dat de simulatie wordt gedraaid.

Invoer in Vissim model	Kruisende fietsers			Toerit				Schijnconflict		Kruisende voertuigen		
	Fiets	Stijging fiets per stap	Aantal extra fietsers t.o.v. huidige situatie	HVG	Auto	Capaciteit-reductie per stap	Capaciteit-reductie in percentage	Capaciteit-reductie ten opzichte van de huidige situatie	Auto	HVG	Auto	HVG
Huidige situatie	300			11	631			0	685	13	74	1
Huidig +120 fietsers	415	116	116	12	608	-23	3,6%	-23	685	13	74	1
Huidig +240 fietsers	531	116	231	11	585	-23	7,3%	-46	685	12	74	1
Huidig +360 fietsers	654	123	354	11	540	-45	14,3%	-90	684	12	74	0
Huidig +480 fietsers	772	118	472	10	487	-54	22,8%	-144	678	12	74	1
Huidig +600 fietsers	892	121	593	10	430	-56	31,9%	-201	664	12	73	0
Huidig +720 fietsers	1007	115	707	10	379	-51	39,9%	-252	647	12	71	1
Huidig +840 fietsers	1125	118	825	11	344	-35	45,5%	-287	601	12	68	1
Huidig +960 fietsers	1242	117	942	9	314	-30	50,2%	-317	514	9	63	1
			Gemiddelde capaciteitsreductie toerit			-40						

Figuur 25 Tabel capaciteitsreductie per simulatie

Invoer in Vissim model	Stijging in fietsers	Daling capaciteit
Huidig +120 fietsers	38,6%	3,6%
Huidig +240 fietsers	77,2%	7,3%
Huidig +360 fietsers	118,3%	14,3%
Huidig +480 fietsers	157,6%	22,8%
Huidig +600 fietsers	197,9%	31,9%
Huidig +720 fietsers	236,1%	39,9%
Huidig +840 fietsers	275,4%	45,5%
Huidig +960 fietsers	314,4%	50,2%

Figuur 26 Tabel capaciteitsreductie in percentages

Figuur 27 Grafiek capaciteitsreductie

Het is logisch dat er een daling van de toeritcapaciteit ontstaat wanneer de intensiteit van kruisende fietsers verhoogd wordt. Doordat er met een model is gewerkt resulteert de stijging van de fietsintensiteiten in een rechte lijn. Dit komt omdat er per stap 120 fietsers extra zijn ingevoerd en de afwikkeling van fietsers ongehinderd is doordat ze voorrang hebben op het verkeer op de toerit.

De daling van capaciteit loopt niet geheel gelijk. De oorzaak hiervan is dat wanneer er rond de 720 fietsers de toerit kruisen (zie figuur 25), deze de afwikkeling van de naast gelegen afrit dusdanig beïnvloeden dat het verkeer op de rotonde komt stil te staan ter hoogte van de naastgelegen afrit. Tijdens de eerste vijf stappen laat de tabel zien dat de capaciteit steeds verder afneemt. Vanaf 720 extra fietsers is echter te zien dat de capaciteitsreductie van 56 weer afneemt naar 51 voertuigen en daarna nog verder afneemt. Dit komt volgens de simulatie doordat de auto op de toerit alleen nog maar een hiaat in de kruisende fietsers hoeft te vinden om de rotonde op te rijden; de kruisende auto's op de rotonde staan immers stil achter het verkeer dat staat te wachten op de afrit.

Er kan gesteld worden dat het effect van gemotoriseerd verkeer dat de toerit kruist minder wordt wanneer er grote hoeveelheden fietsers op de rotonde bevinden. Doordat de afrit vastloopt ontstaat er voor verkeer op de naastgelegen toerit meer ruimte om op te rijden. In feite valt hierbij de capaciteitsreductie door kruisend gemotoriseerd verkeer in combinatie met het kruisend fietsverkeer weg. Echter kan dit ook gebeuren op één van de afritten op de andere takken. In dat geval staat de toerit alsnog vast omdat het verkeer op de rotonde ook vast staat.

Nu de gegevens van alle runs geanalyseerd zijn kan een antwoord worden gegeven op de vraag wat de capaciteitsreductie door kruisend fietsverkeer is (onderzoeksvraag 1). Wanneer de intensiteit kruisend fietsverkeer per uur met 120 toeneemt, neemt de toeritcapaciteit gemiddeld met 40 motorvoertuigen per uur af. Dit is echter wel gebaseerd op enkel de simulaties, maar zal een goede benadering van de werkelijkheid zijn.

5.3.3 Effect kruisend fietsverkeer op de wachttijden

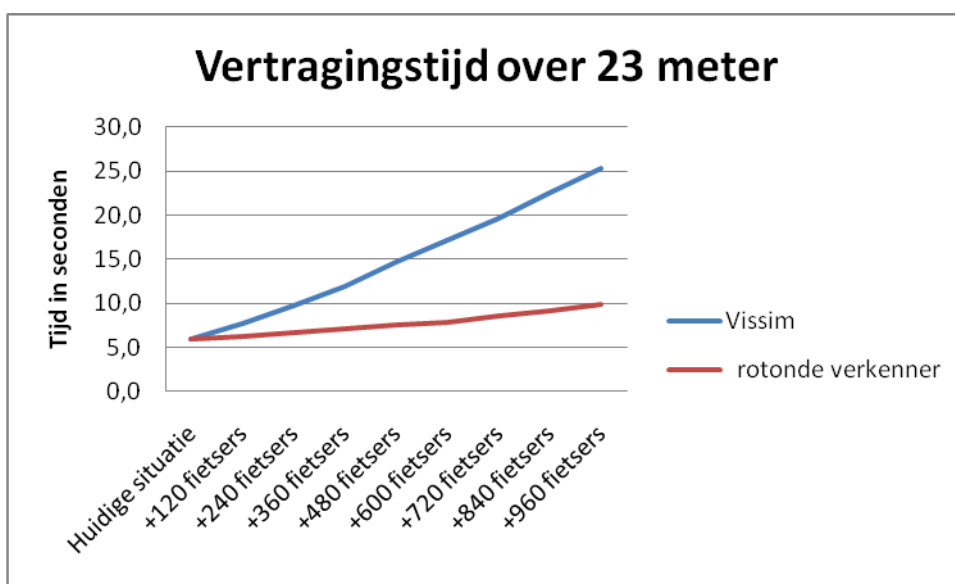
Door het opvoeren van de fietsintensiteiten wordt snel inzicht verschaft in het effect op de wachttijden. Er is gemeten over een afstand van 23 meter (4 a 5 auto's) en over het gehele wegvak in het VISSIM model(300 meter). De vergelijking is het best te maken met de afstand van 23 meter, aangezien de 'meerstrooksrotondeverkenner' en de nomogrammen ook rekenen met wachttijden over 5 auto's in de wachtrij. In figuur 28 is een overzicht weergegeven van de totale vertraging over beide afstanden. Alle getallen zijn vertragingstijden in seconden. Ook de toename in vertraging per intensiteitenset (verhoging met 120 fietsers) is weergegeven. Als laatste is het effect op de wachttijd zoals de 'meerstrooksrotondeverkenner' deze berekend weergegeven. Hierbij maken de ontwerpers wel de opmerking dat hoe hoger de verzadigingsgraad is, hoe minder accuraat de voorspelling van de wachttijden zijn. Bij hoge intensiteiten kan hierbij beter de verzadigingsgraad worden aangehouden als maatgevend.

	Vertraging in sec. over 23 meter	Toename vertraging per stap	Toename t.o.v. huidige situatie	Vertraging in sec. over 300 meter	Toename vertraging per stap	Toename t.o.v. huidige situatie	Meerstrooks rotonde verkenner	Toename vertraging per stap	Toename t.o.v. huidige situatie
Huidige situatie	6,0			42,9			6		
+120 fietsers	7,7	1,7	1,7	69,4	26,5	26,5	6,3	0,3	0,3
+240 fietsers	9,7	2,0	3,7	101,5	32,1	58,6	6,7	0,4	0,7
+360 fietsers	11,9	2,2	5,9	141,0	39,5	98,1	7,1	0,4	1,1
+480 fietsers	14,6	2,7	8,6	186,4	45,4	143,5	7,5	0,4	1,5
+600 fietsers	17,1	2,5	11,1	226,7	40,3	183,8	7,9	0,4	1,9
+720 fietsers	19,6	2,5	13,6	265,7	39,0	222,8	8,5	0,6	2,5
+840 fietsers	22,5	2,9	16,5	297,2	31,5	254,3	9,1	0,6	3,1
+960 fietsers	25,3	2,8	19,3	322,2	25,0	279,3	9,9	0,8	3,9
Gem. extra vertragingstijd		2,4	sec.		34,9	sec.		0,5	sec.

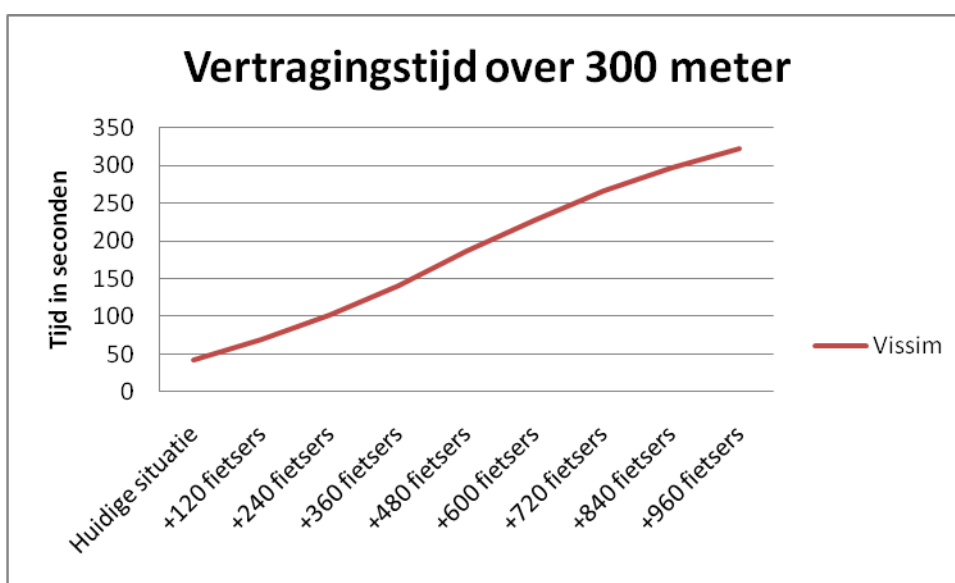
Figuur 28 Tabel vertragingstijden per intensiteitsset

Figuur 28 geeft antwoord op de vraag bij welke intensiteiten kruisend fietsverkeer de wachttijden op de toerit onacceptabel(>20 seconden) worden(onderzoeksvraag 2). Dit is bij een toename van ruim 720 fietsers ten opzichte van de huidige situatie. In de huidige situatie passeren in dit geval 300 fietsers de toerit. Hierdoor wordt bij een aantal van 1020 kruisende fietsers per uur de wachttijd onacceptabel(namelijk 19,6 seconden). Hiermee is onderzoeksvraag 2 beantwoord. Hierbij moet wel vermeld worden dat dit van toepassing is op de ingevoerde intensiteitenset van de huidige situatie. Wanneer de intensiteiten gemotoriseerd autoverkeer op de rotonde veranderen, zal de bijbehorende wachttijd op de gemeten toerit ook veranderen. Hierdoor kan het zomaar zijn dat bij 700 fietsers de wachttijd van 20 seconden al bereikt wordt. Om hier makkelijk en snel inzicht in te verkrijgen zal de spreadsheet voor de enkelstrooksrotonde met fietsverkeer moeten worden gebruikt. Gemiddeld is de toename van de wachttijd op de toerit 2,4 seconden per 120 extra kruisende fietsers per uur. Het effect van kruisend fietsverkeer op de rotonde op de wachttijden op de toerit is dus relatief klein.

De wachttijden behorende bij de negen situaties die in het model gesimuleerd zijn, zijn in een grafiek tegen elkaar uitgezet. Dit is gedaan voor de wachttijd over 23 meter en 300 meter. In de grafiek zijn de uitkomsten van het Vissim model en de uitkomsten van de 'meerstrooksrotondeverkenner' tegen elkaar uitgezet. Zie figuren 29 en 30. Naarmate de aantallen kruisende fietsers hoger worden, wordt het verschil in vertragingstijd groter. Volgens de gegevens van Vissim loopt de vertragingstijd dan sneller op. Bij 960 extra fietsers ten opzichte van de huidige situatie is de vertragingstijd volgens Vissim 25 seconden, daar waar de wachttijd volgens de 'meerstrooksrotondeverkenner' tien seconden is. Volgens de 'meerstrooksrotondeverkenner' zijn de vertragingstijden bij hoge intensiteiten niet meer betrouwbaar. In zulke gevallen wordt aangeraden naar de VG-waarde te kijken. Vissim rekent echter per situatie de vertragingstijden uit. In dit geval zijn de wachttijden volgens Vissim betrouwbaarder dan de wachttijden volgens de 'meerstrooksrotondeverkenner'.



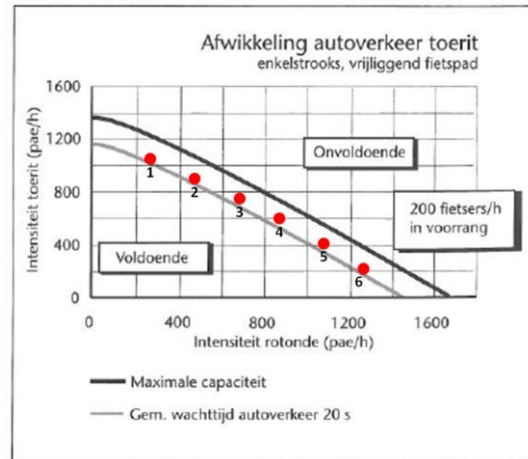
Figuur 29 Vertragingstijd over 23 meter



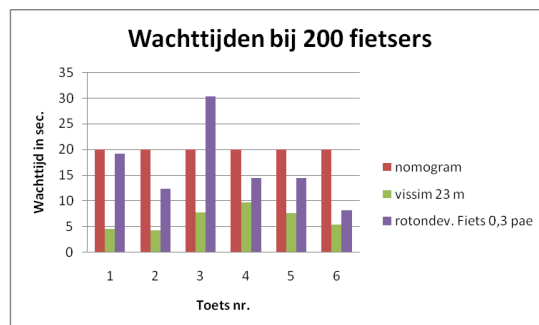
Figuur 30 Vertragingstijd over 300 meter

5.3.4 Nomogrammen toetsen

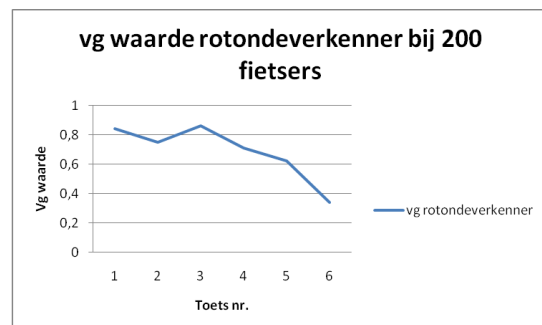
Om te kunnen bepalen in welke mate de nomogrammen uit CROW publicatie 126 nog toepasbaar zijn, zijn deze getoetst met het simulatieprogramma Vissim en met de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Hiervoor is het model van de huidige situatie in Vissim gebruikt, waarna de intensiteiten fietsers zijn aangepast tot 200. Ook het autoverkeer op de rotonde en op de toerit is benaderd door de kruising van de x-as en de y-as te nemen, daar waar de lijn van 20 seconden wachttijd doorheenloopt (zie figuur 31). De wachttijden zijn weer gemeten over een afstand van 23 meter, wat 4 a 5 auto's betekent. Daarnaast zijn de intensiteiten uit het model overgenomen en in de 'meerstrooksrotondeverkenner' ingevoerd. Ook hier is het aantal kruisende fietsers op 200 gezet. De uitkomsten van deze toetsing is te zien in figuur 32.



Figuur 31 Benadering intensiteiten bij 200 fietsers



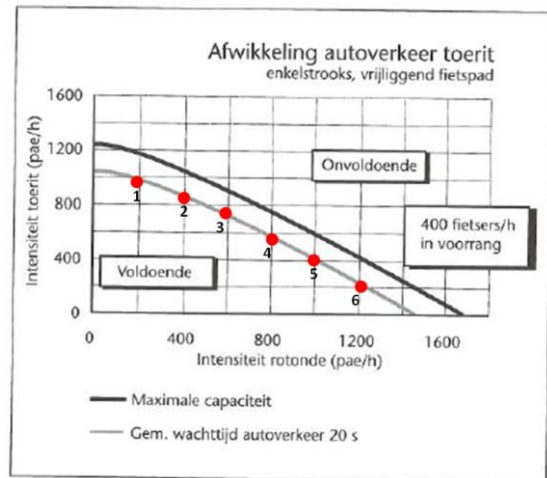
Figuur 33 Toetsing nomogram 200 fietsers



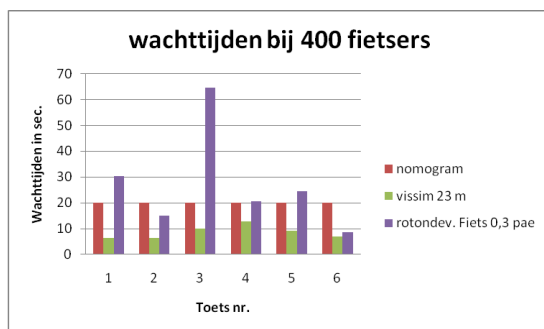
Figuur 32 VG waarde volgens RV bij 200 fietsers

Bij de nomogram is de uitkomst logischerwijs elke keer 20 seconden. De 'meerstrooksrotondeverkenner' komt echter met behoorlijk afwijkende uitkomsten. Het Vissim model geeft ook niet elke keer dezelfde uitkomst, maar is wel redelijk stabiel. Opvallend is wel dat deze uitkomsten constant lager liggen dan wat de nomogram aangeeft. In figuur 33 is de VG waarde volgens de 'meerstrooksrotondeverkenner' weergegeven. Dit omdat wordt vermeld dat naarmate de VG waarde toeneemt, de uitkomsten van de wachttijden niet meer betrouwbaar zijn, maar er naar de VG waarde gekeken moet worden. Hierbij is te zien dat de VG waarde schommelt tussen de 0,8 en 0,4. Opvallend is dat de nomogrammen zeggen dat de wachttijd constant 20 seconden is, terwijl de uitkomsten van de twee alternatieve manieren erg afwijkend zijn.

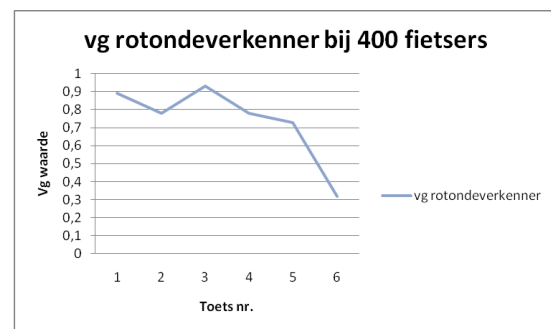
Hetzelfde is gedaan voor de situatie waarin er 400 fietsers per uur de toerit kruisen. De bijbehorende rotonde- en toeritintensiteiten zijn weer uit de nomogram gehaald (zie figuur 34). De uitkomsten hiervan zijn weergegeven in figuur 35 en 36. Opvallend hierbij is dat de derde toets hier ook weer opvallend hoog uitkomt. Daar waar de nomogram aangeeft een wachttijd van 20 seconden te hebben, geeft de 'meerstrooksrotondeverkenner' aan wachttijd van ruim 60 seconden aan. Het Vissim model komt met een wachttijd van 10 seconden, wat in dit geval, kijkend naar de overige toetsen, aannemelijker is. De VG waarde bij 400 fietsers komt gemiddeld iets hoger uit, maar laat grotendeels een zelfde verloop zien.



Figuur 34 Benadering intensiteiten bij 400 fietsers



Figuur 36 Toetsing nomogram 400 fietsers



Figuur 35 VG waarde volgens RV bij 400 fietsers

De 'meerstrooksrotondeverkenner' geeft zelf al aan dat wanneer de VG waarde laag is, de wachttijden wel realistisch zijn, maar naarmate de VG waarde hoger wordt, de wachttijden niet meer moeten worden aangehouden. Dit wordt bevestigd door de toetsing met Vissim. Bij een lage VG waarde (toets 6) komt de wachttijd uit op iets onder de 10 seconden. Vissim geeft dit ook aan. Bij een enorm hoge VG waarde (toets 3), komt de wachttijd extreem hoog uit ten opzichte van de nomogram en Vissim. In dit geval moet de VG waarde dus worden aangehouden en niet de wachttijden. Vissim daarentegen berekent de wachttijd telkens per afzonderlijke situatie. In dit geval kan gesteld worden dat Vissim hierbij een redelijke benadering van de werkelijkheid is. De gemiddelde wachttijd volgens Vissim komt bij 200 en bij 400 kruisende fietsers lager uit dan de nomogrammen aangeven. Hieruit blijkt dat de nomogrammen misschien een pessimistische weergave van de werkelijkheid geven, maar in grote lijnen nog steeds hanteerbaar zijn.

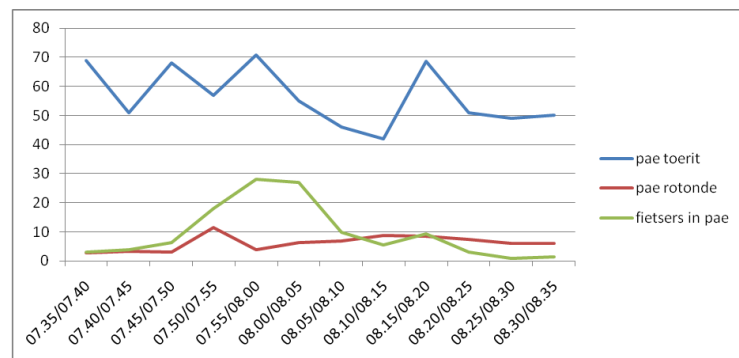
Onderzoeksvraag 6 is hiermee niet geheel beantwoord, aangezien deze er vanuit gaat dat er nieuwe nomogrammen worden opgesteld. Deze zijn niet opgesteld aangezien er dan zeer veel runs met verschillende intensiteitensets gedraaid moeten worden om de 20 seconden wachttijd te benaderen. Dit is mede i.v.m. de tijd niet uitgevoerd.

5.4 Evaluatie simulatie

De simulaties zijn goed verlopen. Echter is er meer tijd aan besteed dan gepland. De voornaamste reden hiervoor is dat er eerst geleerd moest worden hoe het programma VISSIM functioneert en op welke manier het toegepast kan worden. Daarnaast heeft het relatief veel tijd gekost om op de juiste manier bruikbare data te verzamelen. De uitvoer van het programma moest achteraf ook allemaal nog bewerkt worden om leesbare documenten te krijgen (in Excel) waarmee gerekend kon worden.

Het is achteraf gezien niet 100% realistisch dat er per 5 minuten een gelijke verhoging heeft plaatsgevonden. In figuur 37 is te zien dat er een piek in het fietsverkeer zit tussen 7.50 uur en 8.10

uur (groene lijn). Er kan aangenomen worden dat het hier gaat om scholieren die om 8.30 uur op school moeten zijn. In dit geval zal de toename van het aantal fietsers in werkelijkheid dus niet gelijk verlopen over een uur, maar zal de toename tussen 7:50 uur en 8:10



Figuur 37 Voorbeeldgrafiek intensiteiten veldmeting

uur een grotere stijging kennen in vergelijking met de rest van het uur. Echter is er in de huidige situatie al wel een piek te zien in dit tijdsbestek, dus die piek blijft wel bestaan naarmate er over het hele uur fietsers extra worden toegevoegd.

Tijdens het analyseren van de gegevens uit de simulatie is de conclusie getrokken dat een procentuele toename per tijdsblok mogelijk een betere weergave van de werkelijkheid had gegeven omdat er dan bijvoorbeeld tussen 7:50 uur en 8:10 uur een grotere toename van fietsverkeer te zien zal zijn.

De vraag is echter welke benadering dichterbij de realiteit staat en waarmee makkelijker te werken is. Gezien het beschikbare tijdsbestek is het niet mogelijk geweest een tweede model op te zetten en de bijbehorende data te analyseren.

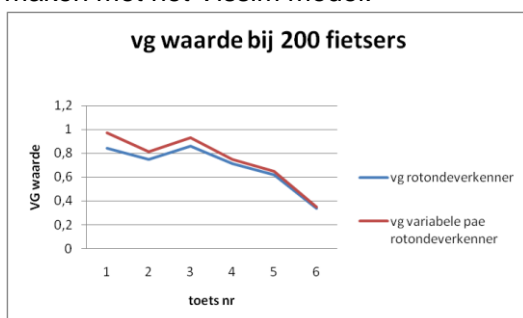
6 UITKOMSTEN ANALYSE IMPLEMENTEREN IN EEN SPREADSHEET

Het toevoegen van de mogelijkheid om fietsers in te voeren in de 'meerstrooksrotondeverkenner' is alleen gericht op de afwikkeling van de toerit. De reden hiervoor is dat dit onderzoek alleen gericht is op de toeritcapaciteit. Fietsers hebben echter ook effect op de afrit, wat vervolgens weer effect op de toerit heeft. Het is daarom niet mogelijk om aan de hand van de in dit rapport verwerkte gegevens het totale effect van fietsers op de rotondecapaciteit met 100% zekerheid te bepalen. Een eerste stap om het mogelijk te maken om fietsers op te nemen in de 'meerstrooksrotondeverkenner' bestaat uit het toekennen van een variabele pae-waarde aan fietsers. In hoofdstuk 3 is dit omschreven (zie figuur 11, Bepaling invloed fietsers in pae's). Nu bekend is bij welke rotonde-intensiteit een bepaalde pae-waarde aan het fietsverkeer moet worden toegekend, kan dit in een formule worden verwerkt in een extra invoerveld in het tabblad 'enkelstrooksrotonde'

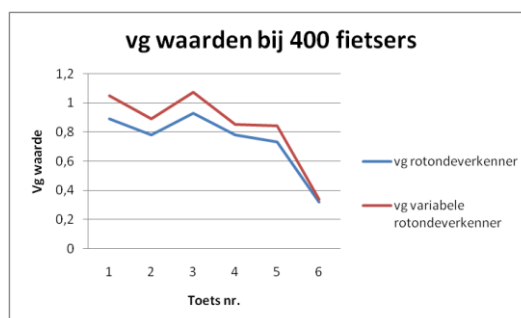
In de aangepaste versie van de 'meerstrooksrotondeverkenner' is een variabele pae-waarde voor fietsers opgenomen. Hierbij is aan de hand van de rotonde-intensiteit een pae-waarde toegekend aan de fietsers die de toerit kruisen. Met de gegevens uit figuur 11 is vervolgens verder gerekend. Deze gegevens zijn omgezet naar een ALS formule in de spreadsheet. Dit houdt in dat als de waarde van de rotonde-intensiteit bijvoorbeeld 700 pae is, er dan een waarde van 0,5 pae aan de fietsers wordt toegekend. Wanneer er dan 100 fietsers de toerit kruisen, worden er totaal 750 pae's (700 pae rotonde-intensiteit + 50 pae fietsers) opgenomen in de berekening voor de VG en de wachttijd.

Bij het toetsen van de nomogrammen is gebruik gemaakt van Vissim en de 'meerstrooksrotondeverkenner'. Hoe dit gedaan is, is omschreven in paragraaf 5.3.4. Door de gegevens uit de nomogrammen in te voeren in de nieuw opgestelde spreadsheet is te zien wat de effecten van de wijzigingen zijn in vergelijking met de nomogrammen, Vissim en de bestaande 'meerstrooksrotondeverkenner'. Er zijn 6 punten genomen (omschreven in paragraaf 5.3.4) uit de nomogram. In de grafieken is dit het toetsnummer. In alle gevallen is een stijging van de wachttijd waar te nemen. De oorzaak hiervan is dat fietsers meer invloed hebben gekregen. Door het toepassen van een variabele pae-waarde voor fietsers ontstaat in alle gevallen een grotere VG-waarde (zie figuren 38 en 39). Dit is een logisch gevolg van een variabele pae-waarde voor fietsers. Naarmate de rotonde-intensiteit daalt, neemt het effect van kruisend fietsverkeer toe.

De 'meerstrooksrotondeverkenner' geeft bij een hogere VG-waarde geen betrouwbare weergave van de wachttijd. Hierdoor is het niet mogelijk een goede vergelijking te maken met het Vissim model.



Figuur 38 VG-waarden bij 200 fietsers



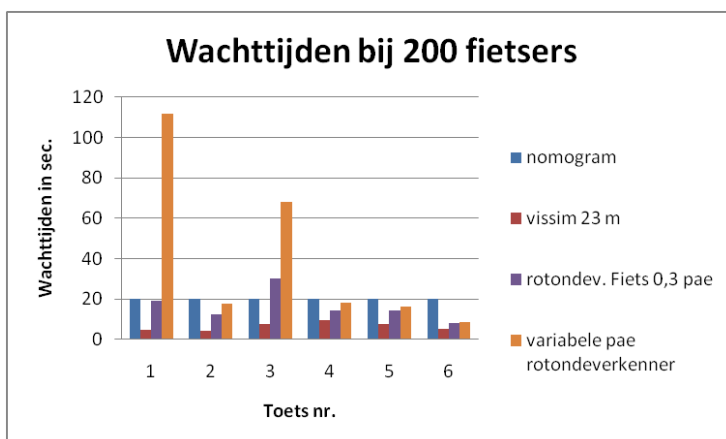
Figuur 39 VG-waarde bij 400 fietsers

Wanneer er gekeken wordt naar de VG-waarden van toets 6 heeft deze de laagste VG-waarde en liggen de wachttijden die Vissim berekent en de wachttijden van beide spreadsheets dicht bij elkaar (zie figuren 40 en 41). Echter liggen ze nog wel boven de wachttijden die Vissim aangeeft. Opvallend is de grote verschillen in wachttijden bij toets één en drie. In dit geval moet ook gezegd worden dat wanneer de VG waarde toeneemt, de wachttijd van de spreadsheet minder betrouwbaar is. In deze gevallen zou dus de VG waarde aangehouden moeten worden en niet de wachttijden volgens de spreadsheet. De wachttijden volgens Vissim zijn in dit geval betrouwbaarder.

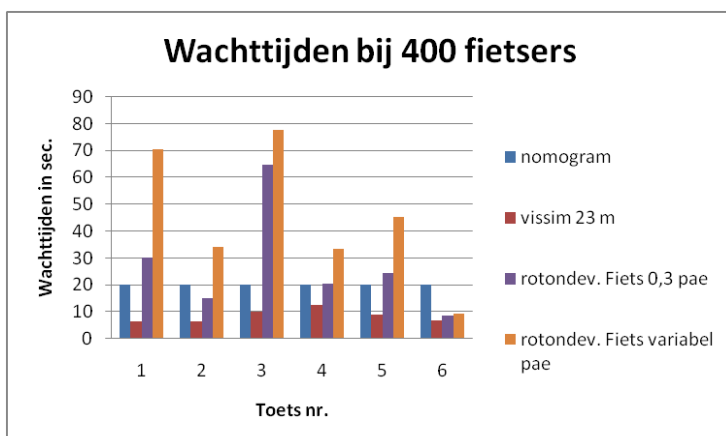
De nieuw opgestelde spreadsheet staat op de cd die is bijgevoegd in de bijlagen van dit rapport. In deze spreadsheet is een tabblad opgenomen met een toelichting op de werking van de spreadsheet. De spreadsheet is ook verkrijgbaar via aanvraag per e-mail bij de auteurs van dit rapport:

Tim Dragtstra: timd16-4-84@hotmail.com

Ruud Elferink: ruud_elferink@hotmail.com



Figuur 39 Wachttijden bij 200 fietsers



Figuur 40 Wachttijden bij 400 fietsers

7 EINDOORDEEL

Het eindoordeel bestaat uit conclusies en aanbevelingen. De conclusies en de aanbevelingen zijn teruggekoppeld aan de doelstellingen van dit onderzoek.

Doelstelling:

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het voorkomen/minimaliseren van vertragingen/opstoppingen bij nieuw te realiseren enkelstrooksrotondes waarbij fietsers over een vrijliggend fietspad fietsen en voorrang hebben op het autoverkeer.

Subdoelstellingen:

- 1. Het bepalen van het effect van kruisend fietsverkeer op de wachttijden van gemotoriseerd verkeer op de toeritten van enkelstrooksrotondes.*
- 2. Het toetsen van de bestaande nomogrammen uit CROW-publicatie 126 (nomogrammen 5 en 6, pagina 86). Er zal gekeken worden of deze nomogrammen nog up to date zijn of dat er verschil zit in de nieuw verkregen gegevens en de bestaande gegevens.*
- 3. Spreadsheet opstellen voor enkelstrooksrotondes met invoervelden voor fietsverkeer. Dit is als het ware een aangepaste versie van de 'meerstrooksrotondeverkenner' met enkel het tabblad 'enkelstrooksrotonde'.*
- 4. Opstellen van een microsimulatiemodel met Vissim ter visualisatie van de situatie op straat. Aan de hand van dit simulatiemodel is getoetst of de ingevoerde gegevens in de spreadsheet en de bijbehorende uitkomsten hiervan, overeenkomen met de uitkomsten die het simulatiemodel geeft.*

De conclusies zijn behandeld in volgorde van bovenstaande subdoelstellingen in paragraaf 7.1, de aanbevelingen in paragraaf 7.2 .

7.1 Conclusies

De bepaling van het effect van fietsers op de wachttijden van gemotoriseerd verkeer op de toeritten van enkelstrooksrotondes is op twee manieren onderzocht en uitgewerkt. Uit het onderzoek op straat en uit de simulaties die gemaakt zijn in het simulatieprogramma Vissim komt naar voren dat per 120 kruisende fietsers per uur extra, het autoverkeer op de toerit een extra vertraging oploopt van 2,4 seconden per pae. Dit geldt over een afstand van 23 meter (4 a 5 auto's). De wachttijden op de toerit worden pas onacceptabel wanneer er in totaal 1020 fietsers per uur de toerit kruisen. Dit is echter wel afhankelijk van het verkeer op de rotonde en op de toerit. Hiermee is aangetoond dat het effect van de voorranghebbende fietsers op een rotonde gering, doch aanwezig is. Uit de statistische analyse op de gegevens uit de veldmeting blijkt dat de betrouwbaarheid in samenhang tussen de verschillende intensiteiten de vertragingstijden niet erg groot is. De correlatiecoëfficiënt van de verbanden van enkel de kruisende fietsers en de vertragingstijd, of enkel de kruisende auto's en de vertragingstijd is niet erg groot en dus niet erg betrouwbaar. Wanneer de kruisende fietsers en kruisende auto's samen worden genomen is de correlatiecoëfficiënt dubbel zo groot wat betekend dat de betrouwbaarheid van dit verband een stuk groter is.

Het effect is ook uitgedrukt in capaciteitsreductie. Hieruit komt naar voren dat er een capaciteitsreductie optreedt van gemiddeld 40 pae wanneer er per uur 120 extra fietsers de toerit kruisen. Subdoelstelling 1 is hiermee behaald. Hierbij moet wel vermeld worden dat bij dit onderzoek geen rekening is gehouden met de afritten. De capaciteitsreductie

die optreed door kruisend fietsverkeer op de afritten van rotondes is dus niet meegenomen in de berekening.

Subdoelstelling 2 is behaald door de nomogrammen te vergelijken met de 'meerstrooksrotondeverkenner' en het simulatieprogramma Vissim. Hieruit blijkt dat de uitkomsten van de 'meerstrooksrotondeverkenner' wel in de buurt komen van de nomogrammen, maar toch afwisselende uitkomsten in wachttijden geeft. De uitkomsten van het simulatiemodel komen allemaal lager uit dan de 20 seconden die de nomogrammen aangeven. Er van uitgaande dat het simulatiemodel de werkelijke situatie op straat is, zijn de nomogrammen niet meer up to date. De nomogrammen zijn hier in bepaalde mate te pessimistisch omdat zij een hogere wachttijd geven dan dat het simulatiemodel aangeeft.

Subdoelstelling 3 is behaald door het opstellen van een nieuwe Excel-spreadsheet voor het berekenen van de IC-waardes en wachttijden voor enkelstrooksrotondes. In deze spreadsheet zijn invoervelden voor fietsverkeer toegevoegd. Achter deze invoervelden zit een formule met een variabele pae-waarde. Hiermee wordt er in de nieuwe spreadsheet meer rekening gehouden met het fietsverkeer.

Als laatste subdoelstelling is een microsimulatiemodel opgesteld met het programma Vissim. Met dit simulatiemodel zijn extra gegevens gegenereerd voor het analyseren van de wachttijden bij bepaalde intensiteiten fiets- en autoverkeer. Ook zijn de gegevens van de nieuw opgestelde spreadsheet vergeleken met de bestaande spreadsheet, de nomogrammen en de uitkomsten van het simulatiemodel. Hieruit blijkt dat de nieuw opgestelde spreadsheet in enkele gevallen veel hogere uitkomsten in wachttijden geeft dan de andere methoden. Hierbij moet vermeld worden dat bij een hogere VG waarde de wachttijden minder betrouwbaar zijn en in deze gevallen de VG waarde moet worden aangehouden. Dit is ook het geval in de huidige 'meerstrooksrotondeverkenner', waar de nieuwe spreadsheet op gebaseerd is. Om er zeker van te zijn dat de spreadsheet 100% betrouwbaar is zullen meerdere intensiteitsets moeten worden ingevoerd.

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is het voorkomen/minimaliseren van vertragingen/opstoppingen bij nieuw te realiseren enkelstrooksrotondes waarbij fietsers over een vrijliggend fietspad fietsen en voorrang hebben op het autoverkeer. Hiermee zal de doorstroming van het verkeer ter hoogte van de rotonde gewaarborgd worden. De uitkomsten van het onderzoek moeten aantonen of een enkelstrooksrotonde op een bepaalde plaats voldoende capaciteit heeft om al het verkeer op de rotonde goed te kunnen verwerken.

Met de beantwoording van de onderzoeksvragen en het behalen van de subdoelstellingen is dit een bruikbaar rapport voor de vakwereld geworden. Met de opgestelde spreadsheet is een nieuw aan te leggen enkelstrooksrotonde met vrijliggende fietspaden snel en eenvoudig door te rekenen. Hierdoor zullen in de toekomst vertragingen/opstoppingen bij nieuw te realiseren enkelstrooksrotondes met voorranghebbende fietsers niet meer zo snel voor komen. Daarmee is de hoofddoelstelling dan ook behaald.

7.2 Aanbevelingen

Dit onderzoek geeft een inzicht in het effect van fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes. De wachttijden en reductie van pae's als gevolg van kruisend

fietsverkeer zijn goed in beeld gebracht. Om de betrouwbaarheid van deze verbanden te vergroten worden extra metingen aanbevolen.

De uitkomsten van de metingen zijn opgenomen in de nieuwe Excel-spreadsheet. Hierbij moet worden vermeld dat deze spreadsheet is gebaseerd op een beperkt aantal tellingen en vele simulaties in Vissim. Om ook deze spreadsheet nog meer betrouwbaar te maken wordt aanbevolen nog meer metingen uit te voeren waarna de spreadsheet eventueel bijgesteld kan worden.

Tijdens de uitvoering van deze extra tellingen is het aan te bevelen dan ook de schijnconflicten te noteren en de herkomst en bestemming van het verkeer op de rotonde mee te nemen. Hiermee wordt een nog completer beeld verkregen van de situatie op straat. Met deze gegevens kunnen dan extra simulaties gedraaid worden met bijvoorbeeld het microsimulatieprogramma Vissim.

Ook is het aan te bevelen tijdens extra metingen de afritten hierin te betrekken. Op die manier kan ook informatie worden verkregen over het effect van kruisend fietsverkeer op de afrit van rotondes. Aangezien de voertuigen die de rotonde willen verlaten deze fietsers voor moeten laten gaan, heeft dit ook gevolgen voor de rotondecapaciteit. Wanneer dit samen wordt genomen met de uitkomsten uit dit onderzoek, ontstaat een nog betrouwbaarder beeld over de effecten van voorranghebbende fietsers op de capaciteit van enkelstrooksrotondes.

Als laatste wordt aanbevolen de veldmetingen met meer dan twee personen uit te voeren. Op die manier kan er veel meer informatie worden verkregen tijdens één meting op eventueel meerdere rotondetakken. Met twee personen, zoals dat in dit onderzoek is gedaan, is dit een stuk lastiger.

Uiteindelijk is met deze rapportage en de opgestelde de spreadsheet wel een gebruiksvriendelijke tool opgezet om snel een globaal inzicht te verkrijgen in de IC-waarden en wachttijden op toeritten van enkelstrooksrotondes met vrijliggende fietspaden waarbij de fietsers voorrang hebben op het autoverkeer.

Betrokken partijen

Bij dit onderzoek zijn meerdere partijen betrokken. Hiervan zijn hieronder de functie en bijbehorende contactgegevens weergegeven.

Tim Dragtstra

Functie: Afstudeerder

E-mail: t.dragtstra@royalhaskoning.com

Telefoon: 053- 2301533 / 06-10266615

Ruud Elferink

Functie: Afstudeerder

Email: r.elferink@royalhaskoning.com

Telefoon: 053-4803661 / 06-46336260

Rudy Fokkert

Functie: Begeleider Royal Haskoning Enschede

E-mail: r.fokkert@royalhaskoning.com

Telefoon: 053-4803652

Gerard Kuiper

Functie: Tweede begeleider Royal Haskoning Enschede

E-mail: g.kuiper@royalhaskoning.com

Telefoon: 053-4803656

Dirk de Baan

Functie: Extern begeleider Royal Haskoning Rotterdam

E-mail: d.debaan@royalhaskoning.com

Telefoon: 010-4433654

Erwin Bezembinder

Functie: Eerste begeleider Hogeschool Windesheim

E-mail: e.bezembinder@windesheim.nl

Telefoon: 038-4688456

Mente Bonestroo

Functie: Tweede begeleider Hogeschool Windesheim

E-mail: mbonestroo@bonotraffics.nl / m.bonestroo@windesheim.nl

Telefoon:

Atze Dijkstra

Functie: Senior onderzoeker,

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV)

E-mail: atze.dijkstra@swov.nl

Telefoon: 070-3173388

John Boender

Functie: Projectmanager CROW

E-mail: Boender@CROW.nl

Telefoon: 0318-695316 / 06-20650344

Peter Carton

Functie: Ontwikkelaar 'meerstrooksrotondeverkenner'

E-mail: pj.carton@pzh.nl

Telefoon: 070-4417196

Begrippenlijst

Aanbod = het aantal voertuigen dat per tijdseenheid op een toerit aankomt rijden, (vlak) voordat zij aansluiten aan de staart van de wachtrij.

Capaciteit = zie toeritcapaciteit

Conflictpuntbelasting = de som van de toeritintensiteit en de rotonde-intensiteit.

Drukste uur = uur, waarin het aanbod op alle takken van een rotonde samen, het hoogste van het hele etmaal is. Onderscheid is te maken in het drukste uur in de ochtendspits en de avondspits.

Gaptime = het benodigd hiaat (in tijd) tussen verkeer op de rotonde, waarbij verkeer vanaf de toerit invoegt.

Headway = het benodigd hiaat (in afstand) tussen verkeer op de rotonde, waarbij verkeer vanaf de toerit invoegt.

I/C-verhouding = de verhouding tussen de intensiteit en de capaciteit op een toerit van een rotonde.

PAE = personenauto equivalent: rekeneenheid waartoe het aantal voertuigen wordt herleid om onderlinge vergelijking met betrekking tot de verkeersintensiteit mogelijk te maken.

Rotonde = plein waar het verkeer op het plein voorrang heeft en waarop wegen radiaal aansluiten.

Tak = Een kruispunt verbindt meer dan twee toeleidende wegen (wegvakken) met elkaar. Elke aangesloten wegvak wordt gezien als een tak of arm.

Rotonde-intensiteit = het verkeer op de rotonde waaraan ter plaatse van een toerit voorrang verleent moet worden.

Toeritcapaciteit = grootste aantal voertuigen dat per tijdseenheid de rotonde op kan rijden.

Toeritintensiteit = het aantal voertuigen dat per tijdseenheid werkelijk de rotonde oprijdt.

Wachtrij = stilstaand of langzaam rijdend verkeer op een toerit van een rotonde. Met langzaam rijdend verkeer wordt verkeer bedoeld waarvan de snelheid lager dan normaal is als gevolg van de verkeersafwikkeling op de rotonde.

Wachttijd = tijdsduur die een voertuig tijdens de rit stilstaat

Vertragingstijd = tijdsduur tussen het moment waarop de remvertraging van een voertuig begint en het moment waarop dit voertuig stil staat.

Verliestijd = verschil tussen werkelijke en ideale duur van een reis.

Reistijd = tijdsduur die nodig is om een bepaalde route af te leggen, met inbegrip van stilstand, vertragingen en evt. omleidingsroutes.

Schijnconflict = Schijnconflicten komen voor in situaties waarbij verkeer waaraan voorrang verleend moet worden, geen of pas laat richting aangeeft, waardoor het voorrangverlenende verkeer tevergeefs heeft staan wachten.

Verzadigingsgraad = een maat voor de verhouding tussen intensiteit en capaciteit. Wanneer de intensiteit hoger is dan de capaciteit is er sprake van verzadiging of oververzadiging.

Regressielijn = een lijn door een verzameling punten met een minimale afwijking ten opzichte van die punten.

Correlatiecoëfficiënt = De correlatiecoëfficiënt r is een maat voor de betrouwbaarheid. Als r een waarde aanneemt dicht bij de 1 of -1 dan is de samenhang tussen x en y sterk. Als r een waarde aanneemt die dicht bij 0 zit is de samenhang minder sterk of zelfs afwezig (de punten liggen dan niet op de regressielijn)

Literatuurlijst

- Bezembinder, E. *Afstudeerscriptie Functioneel ontwerp voor kruispuntmodellering*. Deventer, februari 1998.
- CROW (1994) *Tellen en meten in het verkeer*. Publicatie 83, Ede, juni 1994
- CROW (1998). *Eenheid in rotondes*. Publicatie 126. CROW, Ede.
- CROW (2002b). *Fietsoversteken op rotondes: supplement bij publicatie 126 'Eenheid in rotondes'*. Publicatie 126a. CROW, Ede.
- CROW (2004) *ASVV 2004, Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*. 2^e herziene druk; oktober 2004.
- CROW(2008) *Turborotondes*. Publicatie 257, CROW, Ede, juni 2008.
- Fortuijn, L.G.H. *Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety*. Provincie Zuid-Holland, 2003.
- Leeuw, A.M. de, e.a. *Rekenen aan rotondes –invloed fietsers op doorstroming beperkt*”, Verkeerskunde nr.11, 1999, ANWB, Den Haag. (1999).
- Leijs, R. *Afstudeerscriptie Onderzoek naar de maximale wachtrijlengte op toeritten van rotondes*. Deventer, mei 2003.
- Minnen, J. van (1995). *Rotondes en voorrangregelingen*. R-95-58. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam
- Minnen, J. van (1998). *Rotondes en voorrangregelingen II*. R-98-12. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- Royal Haskoning *Studie Haaksbergerstraat, Maatregelennotitie (ultra) korte termijn*. Enschede, oktober 2008.
- SWOV *Factsheet Rotondes*, SWOV, Leidschendam, augustus 2007

Bijlagenlijst

Bijlage 1: Formules

(allen uit CROW-publicatie 126, *Eenheid in rotondes*)

1a: Capaciteitformules

1b: Wachtijdformules

1c: Oversteekformules

Bijlage 2: Onderzoekslocaties

Bijlage 3: Telformulieren

3a: Telformulier gemotoriseerd+fietsverkeer

3b: Telformulier wachttijden gemotoriseerd verkeer

Bijlage 4: Telgegevens en grafieken van alle onderzoekslocaties

De exacte telgegevens van de tien onderzochte locaties in tabellen met de daarbij behorende grafieken met wachttijden.

Bijlage 5: Berekening I/C verhoudingen en toeritcapaciteit per rotonde

Bijlage 6: Puntenwolken

6a: Puntenwolk fietsers+auto's

6b: Puntenwolk fietsers+auto's in pae's

6c: Puntenwolk kruisende fietsers

6d: Puntenwolk motorvoertuigen in pae's

6e: Puntenwolk rotonde-intensiteiten en fietsintensiteiten met verschil <10

6f: Puntenwolk fietsintensiteiten minimaal 10 meer dan rotonde-intensiteiten

6g: Puntenwolk rotonde-intensiteiten minimaal 10 meer dan fietsintensiteiten

6h: Puntenwolk rotonde-intensiteiten minimaal 10 meer dan fietsintensiteiten

6i: Uitkomsten beschrijvende statistiek

6j: Beschrijving gebruikte begrippen beschrijvende statistiek

Bijlage 1: Formules **(allen uit CROW-publicatie 126, *Eenheid in rotondes*)**

- 1a: Capaciteitformules
- 1b: Wachtijdformules
- 1c: Oversteekformules

Bijlage 1a: Capaciteitsformules

Capaciteitsformule van Bovy

De formule van Bovy is een formule die ontwikkeld is in Zwitserland en gebaseerd is op empirische gegevens. De resultaten lijken in Nederland goed te voldoen, maar een uitgebreide validatiestudie is niet uitgevoerd.

$$\text{Formule: } C_i = \frac{1}{\gamma} \left[1500 - \frac{8}{9} (\beta \cdot Q_r + \alpha \cdot Q_{af}) \right]$$

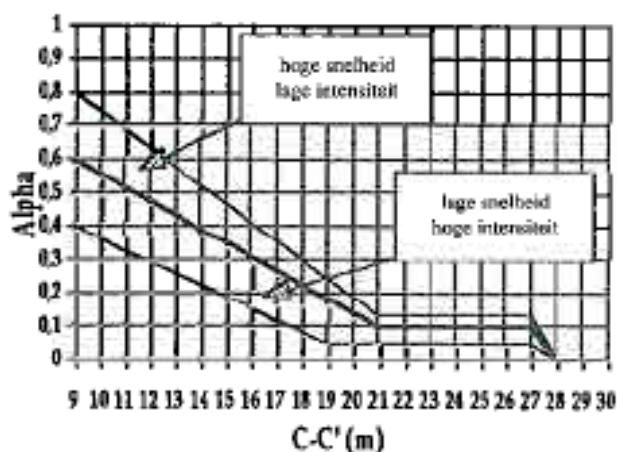
Waarin: γ = Invloed aantal stroken op de toerit
 β = Invloed aantal rijstroken op de rotonde
 α = Invloed van het afslaande verkeer
 Q_{af} = Intensiteit afslaand verkeer (pae/h)
 Q_r = Intensiteit rotonde (pac/h)
 C_i = Capaciteit toerit (pae/h)

De parameters α , β en γ zijn te vinden in de onderstaande tabel.

Bepaling parameters voor de formule van Bovy

α

Bepaling van alpha



β

Enkelstrooks

0,9 – 1,0

Tweestrooks

0,6 – 0,8

γ

1,0

0,6 – 0,7

In deze formule zijn de volgende pae-waarden aangehouden:

1 fiets = 0,5 pae

1 vrachtauto = 2 pae

De parameter α is afhankelijk van de afstand C–C' tussen de toe- en de afrit.
Daarnaast kan α binnen bepaalde grenzen gevarieerd worden, afhankelijk van de intensiteit en snelheid van het afslaand verkeer.

De afstand C–C' kan worden gemeten, maar ook worden afgeleid uit bekendere maten als de volgende aannamen worden gedaan:

- de aansluitbogen van de toe- en afrit raken aan de buitenstraal van de rotonde;
- de punten C en C' liggen op het rotondevlak ter hoogte van dit raakpunt;
- de toe- en afrit sluiten radiaal aan op de rotonde.

De formule voor de bepaling van C–C' heeft de volgende invoergegevens nodig:

- Binnenstraal van de rotonde R_{binnen} (m);
- Buitenstraal van de rotonde R_{buiten} (m);
- Aansluitboog van de toerit op de rotonde R_{toe} (straal in m);
- Aansluitboog van de afrit op de rotonde R_{af} (straal in m);
- Breedte van de toerit B_{toe} (m);
- Breedte van de afrit B_{af} (m);
- Breedte van de middengeleider B_{midden} (m).

De afstand C–C' is een gedeelte van de cirkel met als straal de gemiddelde waarde van binnen- en buitenstraal van de rotonde. Deze straal wordt $R_{\text{C-C'}}$ genoemd.
De afstand C–C' is de hoek in radialen tussen C en C' vermenigvuldigd met de straal $R_{\text{C-C'}}$.

De hoek tussen C en C' bestaat uit twee gedeelten. De hoek wordt gesplitst door een lijn loodrecht vanuit het middelpunt van de rotonde naar beneden te trekken. Er kunnen dan twee driehoeken gedefinieerd worden: één op de afrit en één op de toerit.

Driehoek toerit:

Lengte schuine zijde: $R_{\text{buiten}} + R_{\text{toe}}$

Lengte onderzijde: $R_{\text{toe}} + B_{\text{toe}} + 0,5 \cdot B_{\text{midden}}$

De sinus van de toerithoek is de onderzijde gedeeld door de schuine zijde en de hoek zelf is dus de inverse van deze sinus.

Driehoek afrit:

Lengte schuine zijde: $R_{\text{buiten}} + R_{\text{af}}$

Lengte onderzijde: $R_{\text{af}} + B_{\text{af}} + 0,5 \cdot B_{\text{midden}}$

De sinus van de afriehoek is de onderzijde gedeeld door de schuine zijde en de hoek zelf is dus de inverse van deze sinus.

Bijlage 1b: Wachtijdformules

Wachtijdformule van Willems

De formule van Willems is gebaseerd op praktijkmetingen bij vier rotondes in Zuid-Holland. De resultaten blijken goed overeen te komen met de empirische gegevens ($R^2 = 0,78$). De formule is alleen bruikbaar als de intensiteit 100 pae/h of meer onder de capaciteit ligt.

$$T_w = 5,4 + 21,2 \cdot B^2$$

Waarin: T_w = Wachtijd (s)
 B = Belastingsgraad (I/C)

De wachtrij blijkt overeen te komen met:

$$L_w = 0,38 \cdot T_w$$

Waarin: L_w = Wachtrijlengte in voertuigen

Wachttijdformule van Brilon

De formule van Brilon kan evenals de formule van Kimber & Hollis gebruikt worden in overbelaste situaties. De formule houdt ook rekening met de belastingsgraad voor en na de beschouwde periode.

Brilon hanteert de volgende notatie:

	Voor spitsperiode	Tijdens spitsperiode	Na spitsperiode
Intensiteit (pae/s)	q_0	q	q_1
Capaciteit (pae/s)	c_0	c	c_1
Capaciteitsreserve (pae/s)	$r_0 = c_0 - q_0$ $r_0 > 0$	$r = c - q$	$r_1 = c_1 - q_1$ $r_1 > 0$
Wachtrij (pae)	$N_0 = \frac{q_0}{r_0}$	$N = \frac{q}{r}$	$N_1 = \frac{q_1}{r_1}$

$$\text{Formules: } b = \frac{T \left(1 + \frac{100}{r_1} \right)}{2 \cdot (c + 100)}$$

$$B = \frac{1}{2} \cdot \left(b \cdot r - \frac{N_0}{c} \right)$$

$$d = -B + \sqrt{B^2 + b}$$

Waarin: d = Gemiddelde wachttijd in de spitsperiode (s)

T = Tijdsduur van de spitsperiode (s)

Wachttijdformule van Kimber & Hollis

De wachttijdformule van Kimber & Hollis wordt in de literatuur vaak aanbevolen als rekening moet worden gehouden met overbelaste situaties. Kimber & Hollis nemen de intensiteit en capaciteit van de perioden voor en na de spits mee in de berekening.

$$\text{Formules: } D = D_1 + E + \frac{1}{c}$$

$$D_1 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{F^2 + G} - F \right)$$

$$F = \frac{1}{c_0 - q_0} \cdot \left[\frac{T}{2} \cdot (c - q) \cdot y + C \cdot \left(y + \frac{h}{c} \right) \right] + E$$

$$G = \frac{2 \cdot T \cdot y}{c_0 - q_0} \cdot \left[C \cdot \frac{q}{c} - (c - q) \cdot E \right]$$

$$E = \frac{C \cdot q_0}{c_0 \cdot (c_0 - q_0)}$$

$$h = c - c_0 + q_0$$

$$y = 1 - \frac{h}{q}$$

$$\frac{q_0}{c_0} < 1$$

- Waarin:
- D = Gemiddelde wachttijd in de spitsperiode (h)
 - c = Capaciteit in de spitsperiode (pae/h)
 - c₀ = Capaciteit voor en na de spitsperiode (pae/h)
 - q = Intensiteit in de spitsperiode (pae/h)
 - q₀ = Intensiteit voor en na de spitsperiode (pae/h)
 - T = Tijdsduur van de spitsperiode (h)
 - C = Factor (geen capaciteit):
 - 1 bij kruispunten zonder verkeerslichten
 - 0,5 bij kruispunten met verkeerslichten

Wachttijdformule van Akcelik & Troutbeck

De formule van Akcelik & Troutbeck is eenvoudig van opzet en houdt geen rekening met de belastingsgraad in de perioden voor en na de beschouwde periode. Toch blijken de uitkomsten vaak overeen te komen met de formules van Kimber & Hollis en Brilon. Vooral voor handmatige berekeningen is de formule van Akcelik & Troutbeck aan te raden.

$$\text{Formule: } d = \frac{1}{c_r} + \frac{T}{4} \cdot \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8x}{c_r \cdot T}} \right]$$

$$\text{Met: } x = \frac{q_s}{c_r}$$

- Waarin:
- c_r = Capaciteit toerit (pac/s)
 - q_s = Intensiteit toerit (pac/s)
 - T = Tijdsduur van de spitsperiode(n)
 - x = Belastingsgraad (I/C)
 - d = Gemiddelde wachttijd in de spitsperiode(n)

Bijlage 1c: Oversteekformules

Oversteekformule van Brilon/Siegloch

Voor het berekenen van de invloed van voorranghebbende fietsers op de toerit kan gebruikgemaakt worden van een combinatie van formules van Siegloch en Brilon. Als er sprake is van een fietsstrook, kan de invloed van fietsverkeer op de toerit berekend worden met de formule van Siegloch. Dit is een formule die gebaseerd is op hiaattijdtheorie. Als er sprake is van een vrijliggend fietspad, kan de extra capaciteitswinst die dit met zich meebrengt ten opzichte van een fietsstrook berekend worden met de formule van Brilon. Deze formule is oorspronkelijk bedoeld om de capaciteitswinst van opstelruimte in de middenberm van een voorrangsweg bij het oversteken te berekenen.

Fietsstrook (Siegloch)

Allereerst berekening van de kans dat de toerit niet is geblokkeerd door overstekende fietsers:

$$\text{Formule: } p_{\text{toerit}} = e^{-q_r \cdot t_0}$$

$$\text{Met: } t_0 = t_v - \frac{t_r}{2}$$

Waarin:	t_v	=	Minimale volgtijd toeritverkeer (s)
	t_0	=	Nulhiaattijd t.o.v. fietsers (s) = ondergrens kritisch hiaat
	t_{kr}	=	Gemiddeld kritisch hiaat t.o.v. fietsers (s)
	q_r	=	Intensiteit fietsers op rotonde (fietsers/s)
	P_{toerit}	=	Kans dat de toerit niet is geblokkeerd door fietsers

Als er sprake is van een fietsstrook, is de uiteindelijke capaciteitswaarde van de toerit gelijk aan:

$$C_{\text{toerit}} = C_{\text{toerit}} \cdot p_{\text{toerit}}$$

Waarin:	C_{toerit}	=	Capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. het hoofdeconflict (pae/h)
	P_{toerit}	=	Kans dat de toerit niet is geblokkeerd door fietsers
	C_{toerit}	=	Capaciteit van de toerit bij een fietsstrook (pae/h)

Vrijliggend fietspad (Brilon)

Als er sprake is van een vrijliggend fietspad met fietsers in de voorrang, dan moet de volgende berekening plaatsvinden:

$$\text{Formule: } C_{t,vrij} = \frac{C_{t,fiets} \cdot C_{t,h} - C_{t,strook}^2}{C_{t,fiets} + C_{t,h} - 2 \cdot C_{t,strook}}$$

$$\text{Met: } C_{t,fiets} = P_{toerit} \cdot 1500$$

- Waarin:
- $C_{t,fiets}$ = Capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. de fietsoversteek (pae/h)
 - $C_{t,h}$ = Capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. het hoofdconflict (pae/h)
 - $C_{t,strook}$ = Capaciteit van de toerit die geldt bij een fietsstrook (pae/h)
 - $C_{t,vrij}$ = Capaciteit bij vrijliggend fietspad (pae/h)
Alleen geldig bij opstelruimte van één voertuig tussen rotonde en fietspad

Als er sprake is van een vrijliggend fietspad, is de uiteindelijke capaciteitswaarde van de toerit gelijk aan $C_{t,vrij}$.

Oversteekformules van Marlow & Maycock

De formules van Marlow & Maycock zijn oorspronkelijk bedoeld voor het berekenen van de invloed van overstekende voetgangers op de capaciteit. Het is waarschijnlijk dat deze formules ook voldoen voor overstekend fietsverkeer. Ze hebben een theoretische basis.

Toerit

$$\text{Formule: } C_{t,\text{fiets}} = \frac{q_f}{q_f \cdot t_v + (e^{q_f \cdot t_{\text{over}}} - 1) \cdot (1 - e^{-q_f \cdot t_v})}$$

Waarin: t_v = Minimale volgtijd toeritverkeer (s)
 t_{over} = Fietsoversteektijd (s)
 q_f = Intensiteit fietsers (fietsers/s)
 $C_{t,\text{fiets}}$ = Capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. de fietsoversteek (pae/s)

$$\text{Formule: } R_f = \frac{C_{t,\text{fiets}}}{C_t}$$

Waarin: $C_{t,\text{fiets}}$ = Capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. de fietsoversteek (pae/h)
 C_t = Capaciteit van de toerit zonder fietsoversteek (pae/h)
 R_f = Verhoudingsgetal

Als $R_f \leq 1$ is deze berekening niet geldig. Als $R_f > 1$, dan kan de berekening voortgezet worden.

$$\text{Formule: } C_{t,\text{virtueel}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{t,\text{fiets}}} - t_v \cdot e^{-q_f(t_{\text{over}} + t_v)}}$$

Waarin: t_v = Minimale volgtijd toeritverkeer (s)
 t_{over} = Fietsoversteektijd (s)
 q_f = Intensiteit fietsers (fietsers/s)
 $C_{t,\text{fiets}}$ = Capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. de fietsoversteek (pae/s)
 $C_{t,\text{virtueel}}$ = Virtuele capaciteit van de toerit uitsluitend t.g.v. de fietsoversteek (pae/s)

$$\text{Formule: } R_v = \frac{C_{t,\text{virtueel}}}{C_t}$$

Waarin: $C_{t,\text{virtueel}}$ = Virtuele capaciteit van de fietsoversteek op de toerit (pae/h)
 C_t = Capaciteit van de toerit zonder fietsoversteek (pae/h)
 R_v = Verhoudingsgetal

Bijlage 2: Onderzoekslocaties

Locatie 1: Enschede, Haaksbergerstraat - Ferdinand Bolstraat

Locatie 2: Enschede, Auke Vleerstraat - Capitoel

Locatie 3: Enschede, Knalhutteweg – Broekheurnering

Locatie 4: Enschede, Zuiderval – Haaksbergerstraat

Locatie 5: Enschede, H.T. Kuilestraat – Binnenhaven

Locatie 6: Hengelo, Sloetsweg – Deurningerstraat

Locatie 7: Hengelo, Deurningerstraat – Salamanderstraat

Locatie 8: Hengelo, Westelijke Esweg – Gerrit Peuscherstraat

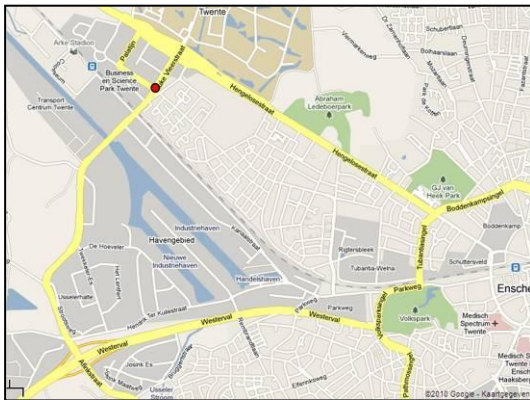
Locatie 9: Rijssen, Roelf Bosmastraat – Holterstraatweg

Locatie 10: Rijssen, Enterstraat – Karel Doormanstraat

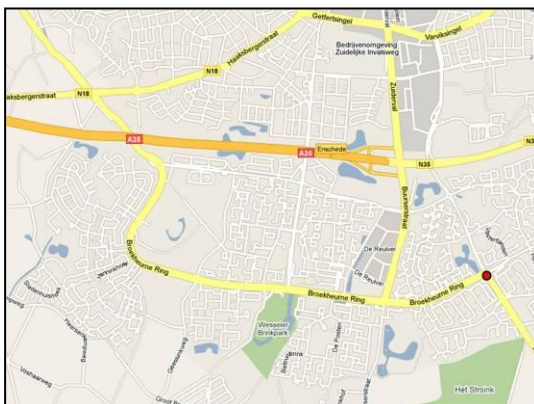
Locatie 1: Enschede, Haaksbergerstraat - Ferdinand Bolstraat



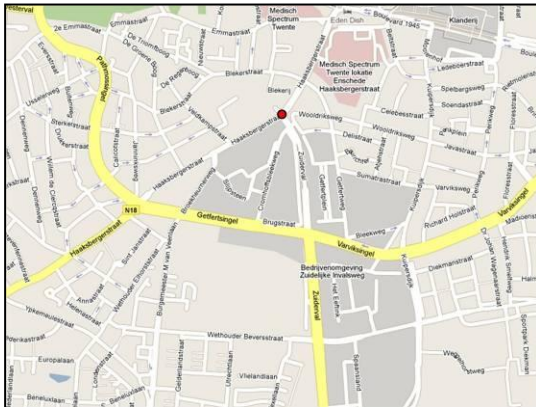
Locatie 2: Enschede, Auke Vlierstraat - Capitool



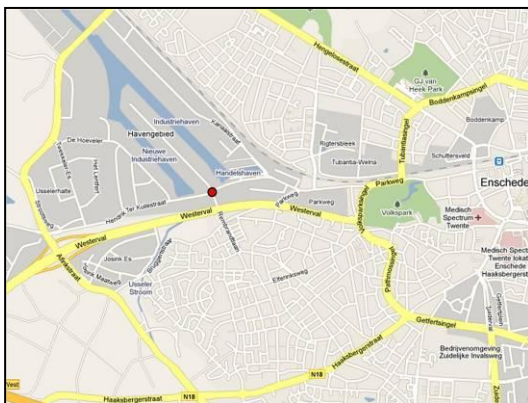
Locatie 3: Enschede, Knalhatteweg – Broekheurnering



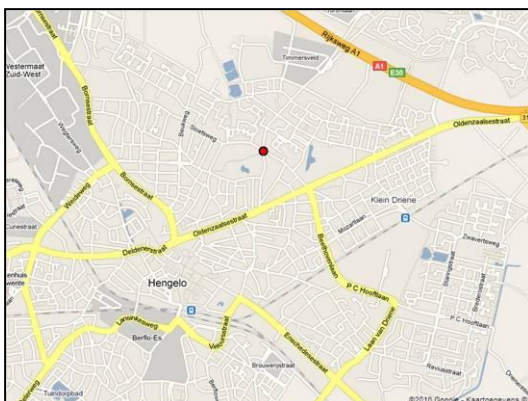
Locatie 4: Enschede, Zuiderval – Haaksbergerstraat



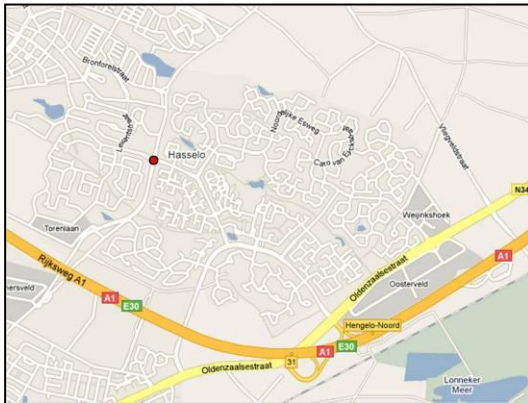
Locatie 5: Enschede, H.T. Kuilestraat – Binnenhaven



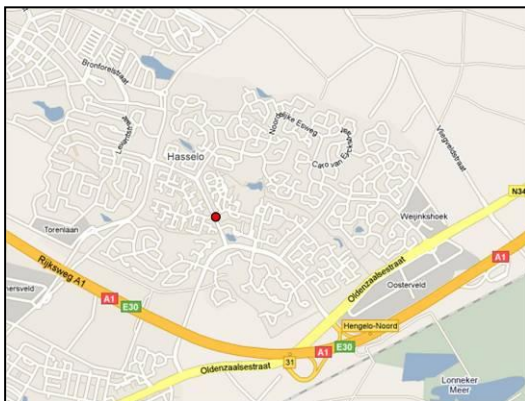
Locatie 6: Hengelo, Sloetsweg – Deurningerstraat



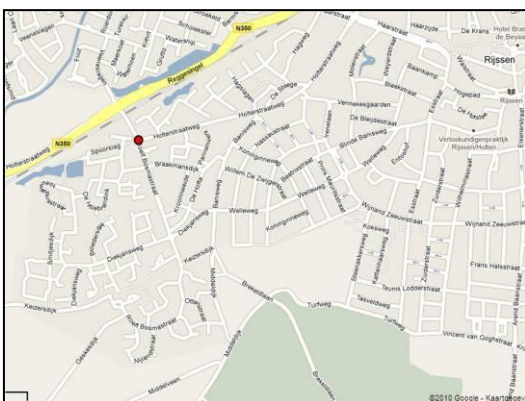
Locatie 7: Hengelo, Deurningerstraat – Salamanderstraat



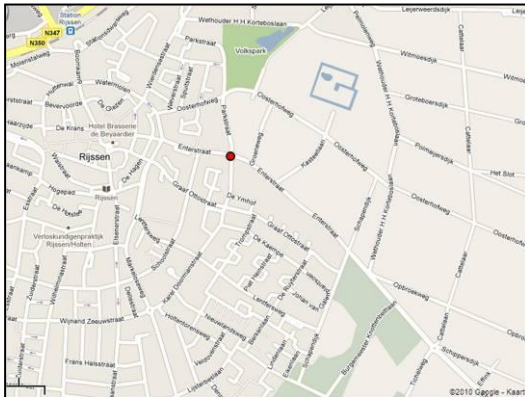
Locatie 8: Hengelo, Westelijke Esweg – Gerrit Peuscherstraat



Locatie 9: Rijssen, Roelf Bosmastraat – Holterstraatweg



Locatie 10: Rijssen, Enterstraat – Karel Doormanstraat

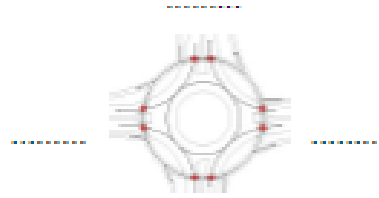


Bijlage 3: Telformulieren

- 3a: Telformulier gemotoriseerd+fietsverkeer
- 3b: Telformulier wachttijden gemotoriseerd verkeer

3a: Telformulier gemotoriseerd+fietsverkeer

Locatie:
Datum waarneming:
Waarnemer:
Weergesteldheid:
Tijdsperiode:

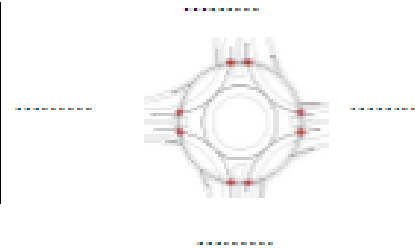


Tijdsinterval per 5 min.							
-----------------------------	---	---	---	---	---	---	---

.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							

3b: Telformulier wachttijden gemotoriseerd verkeer

Locatie:
Datum waarneming:
Waarnemer:
Weergesteldheid:
Tijdperiode:



Tijdsinterval per 5 min.	Wachttijd			
.....-.....		-.....	
.....-.....		-.....	

Bijlage 4: Telgegevens en grafieken van alle onderzoekslocaties

De exacte telgegevens van de tien onderzochte locaties in tabellen met de daarbij behorende grafieken met wachttijden.

Locatie 1: Enschede, Haaksbergerstraat - Ferdinand Bolstraat

Locatie 2: Enschede, Auke Vleerstraat - Capitool

Locatie 3: Enschede, Knalhatteweg – Broekheurnering

Locatie 4: Enschede, Zuiderval – Haaksbergerstraat

Locatie 5: Enschede, H.T. Kuilestraat – Binnenhaven

Locatie 6: Hengelo, Sloetsweg – Deurningerstraat

Locatie 7: Hengelo, Deurningerstraat – Salamanderstraat

Locatie 8: Hengelo, Westelijke Esweg – Gerrit Peuscherstraat

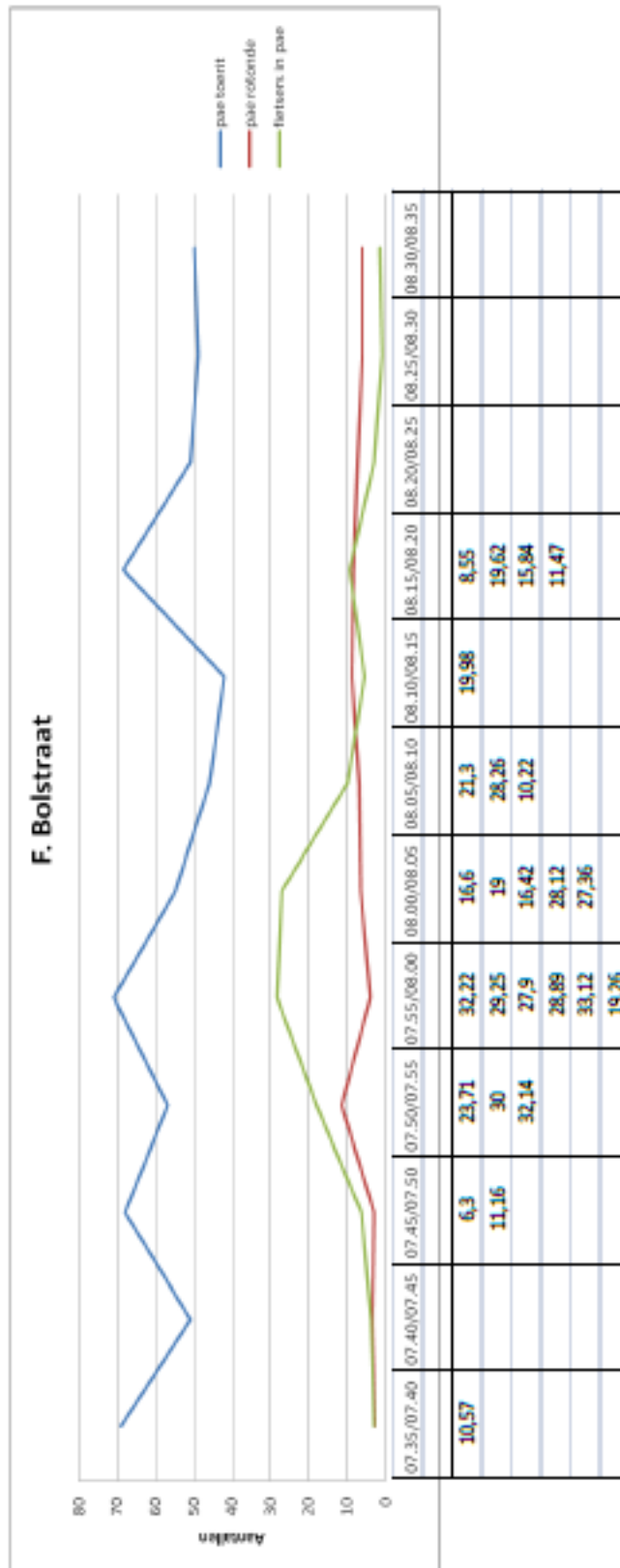
Locatie 9: Rijssen, Roelf Bosmastraat – Holterstraatweg

Locatie 10: Rijssen, Enterstraat – Karel Doormanstraat

Locatie 1: Enschede, Haaksbergerstraat - Ferdinand Bolstraat

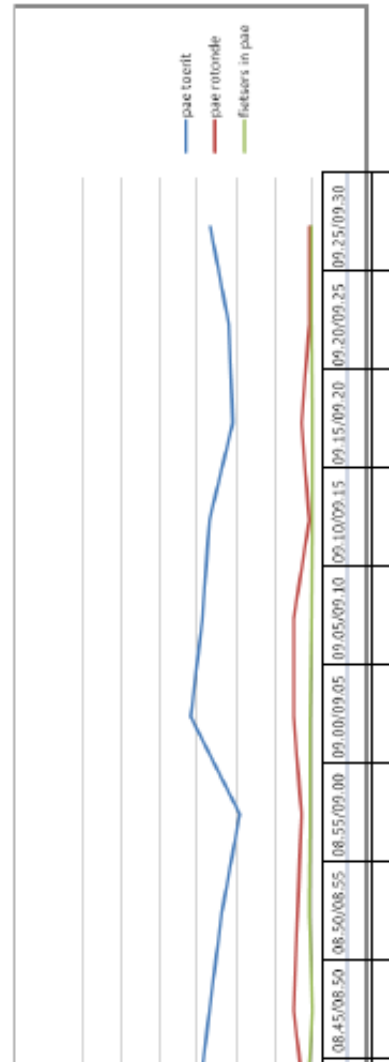
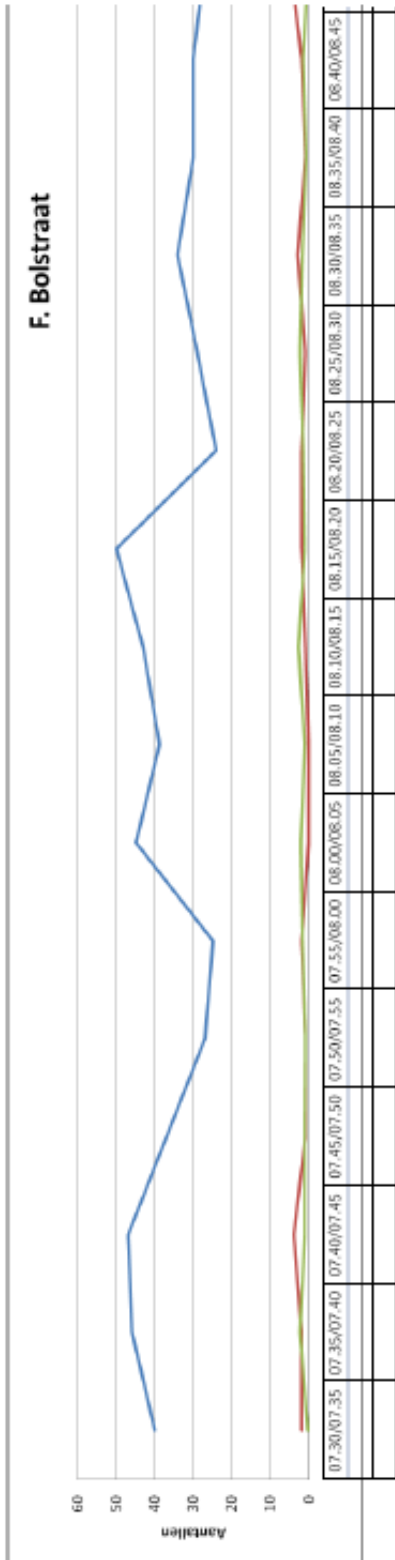
F. Bolstraat 9-2-10																
Intensiteiten toerit																
Tijd	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30	08.30/08.35				
Auto	66	51	68	55	69	50	46	42	67	51	44	50				
Bestelwagen				1	1	1					1					
Vrachtauto																
Bus	1				1						1					
Motor									2							
Brommer																
Pae toerit	69	51	68	56,9	70,9	54,9	46	42	68,5	51	48,9	50				

F. Bolstraat 9-2-10																
Intensiteiten rotonde																
Tijd	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30	08.30/08.35				
Auto	2	3	3	11	4	6	6	8	8	7	6	6				
Bestelwagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Vrachtauto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Bus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Motor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Brommer	2	1	0	1	0	1	2	2	1	1	0	0				
Pae rotonde	2,8	3,4	3	11,4	4	6,4	6,8	8,8	8,4	7,4	6	6				
Fiets	10	13	21	60	94	90	33	18	31	10	3	5				
Fietzers in pae(0,3)	3	3,9	6,3	18	28,2	27	9,9	5,4	9,3	3	0,9	1,5				



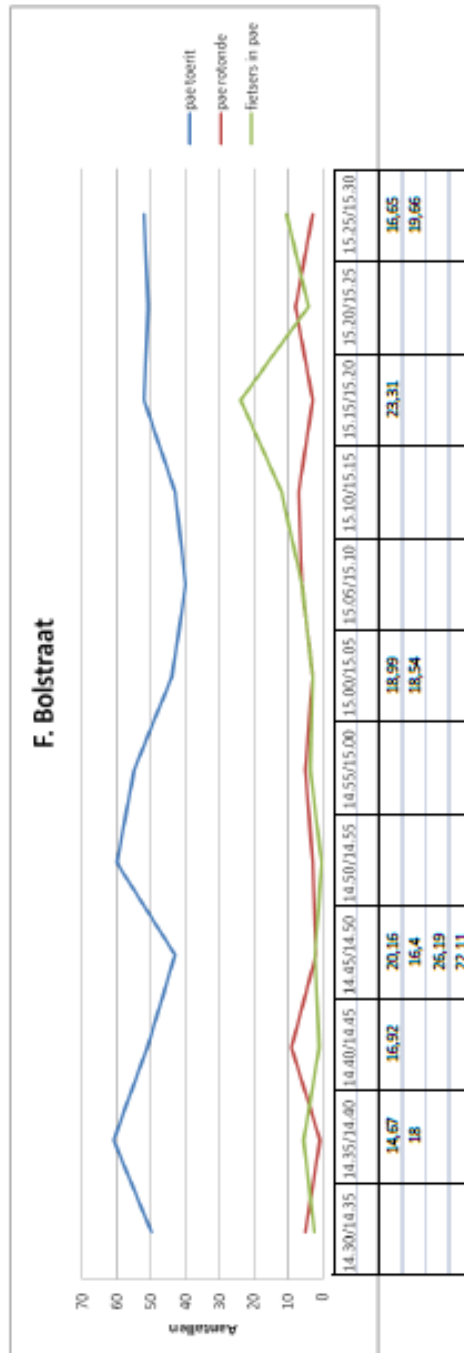
F. Bolstraat 22.2.10																									
Inentsteden toert																									
Tijd		07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Auto	40	42	43	35	25	23	37	35	43	50	24	24	24	31	30	28	25	18	17	22	25	25	17	18	17
Bestelwagen	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1
Vrachtauto	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1
Bus																									
Motor																									
Brommer																									
Pae toert	40	45,8	46,8	36,9	26,9	24,9	44,9	38,8	43	50	24	24	28,9	34	30	29,9	26,9	23,7	18,9	31,8	28,8	26,9	20,8	21,8	26,8

F. Bolstraat 22.2.10																									
Inentsteden toerde																									
Tijd		07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Auto	2	2	4	4	1	1	1	1	1	2	2	2	1	3	1	2	5	4	3	3	3	1	1	1	1
Bestelwagen																									
Vrachtauto																									
Bus																									
Motor																									
Brommer																									
Pae rotonde	2	2	4	4	1	1	1,9	0	1	2	2	2	1	3	1	2	5	4	3	4,9	4,9	1	2,9	1	1
Fiets	1	8	4	4	3	6	7	4	9	4	5	8	6	6	2	5	3	2	2	2	1	2	1	1	1
Fietsers in pae(0,3)	0,3	2,4	1,2	1,2	0,9	1,8	2,1	1,2	2,7	1,2	1,5	2,4	1,8	0,6	1,5	0	0,9	0,6	0,6	0,6	0,3	0	0	0,3	0,3



F. Bolstraat 3-3-10																
Intensiteiten toerit																
Tijd	14.30/14.35	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15	15.15/15.20	15.20/15.25	15.25/15.30				
Auto	50	61	51	41	58	50	44	40	43	52	46	52				
Bestelwagen				1	1	1					1					
Vrachtauto																
Bus						1					1					
Motor																
Brommer																
Pae toerit	50	61	51	42,9	59,9	54,9	44	40	43	52	50,9	52				

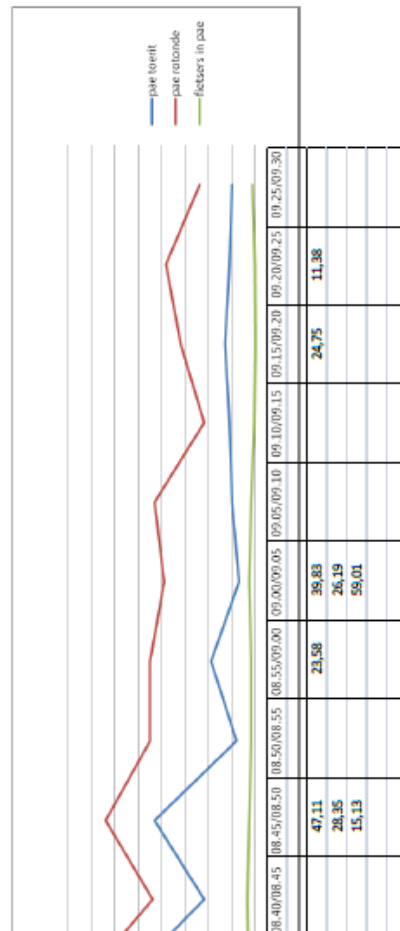
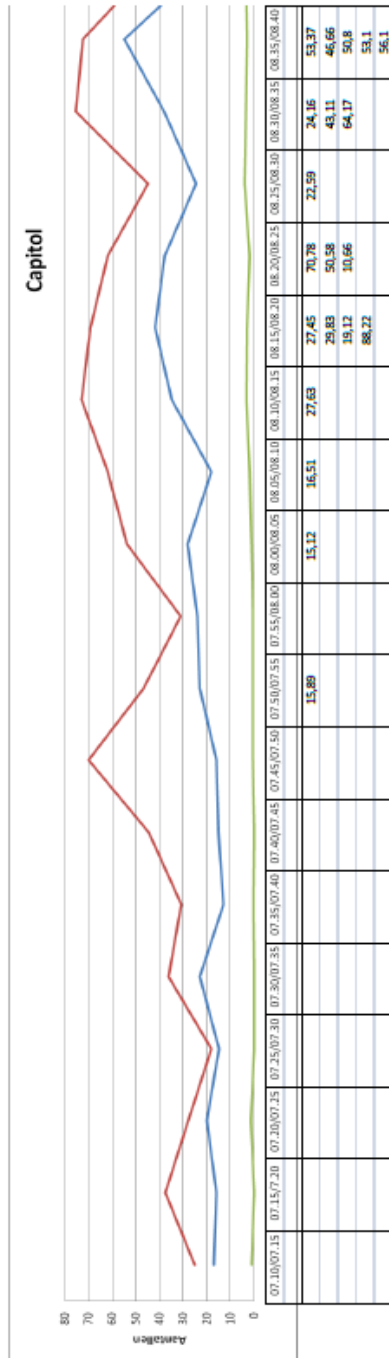
F. Bolstraat 3-3-10																
Intensiteiten rotonde																
Tijd	14.30/14.35	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15	15.15/15.20	15.20/15.25	15.25/15.30				
Auto	5		9	2	3	5	3	6	7	3	8	3				
Bestelwagen																
Vrachtauto																
Bus																
Motor																
Brommer		2														
Pae rotonde	5	0,8	9	2	3	5	3	6	7	3	8	3				
Fiets	8	18	3	7	1	12	10	20	40	80	14	35				
Fietzers in pae(0,3)	2,4	5,4	0,9	2,1	0,3	3,6	3	6	12	24	4,2	10,5				



Locatie 2: Enschede, Auke Vleerstraat - Capitool

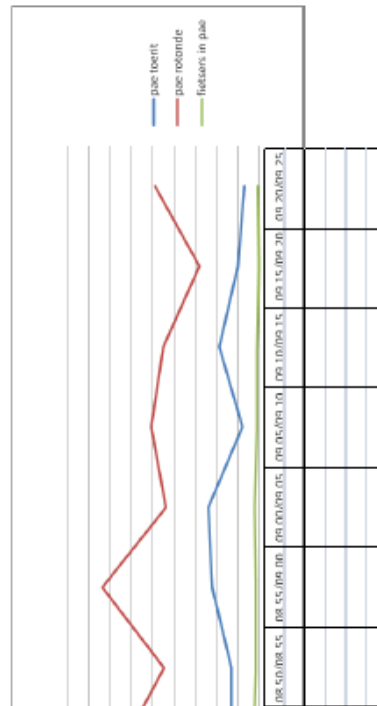
Capitoel 18.2.0																													
Inventarisatieroost																													
Tijd		07:10/07:15	07:15/07:20	07:20/07:25	07:25/07:30	07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Auto		14	10	17	20	14	20	13	10	20	24	25	18	30	40	19	24	35	35	21	36	8	14	7	7	8	20	11	7
Bestelwagen																													
Vrachtauto																													
Bus		1																											
Motor																													
Brommer																													
Pee lichte		17	16	20	14,75	23	13	13	15	16	23	24	28	18	34,9	41,9	37,9	38	55	22	42,9	8	18,9	7	10	11	13	11	10

Capitoel 18.3.0																													
Inventarisatieroost																													
Tijd		07:10/07:15	07:15/07:20	07:20/07:25	07:25/07:30	07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Auto		25	32	26	18	34	29	38	70	46	31	50	60	73	67	60	45	75	72	40	60	45	45	35	43	22	30	38	22
Bestelwagen		0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vrachtauto		0	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0
Bus		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motor		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brommer		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pee rotonde		25	37,7	27,9	18	36,3	30,9	40,5	70	46,8	31	53,8	61,9	73	69,3	61,9	45	75,4	72,1	43,8	63,8	45	45	38,8	43	22	30,9	38	23,9
Peets		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peets rotonde		0,9	0	0	0	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	1,8	3,3	3	1,8	3,9	3,6	3	3,6	2,7	1,8	3,8	2,7	1,8	0,6	0	0,3	1,2



Capitol 3-3-10																									
Intensiteit toert																									
Tijd		07.25/07.30	07.30/07.35	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30	08.30/08.35	08.35/08.40	08.40/08.45	08.45/08.50	08.50/08.55	08.55/09.00	09.00/09.05	09.05/09.10	09.10/09.15	09.15/09.20	09.20/09.25
Auto	16	15	17	15	30	15	14	14	17	11	23	25	32	18	32	27	22	13	10	22	19	8	14	7	7
Bestelwagen														1	1	1	1								
Vrachtauto												1													
Bus	1				1														1						
Motor																									
Brommer																									
Pae toert	19	15	20	15	33	15	17	17	17	14	23	28	32	22,9	33,9	31,9	23,9	13	13	22	23,9	8	18,9	10	7

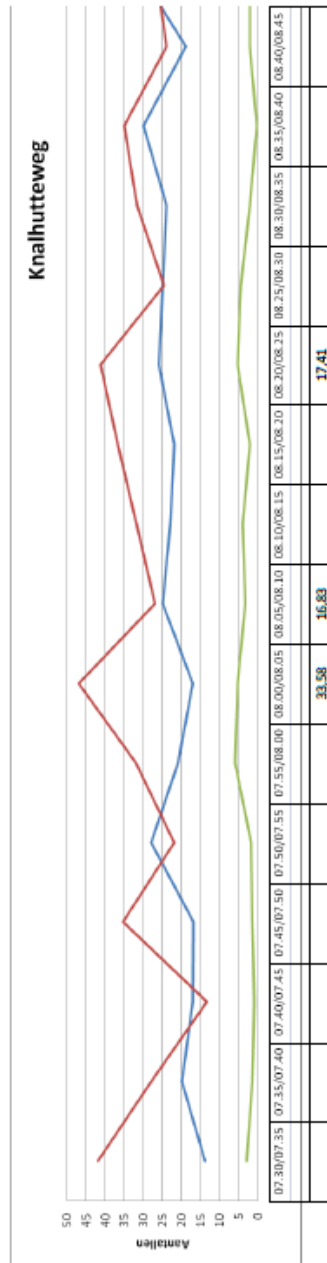
Capitol 3-3-10																									
Intensiteit in ronde																									
Tijd		07.25/07.30	07.30/07.35	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30	08.30/08.35	08.35/08.40	08.40/08.45	08.45/08.50	08.50/08.55	08.55/09.00	09.00/09.05	09.05/09.10	09.10/09.15	09.15/09.20	09.20/09.25
Auto	38	20	17	39	1	37	54	45	40	42	52	66	70	45	63	75	51	63	41	72	42	47	45	28	47
Bestelwagen	2	2		1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2			1
Vrachtauto	1						1																		
Bus																									
Motor																									
Brommer	1							1																	
Pae ronde	44,1	23,8	17	40,9	39,3	55,9	45,75	43,8	43,9	54,3	70,2	74,6	46,9	63,4	79,55	51	64,9	44,8	73,9	43,9	43,9	50,8	45	28	48,9
Fiets	2	1	2	2	2	1,5	0	4	4	1	11	10	2	48	15	17	13	9	5	5	7	3	3		2
Fietsers in pae (0,3)	0,6	0,3	0,6	0,6	0	1,5	0	1,2	1,2	0,3	3,3	3	0,6	14,4	4,5	5,1	3,9	2,7	1,5	1,5	2,1	0,9	0,9	0	0,6



Locatie 3: Enschede, Knalhatteweg – Broekheurnering

Knalhatteweg 4.3-10																									
Intersectie ten toert																									
Tijd		07.30/07.35	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30	08.30/08.35	08.35/08.40	08.40/08.45	08.45/08.50	08.50/08.55	08.55/09.00	09.00/09.05	09.05/09.10	09.10/09.15	09.15/09.20	09.20/09.25	09.25/09.30
Auto																									
Bestelwagen																									
Vrachtauto																									
Bus																									
Motor																									
Brommer																									
Foei teert																									
		12	20	17	15	28	21	17	25	23	22	26	25	22	30	19	32	26	16	14	16	13	9	16	20
		1			1							1						1							
		13,9	20	17	16,9	28	21	17	25	23	22	26	25	23,9	30	19	32	27,9	16	15,9	16	13	9	16	20

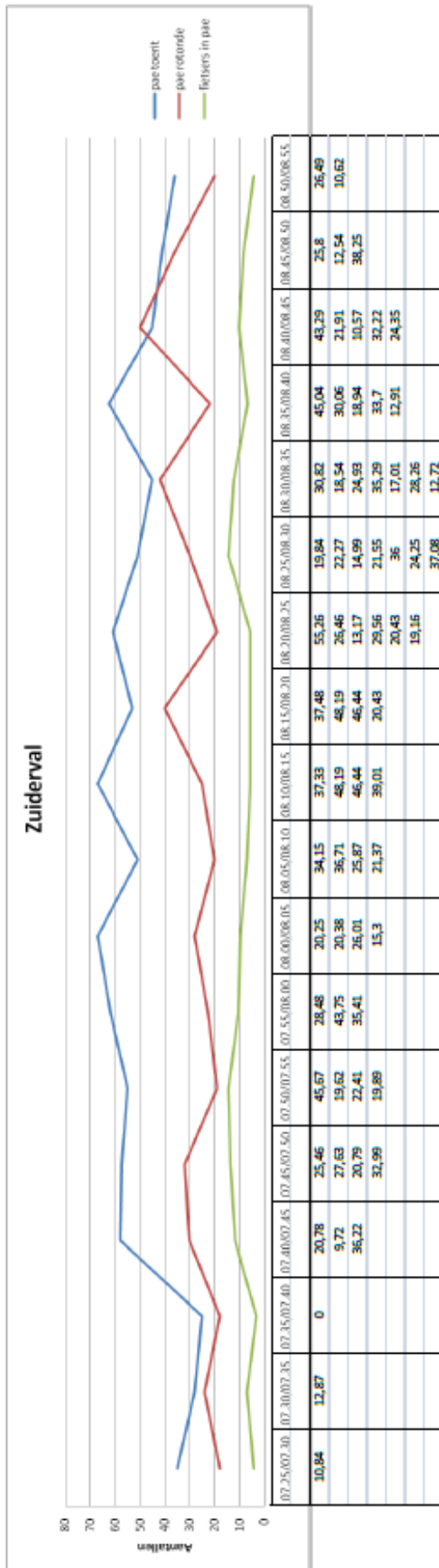
Knalhatteweg 4.3-10																									
Intersectie ten rotonde																									
Tijd		07.30/07.35	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30	08.30/08.35	08.35/08.40	08.40/08.45	08.45/08.50	08.50/08.55	08.55/09.00	09.00/09.05	09.05/09.10	09.10/09.15	09.15/09.20	09.20/09.25	09.25/09.30
Auto																									
Bestelwagen																									
Vrachtauto																									
Bus																									
Motor																									
Brommer																									
Pare rotonde																									
Fiets																									
Fietsers in baai(0,3)																									
		40	25	13	35	22	32	46	27	30	33	39	19	26	35	22	25	20	15	14	11	27	16	18	20
		1						1		1	1	1	2	1		1	1	1				1	2	1	
		41,9	28	13,4	35,4	22	32	46,9	27	31,9	36,8	41,3	24,7	31,7	35	23,9	26,9	21,9	16,9	15,9	11	30,8	19,8	19,9	20
		30	5	3	5	6	20	28	11	13	7	18	15	7	1	7	6	11	5	2	2	1	1	2	
		3	1,5	0,9	1,5	1,8	6	5,4	3,3	3,9	2,1	5,4	4,5	2,1	0,3	2,1	1,8	3,3	1,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,6	



Locatie 4: Enschede, Zuiderval – Haaksbergerstraat (achteraf niet meegenomen in analyse)

Zuiderval 19-2-10																			
Intensiteiten toerit																			
Tijd		07:25/07:30	07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55
Auto		33	28	25	58	57	55	60	65	51	67	53	60	51	45	60	45	41	36
Bestelwagen																			
Vrachtauto		1				1									1				
Bus																			
Motor																			
Brommer													1						
Pae toerit		34,9	28	25	58	57,4	55	61,9	66,9	51	67	53	60,75	51	45	62,3	45	41	36

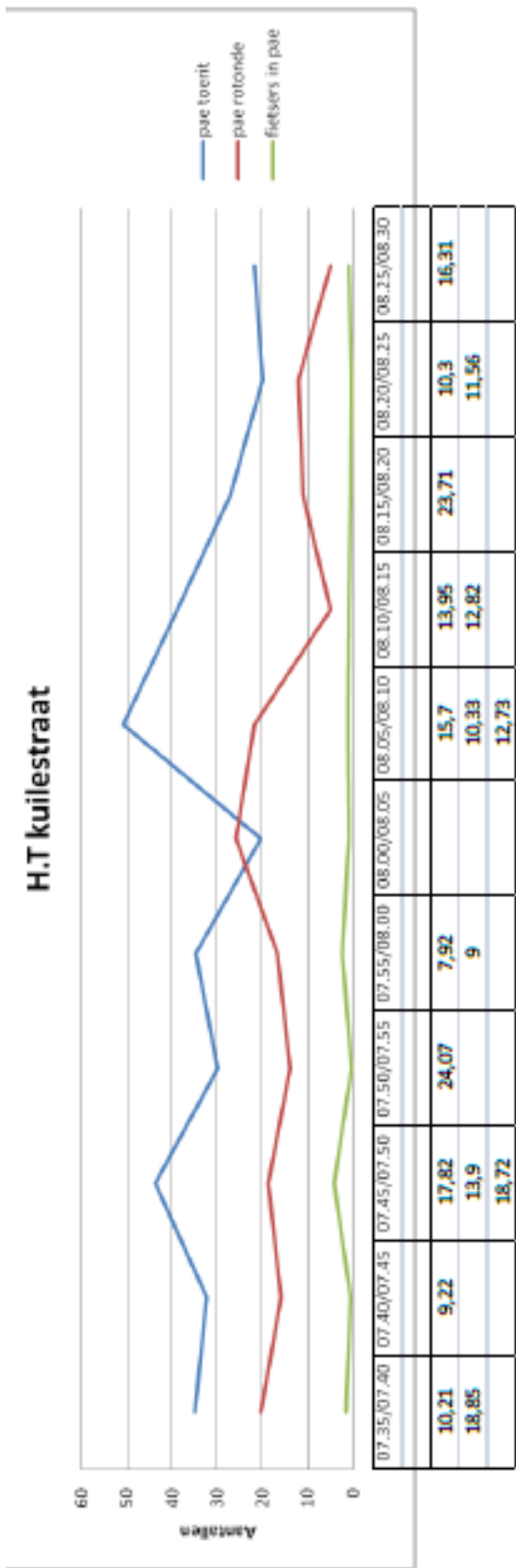
Zuiderval 19-2-10																			
Intensiteiten rotonde																			
Tijd		07:25/07:30	07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55
Auto		12	24	15	29	30	19	19	22	20	25	40	19	28	39	19	50	33	20
Bestelwagen		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Vrachtauto		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus		2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Motor		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brommer		0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pae rotonde		18	24	18	30,2	31,9	19	22,8	28	20	25	40	19	29,9	42	22	50	36	20
Fiets		1,4	2,3	1,1	3,9	4,5	4,8	3,5	3,2	2,3	1,9	1,9	1,9	4,8	4,1	2,2	3,4	2,8	1,4
Fietsers in pae(0,3)		4,2	6,9	3,3	11,7	13,5	14,4	10,5	9,6	6,9	5,7	5,7	5,7	14,4	12,3	6,6	10,2	8,4	4,2



Locatie 5: Enschede, H.T. Kuilestraat – Binnenhaven

H.T. Kuilestraat 24-2-10													
Intensiteiten toerit													
Tijd	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30		
Auto	35	32	40	30	34	20	47	37	27	20	21		
Bestelwagen								1					
Vrachtauto		2				2							
Bus													
Motor					1						1		
Brommer						1							
Pae toerit	35	32,4	43,8	30	34,75	20,4	50,8	38,9	27	20	21,75		

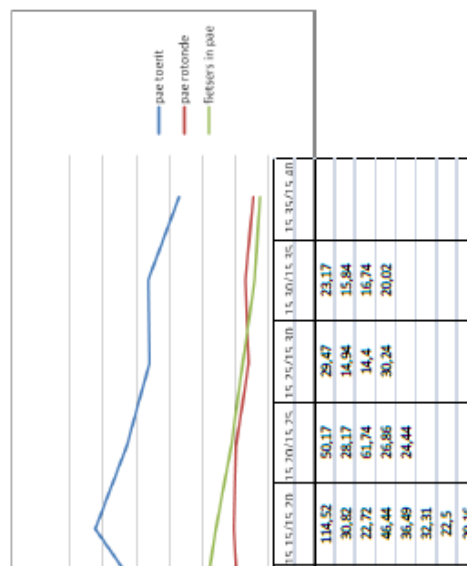
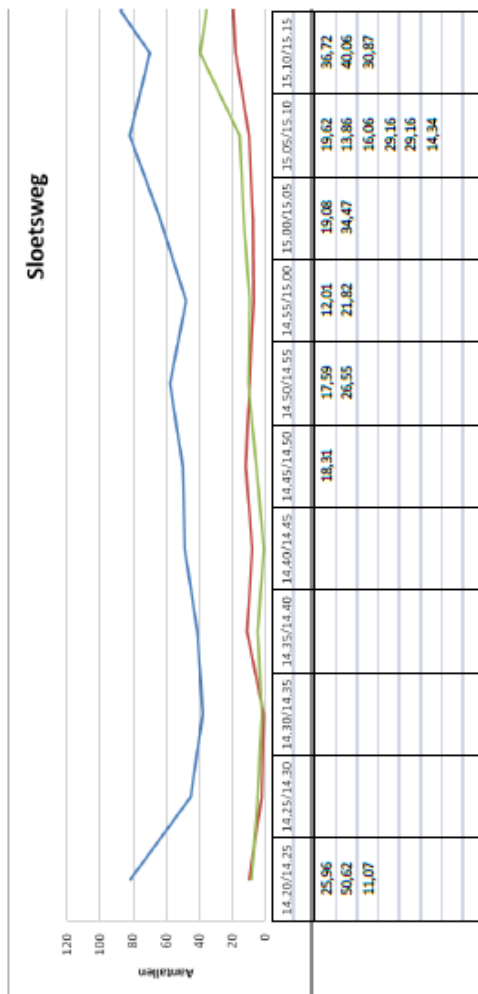
H.T. Kuilestraat 24-2-10													
Intensiteiten rotonde													
Tijd	07.35/07.40	07.40/07.45	07.45/07.50	07.50/07.55	07.55/08.00	08.00/08.05	08.05/08.10	08.10/08.15	08.15/08.20	08.20/08.25	08.25/08.30		
Auto	18	14	15	12	11	22	20	5	11	12	5		
Bestelwagen	1	1	0	0	3	2	1	0	0	0	0		
Vrachtauto	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0		
Bus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Motor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Brommer	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Pae rotonde	20,3	15,9	18,8	13,9	16,7	25,8	21,9	5	11	12	5		
Fiets	5	2	14	1	8	3	4	3	2	1	3		
Fietzers in pae	1,5	0,6	4,2	0,3	2,4	0,9	1,2	0,9	0,6	0,3	0,9		



Locatie 6: Hengelo, Sloetsweg – Deurningerstraat

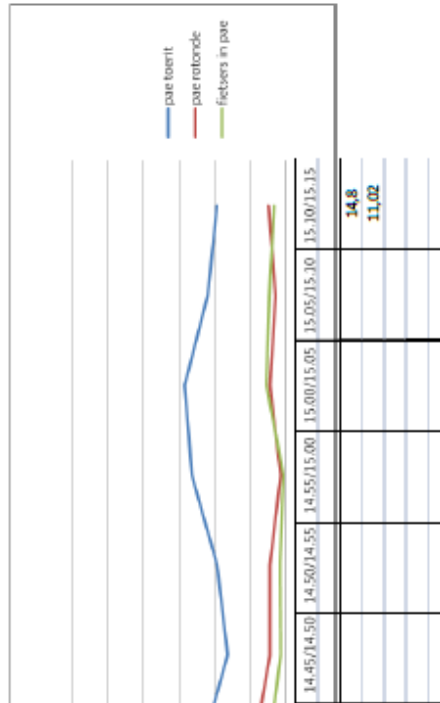
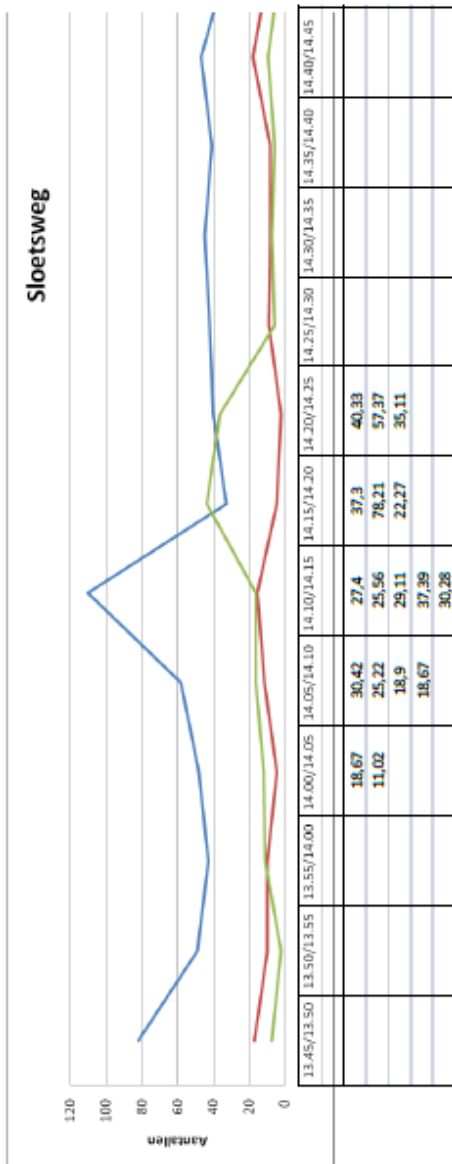
Sloetsweg 18-2-10																				
Intensiteiten toerit																				
Tijd		14.20/14.25	14.25/14.30	14.30/14.35	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15	15.15/15.20	15.20/15.25	15.25/15.30	15.30/15.35	15.35/15.40			
Auto	78	45	35	39	43	50	56	61	61	80	80	68	105	84	72	69	51			
Bestelwagen	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1				2				
Vrachtauto	1				1		1							1						
Bus		1						1												
Motor																				
Brommer																				
Pae toerit	81,8	45	38	40,9	48,7	50	57,9	64	47,9	64	81,9	69,9	105	85,9	72	72,8	54			

Sloetsweg 18-2-10																				
Intensiteiten rotonde																				
Tijd		14.20/14.25	14.25/14.30	14.30/14.35	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15	15.15/15.20	15.20/15.25	15.25/15.30	15.30/15.35	15.35/15.40			
Auto	8	2	1	11	6	10	9	7	5	7	10	18	20	19	12	13	8			
Bestelwagen																				
Vrachtauto	1				1			1												
Bus																				
Motor																				
Brommer							1			1				2	1					
Pae rotonde	9,9	2	1	11	7,9	11,9	9,4	6,9	9,4	7,4	10	18	20,8	19,4	12	13,8	8,8			
Fiets	27	15	7	15	3	18	34	31	44	44	52	131	106	75	51	27	16			
Fietsters in pae(0.3)	8,1	4,5	2,1	4,5	0,9	5,4	10,2	9,3	13,2	13,2	15,6	39,3	31,8	22,5	15,3	8,1	4,8			



Sloetsweg 2-3-10																		
Intensiteiten rotonde																		
Tijd	13.45/13.50	13.50/13.55	13.55/14.00	14.00/14.05	14.05/14.10	14.10/14.15	14.15/14.20	14.20/14.25	14.25/14.30	14.30/14.35	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15
Auto	15	9	8	4	11	15	4	2	5	8	8	18	9	9	3	9	4	8
BestelWagen	1		1						1								1	1
Vrachtauto									1									
Bus																		
Motor																		
Brommer		2		1	1	1	1	1	1	1								
Pae rotonde	16,9	9,8	9,9	4,4	11,4	15,4	4,4	2	9,2	8,4	8	18	9	9	3	9	5,9	9,9
Fiets	24	7	37	39	54	54	146	122	19	24	19	31	10	11	5	37	32	22
Fietsers in pae(0:3)	7,2	2,1	11,1	11,7	16,2	16,2	43,8	36,6	5,7	7,2	5,7	9,3	3	3,3	1,5	11,1	9,6	6,6

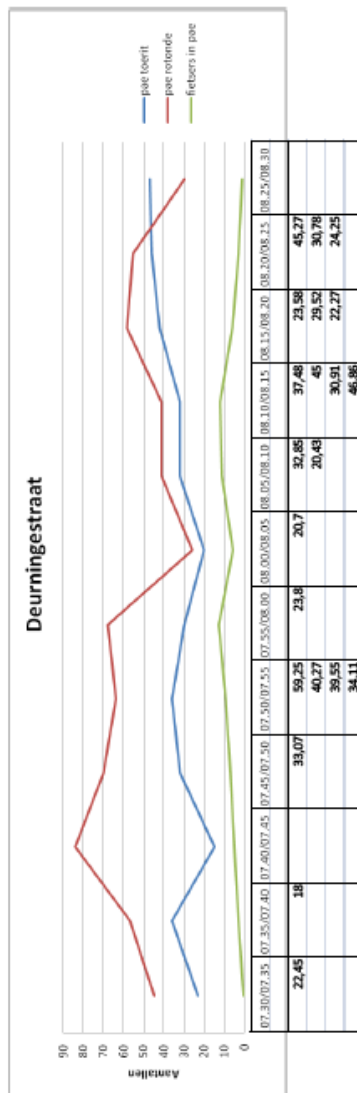
Sloetsweg 2-3-10																		
Intensiteiten toerit																		
Tijd	13.45/13.50	13.50/13.55	13.55/14.00	14.00/14.05	14.05/14.10	14.10/14.15	14.15/14.20	14.20/14.25	14.25/14.30	14.30/14.35	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15
Auto	80	45	41	46	55	110	31	40	40	45	34	41	31	39	53	57	41	39
BestelWagen												2	1					
Vrachtauto	1	1	1	1			1	1			2	1						
Bus											1							
Motor					1						1							1
Brommer																		
Pae toerit	81,9	48,8	42,9	47,9	58	110	32,9	40	41,9	45	40,8	46,7	32,9	39	53	57	44	39



Locatie 7: Hengelo, Deurningerstraat – Salamanderstraat

Deurningerstraat 2-3-10																									
Intensiteiten toerit																									
Tijd		07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Auto		23	30	15	32	33	30	20	26	32	42	43	45	22	24	20	32	35	24	21		14	14	11	6
Bestelwagen								1																	
Vrachtauto																									
Bus		2			1				2		1				1					2					
Motor																									
Brommer																									
Paas toerit		23	36	15	32	36	30	20	32	32	42	46	46,9	22	27	23	32	35	24	21	26	14	14	11	6

Deurningerstraat 2-3-10																									
Intensiteiten rotonde																									
Tijd		07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Auto		45	55	84	67	64	65	25	39	40	55	53	30	37	25	27	30	19	22	23	30	13	13	18	17
Bestelwagen		1							1																
Vrachtauto																									
Bus							1			1															
Motor																									
Brommer							2	2	1	3	1	1		1					1						
Paas rotonde		45	56,9	84	70	64	67,7	25,8	41,3	41,2	58,4	55,3	30	38,15	25	27	30	19,4	22,4	23	30	13,4	18,7	18	17,8
Fiets		2	10	17	23	31	42	19	37	40	20	4	4	9	6	5	6	6	6	2	6	2	5	1	4
Fietsers in paas(0,3)		0,6	3	5,1	6,9	9,3	12,6	5,7	11,1	12	6	3	1,2	2,7	1,8	1,5	1,5	1,8	1,8	0,6	1,8	0,6	1,5	0,3	1,2



Locatie 8: Hengelo, Westelijke Esweg – Gerrit Peuscherstraat

Westelijke Esweg 1-3-10																			
Intensiteiten toerit																			
Tijd	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15	15.15/15.20	15.20/15.25	15.25/15.30	15.30/15.35							
Auto	17	25	23	30	34	26	15	33	18	20	21	25							
Bestelwagen								1											1
Vrachtauto				1	1														
Bus																			
Motor																			
Brommer																			
Pae toerit	17	25	23	31,9	35,9	26	15	34,9	18	20	21	26,9							

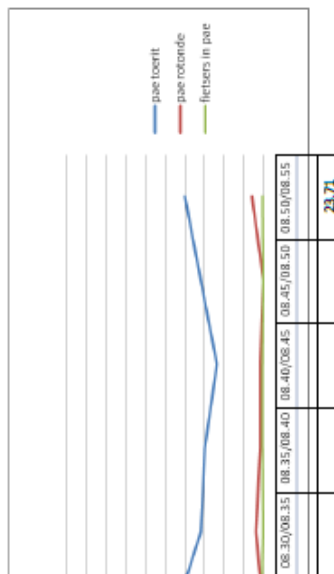
Westelijke Esweg 1-3-10																			
Intensiteiten rotonde																			
Tijd	14.35/14.40	14.40/14.45	14.45/14.50	14.50/14.55	14.55/15.00	15.00/15.05	15.05/15.10	15.10/15.15	15.15/15.20	15.20/15.25	15.25/15.30	15.30/15.35							
Auto	3	20	4	5	11	10	5	5	9	4	10	10							
Bestelwagen																			
Vrachtauto																			
Bus																			
Motor																			
Brommer																			
Pae rotonde	3	20	4	5	11	10	5	5	9	4	10	10							
Fiets	5	3	3	1		4	5	3	9	6	5	3							
Fietsers in pae (0,3)	1,5	0,9	0,9	0,3	0	1,2	1,5	0,9	2,7	1,8	1,5	0,9							



Locatie 9: Rijssen, Roelf Bosmastraat – Holterstraatweg

Bosmastraat 25-2-10																						
Intensiteiten toert																						
Tijd		07:10/07:15	07:15/7:20	07:20/07:25	07:25/07:30	07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55
Auto		20	26	24	19	27	32	42	38	35	27	19	30	33	27	22	17	16	15	12	16	20
Bestelwaggen		1				2			1		1											
Vrachtauto		1			1		1						1				3					
Bus																						
Motor																						
Brommer																						
Pae toert		23,8	26	24	20,9	32,7	32	43,9	39,9	35	27	20,9	30	34,9	28,9	22	22,7	16	15	12	16	20

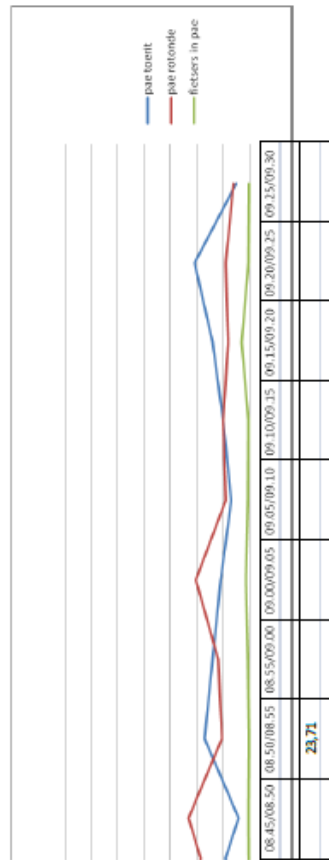
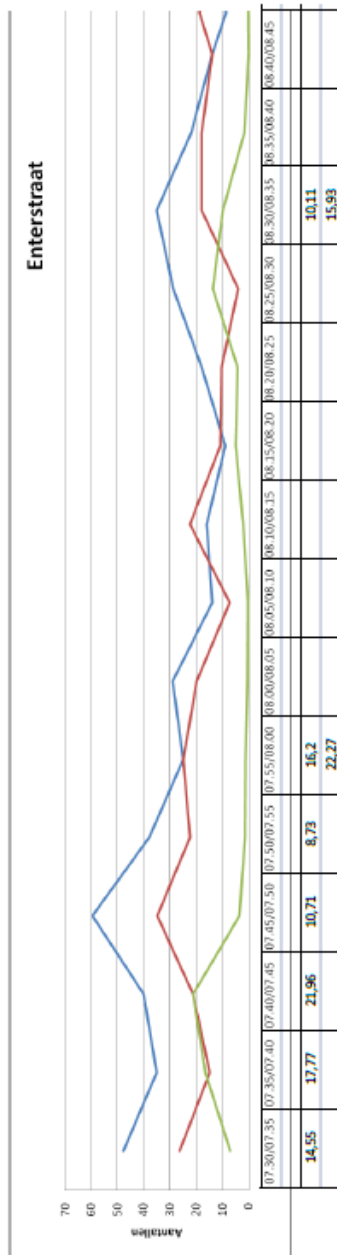
Bosmastraat 25-2-10																						
Intensiteiten rotonde																						
Tijd		07:10/07:15	07:15/7:20	07:20/07:25	07:25/07:30	07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55
Auto						1	2		5	2	2	1	1	3	1	1	2	2	1	1	1	3
Bestelwaggen									1													
Vrachtauto																						
Bus																						
Motor																						
Brommer																						
Pae rotonde		0	0	0	0	0	1	2	6,9	2	2	1	1	3	1	1,9	0	2	1	1	0	3
Fiets									5		1				2	2						
Fietsers in pae(0,3)		0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0,3	0	0	0,6	0,6	0	0,3	0,3	0	0	0,3



Locatie 10: Rijssen, Enterstraat – Karel Doormanstraat

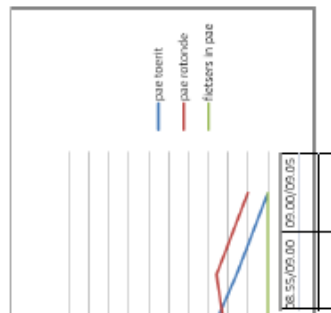
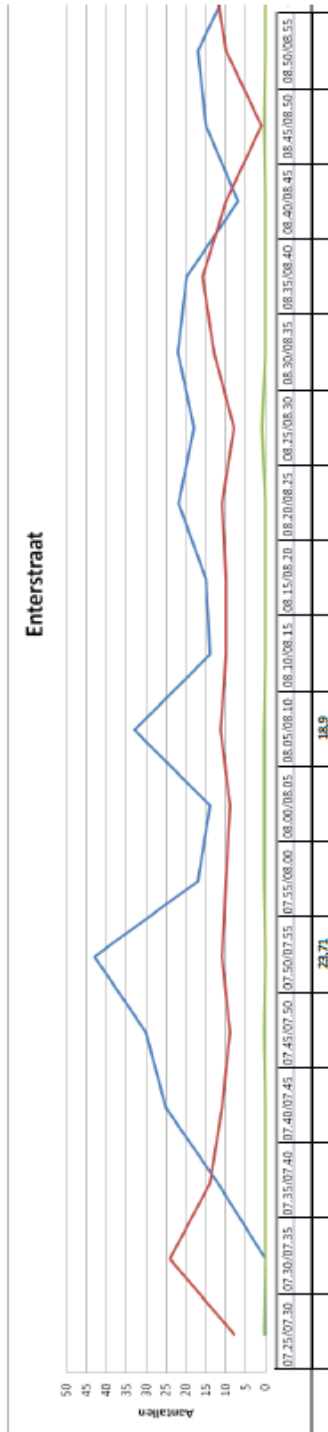
Enterstraat 1-3-D		07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Totaal		46	35	37	36	38	25	29	12	16	9	12	28	35	22	12	4	17	14	11	7	20	34	11	5
Bestelwagen																									
Vrachtwagen																									
Bus		1							1																
Motor				1	2						2		1												
Brommer																									
Pasttoert		47,9	35	40	59,5	38	25	29	13,9	16	9	18	28,75	35	22	13,9	4	17	14	11	7	20	34	20,8	5

Enterstraat 1-3-D		07:30/07:35	07:35/07:40	07:40/07:45	07:45/07:50	07:50/07:55	07:55/08:00	08:00/08:05	08:05/08:10	08:10/08:15	08:15/08:20	08:20/08:25	08:25/08:30	08:30/08:35	08:35/08:40	08:40/08:45	08:45/08:50	08:50/08:55	08:55/09:00	09:00/09:05	09:05/09:10	09:10/09:15	09:15/09:20	09:20/09:25	09:25/09:30
Totaal		23	15	19	31	22	25	36	7	20	11	10	4	15	16	14	23	10	8	6	9	30	8	7	4
Auto																									
Bestelwagen																									
Vrachtwagen																									
Bus		1		1				1		1															
Motor																									
Brommer																									
Pasttoerde		28,4	15	21,3	32,9	22,4	25	32,75	7,4	22,3	11	10,1	4	18	17,9	14	23	10,4	11,8	20,4	9	30	8	8,9	5,9
Fietser		22	55	22	22	5	5	10	2	5	17	10,4	46	32	2	0	2	0	2	0,4	2	1	2	1	2
Fietser in fase(0,3)		7,2	18,5	21,3	36	1,5	1,2	0,6	0,3	2,1	5,1	4,2	13,8	9,9	1,8	0	0,3	0	0,6	1,2	0,6	0,3	3	0,3	0



Enterstraat 25-2-10		07.29/07.30		07.30/07.35		07.35/07.40		07.40/07.45		07.45/07.50		07.50/07.55		07.55/08.00		08.00/08.05		08.05/08.10		08.10/08.15		08.15/08.20		08.20/08.25		08.25/08.30		08.30/08.35		08.35/08.40		08.40/08.45		08.45/08.50		08.50/08.55		08.55/09.00		09.00/09.05											
Intensiteiten toert																																																			
Tijd		8	8	9	9	11	9	25	30	30	43	17	17	33	33	14	14	33	33	14	14	14	15	15	20	20	18	22	22	15	15	7	7	15	15	17	17	6	6	1	1										
Auto																																																			
Bestelwagen																																																			
Vrachtauto																																																			
Bus																																																			
Motor																																																			
Brommer																																																			
Praetoeirt																																																			

Enterstraat 25-2-10		07.25/07.30		07.30/07.35		07.35/07.40		07.40/07.45		07.45/07.50		07.50/07.55		07.55/08.00		08.00/08.05		08.05/08.10		08.10/08.15		08.15/08.20		08.20/08.25		08.25/08.30		08.30/08.35		08.35/08.40		08.40/08.45		08.45/08.50		08.50/08.55		08.55/09.00		09.00/09.05													
Intensiteiten rotonde																																																					
Tijd		8	8	21	14	14	11	11	9	9	9	8	8	8	8	7	7	9	9	8	8	8	8	9	9	9	8	10	10	14	14	8	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Auto																																																					
Bestelwagen																																																					
Vrachtauto																																																					
Bus																																																					
Motor																																																					
Brommer																																																					
Praetoeirt																																																					
Fiets																																																					
Fietsers in par(0,3)																																																					



Bijlage 5: Berekening I/C verhoudingen en toeritcapaciteit per rotonde

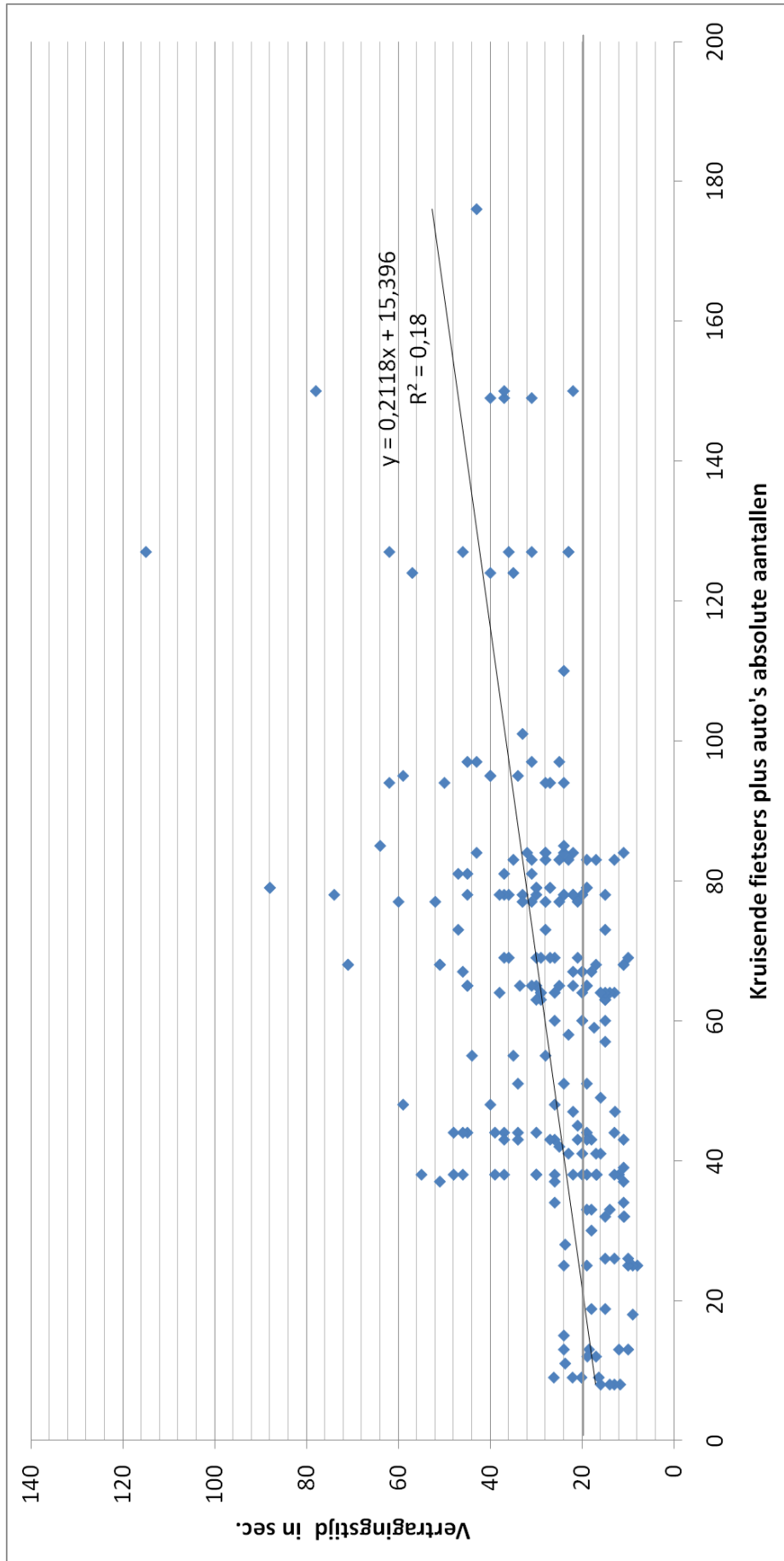
Rotonde	Kruisende fiets	Pea waarde fietser	Fietsers in pae	Rotonde intensiteit	Toerit intensiteit	Toerit capaciteit	I/C verhouding	Getelde wachttijden	Gemiddelde wachttijd in sec.
F. Bolstraat (ochtend)	388	0,9	349	74	677	1127	0,60	25	21
F. Bolstraat (ochtend) (vakantie)	71	0,9	64	22	514	1464	0,35	0	0
F. Bolstraat (middag)	248	0,9	223	54,8	602	1272	0,47	12	19
Sloetsweg (middag)	603	0,8	482	157	851	911	0,93	37	29
Sloetsweg (middag)	625	0,9	563	127	728	861	0,85	19	30
Capitool	113	0,5	57	749	377	745	0,51	26	39
Capitool	129	0,5	65	715	260	771	0,34	11	44
Knalhutweg	128	0,7	90	392	319	1068	0,30	4	23
Enterstraat	291	0,8	233	238	395	1079	0,37	9	15
Enterstraat (vakantie)	8	0,8	6	159	264	1385	0,19	2	21
Westelijke Esweg	47	0,9	42	96	295	1412	0,21	1	12
H.T. Kullestraat	46	0,8	37	166,3	355	1347	0,26	18	14
Deurningerstraat	255	0,5	128	639	391	784	0,50	21	32
Roelf Bosmastraat (vakantie)	6	0,9	5	19	391	1526	0,26	0	0

Bijlage 6: Puntenwolken

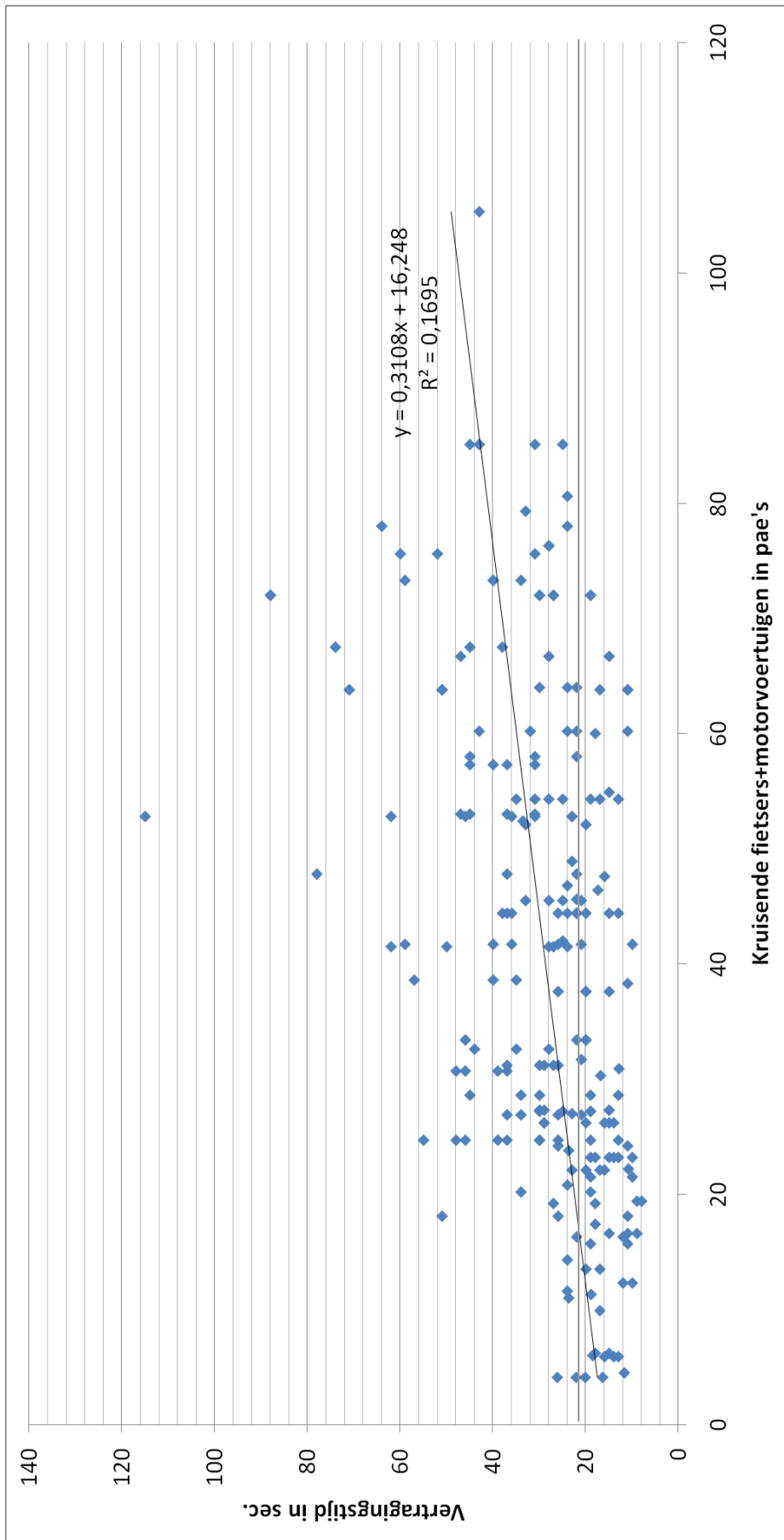
6a: Puntenwolk fietsers+auto's
6b: Puntenwolk fietsers+auto's in pae's
6c: Puntenwolk kruisende fietsers
6d: Puntenwolk motorvoertuigen in pae's

6e: Puntenwolk toerintensiteit
6f: Puntenwolk rotonde-intensiteiten en fietsintensiteiten met verschil <10
6g: Puntenwolk fietsintensiteiten minimaal 10 meer dan rotonde-intensiteiten
6h: Puntenwolk rotonde-intensiteiten minimaal 10 meer dan fietsintensiteiten
6i: Uitkomsten beschrijvende statistiek
6j: Beschrijving gebruikte begrippen beschrijvende statistiek

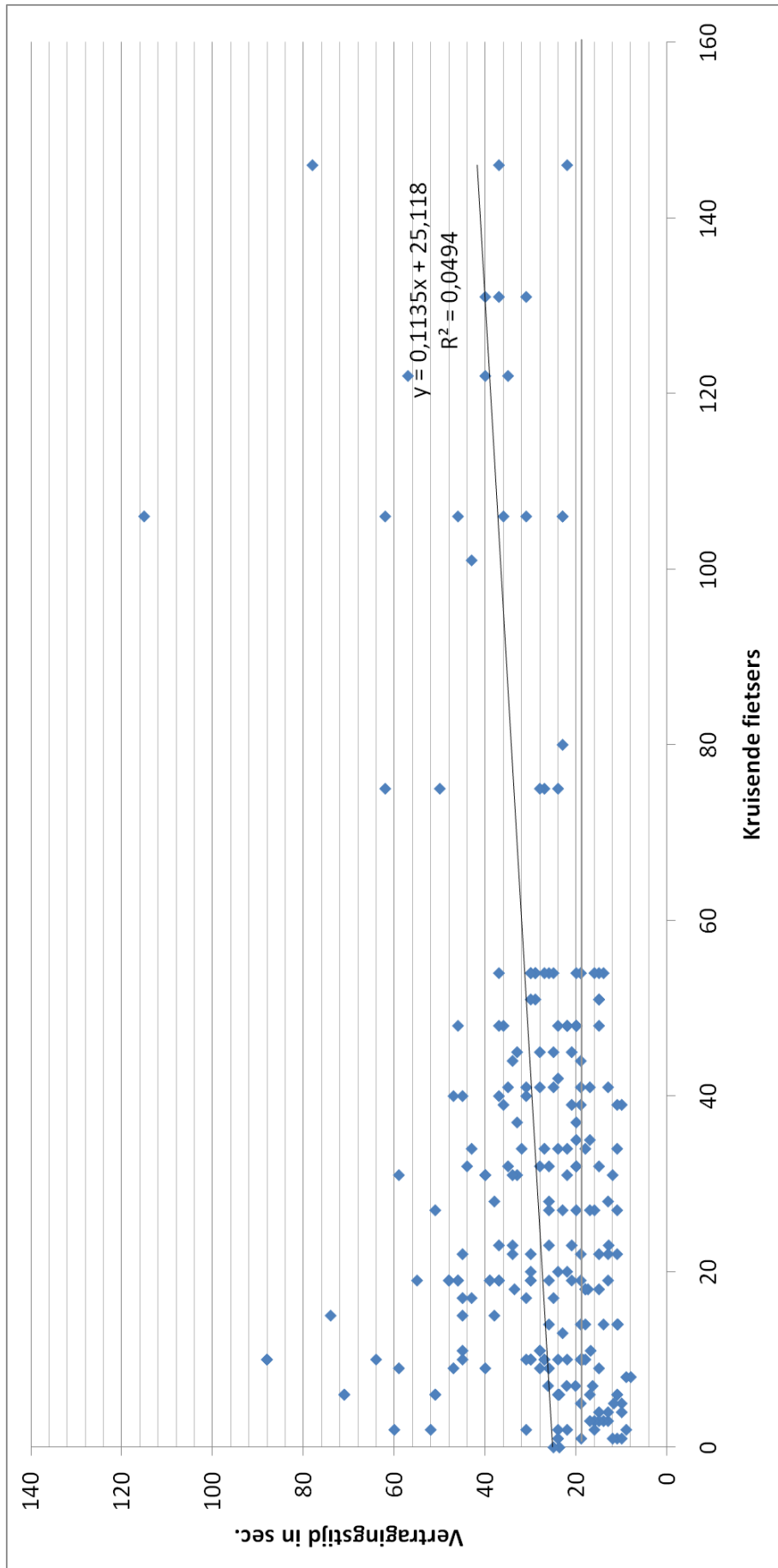
Bijlage 6a: Puntenwolk fietsers+auto's



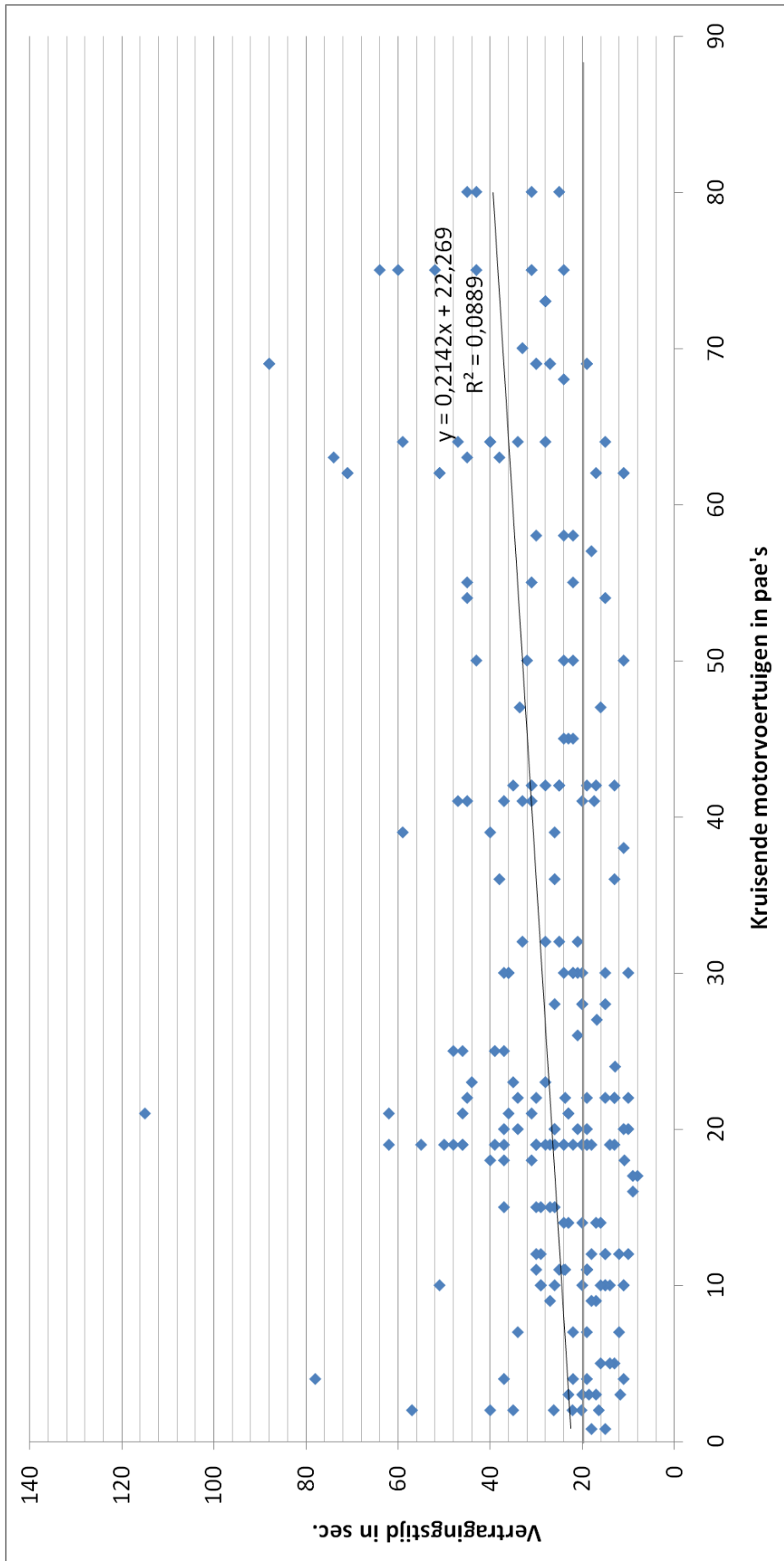
Bijlage 6b: Puntenwolk fietsers+auto's in pae's

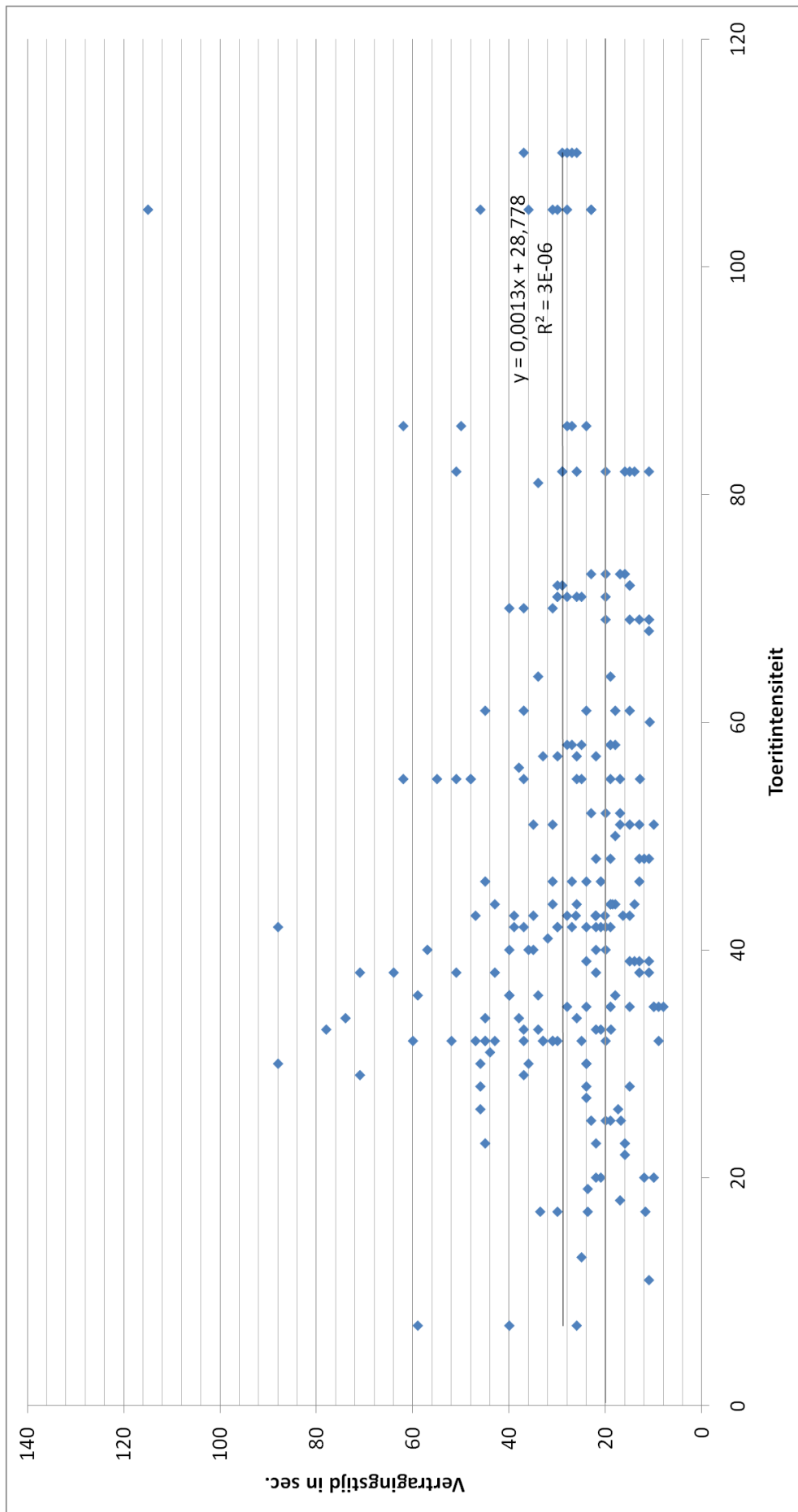


Bijlage 6c: Puntenwolk kruisende fietsers

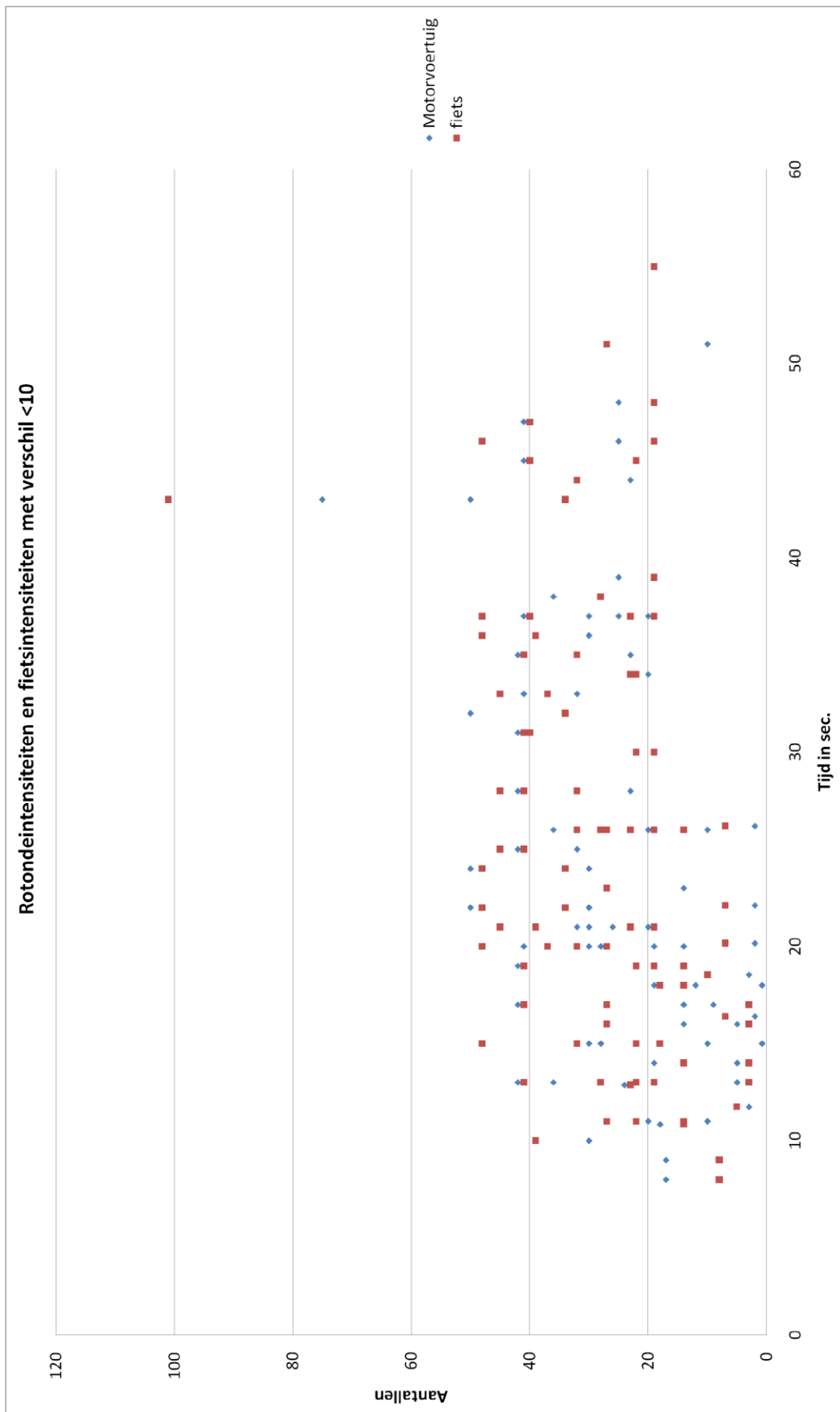


Bijlage 6d: Puntenwolk motorvoertuigen in pae's

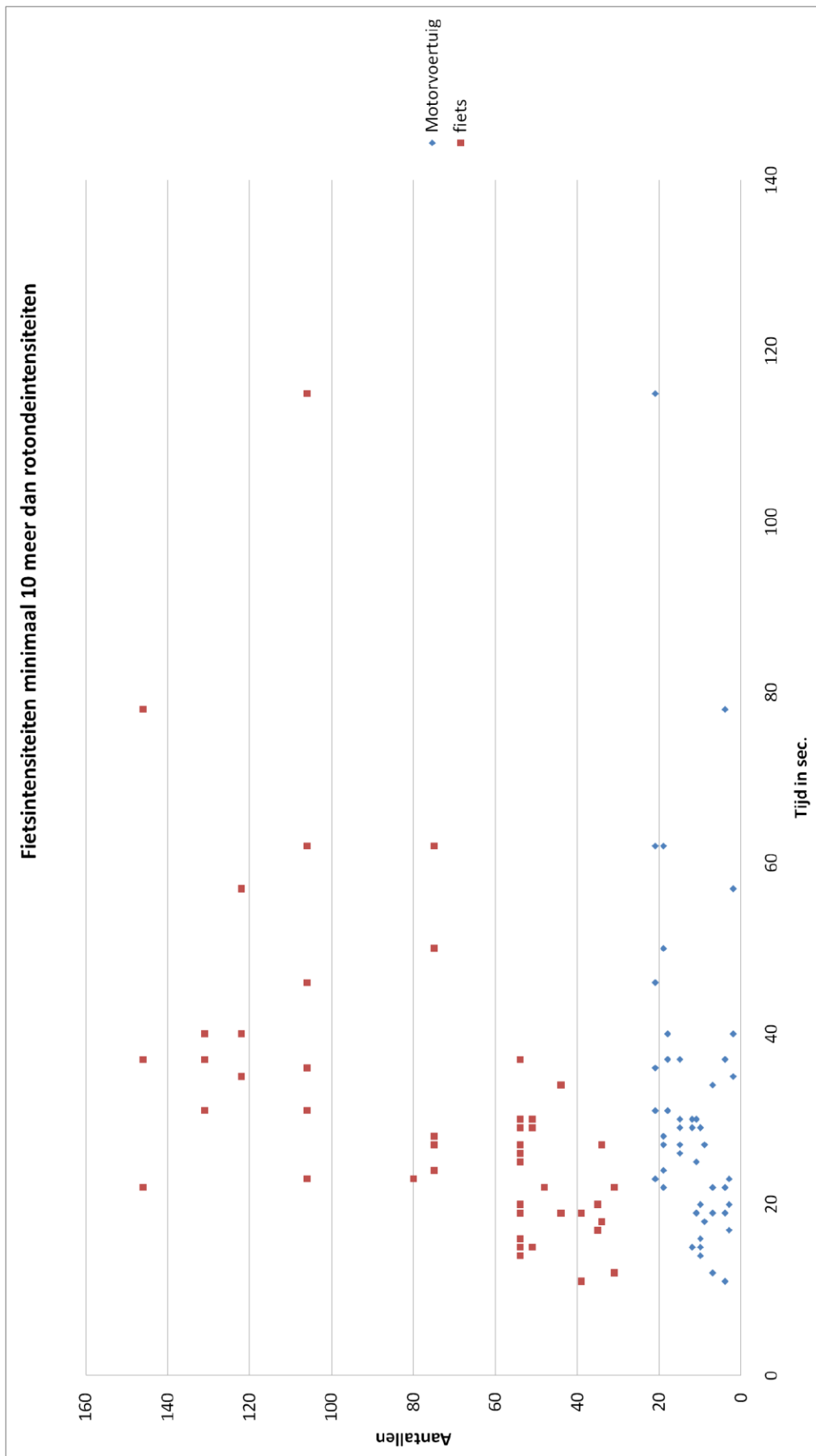




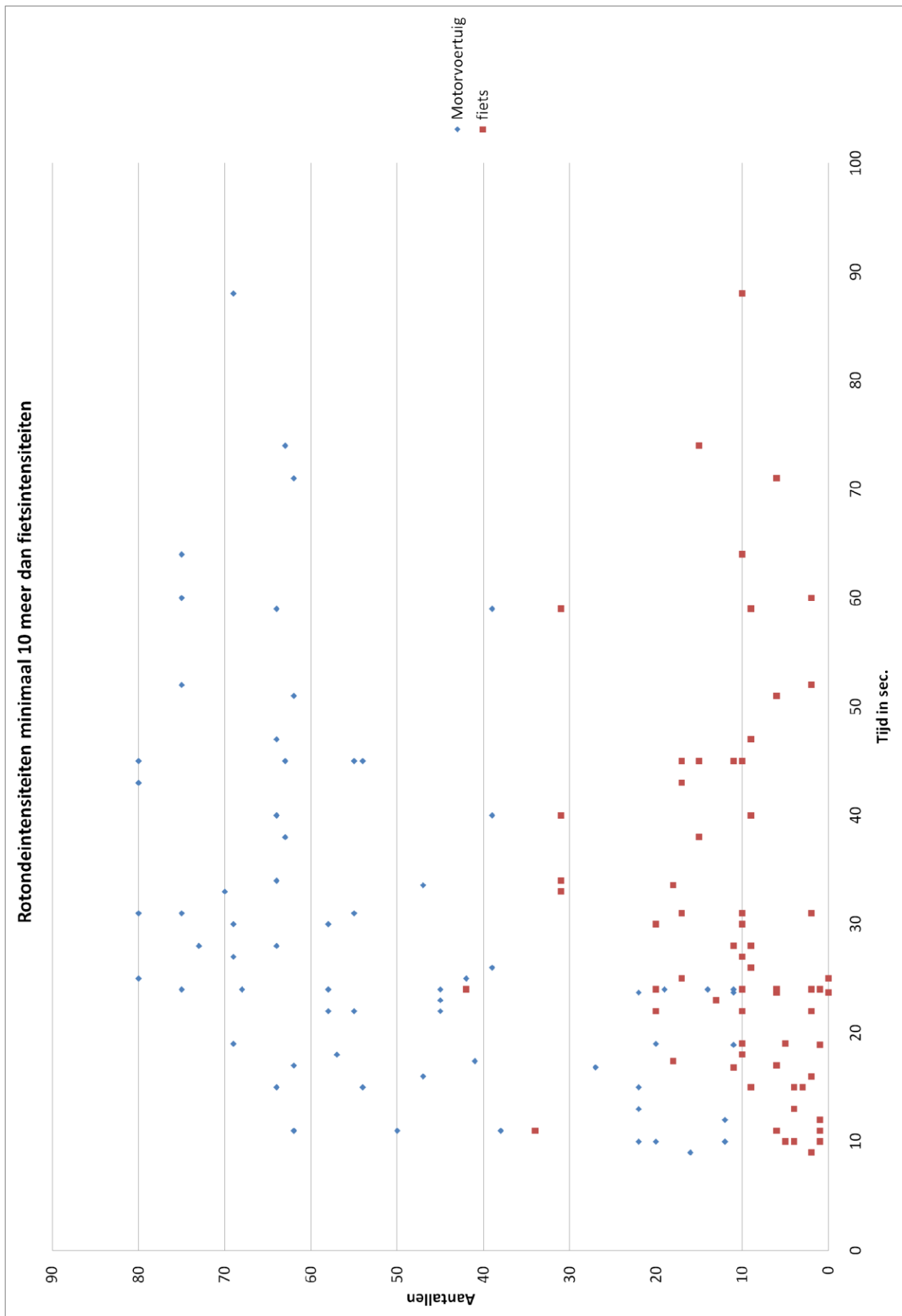
Bijlage 6f: Puntenwolk rotonde-intensiteiten en fietsintensiteiten met verschil <10



Bijlage 6g: Puntenwolk fietsintensiteiten minimaal 10 meer dan rotonde-intensiteiten



Bijlage 6h: Puntenwolk rotonde-intensiteiten minimaal 10 meer dan fietsintensiteiten



Bijlage 6i: Uitkomsten beschrijvende statistiek

In onderstaande twee tabellen zijn de gegevens weergegeven die met Excel zijn berekend aan de hand van de beschrijvende statistiek. Deze gegevens gaan enkel over de situaties waarbij een wachttijd is waargenomen tijdens het veldonderzoek.

<i>Toeritintensiteit</i>		<i>Fietsers</i>		<i>Motorvoertuigen in pae's</i>	
Gemiddelde	49,30973451	Gemiddelde	32,79646018	Gemiddelde	30,67522124
Standaardfout	1,507257556	Standaardfout	2,055276621	Standaardfout	1,461180684
Mediaan	43	Mediaan	23	Mediaan	22
Modus	32	Modus	19	Modus	19
Standaarddeviatie	22,65904956	Standaarddeviatie	30,89758259	Standaarddeviatie	21,96636229
Steekproefvariantie	513,432527	Steekproefvariantie	954,6606096	Steekproefvariantie	482,5210722
Kurtosis	0,455240277	Kurtosis	3,209628189	Kurtosis	-0,707847333
Scheefheid	0,879130363	Scheefheid	1,769129779	Scheefheid	0,696584476
Bereik	103	Bereik	146	Bereik	79,2
Minimum	7	Minimum	0	Minimum	0,8
Maximum	110	Maximum	146	Maximum	80
Som	11144	Som	7412	Som	6932,6
Aantal	226	Aantal	226	Aantal	226

<i>Fietsers + motorvoertuigen rotonde</i>		<i>Pae's rotonde (met 0,3 pae/fietser)</i>		<i>Vertragingstijden</i>	
Gemiddelde	63,47168142	Gemiddelde	40,51415929	Gemiddelde	28,84066372
Standaardfout	2,103151163	Standaardfout	1,390839214	Standaardfout	1,050056976
Mediaan	65	Mediaan	38,6	Mediaan	25
Modus	38	Modus	24,7	Modus	19
Standaarddeviatie	31,61729476	Standaarddeviatie	20,90889813	Standaarddeviatie	15,78581774
Steekproefvariantie	999,6533278	Steekproefvariantie	437,1820208	Steekproefvariantie	249,1920418
Kurtosis	0,822904502	Kurtosis	-0,614174034	Kurtosis	5,049031682
Scheefheid	0,651148759	Scheefheid	0,361631141	Scheefheid	1,795131511
Bereik	168	Bereik	101,2	Bereik	107
Minimum	8	Minimum	4,1	Minimum	8
Maximum	176	Maximum	105,3	Maximum	115
Som	14344,6	Som	9156,2	Som	6517,99
Aantal	226	Aantal	226	Aantal	226

Bijlage 6j: Beschrijving gebruikte begrippen beschrijvende statistiek

Gemiddelde = de som van een aantal getallen gedeeld door het aantal getallen.

Standaardfout = in de statistiek de benaming voor de standaardafwijking van het steekproefgemiddelde. De standaardfout is in principe kleiner naarmate de steekproef groter is. De standaardafwijking in het steekproefgemiddelde is recht evenredig met de standaardafwijking van de populatie waaruit de steekproef is getrokken en omgekeerd evenredig met de wortel van het aantal onafhankelijke waarnemingen in de steekproef.

Mediaan = het midden van een verdeling of gegevensverzameling. Met midden wordt het middelste element in de verdeling of de geordende verzameling bedoeld.

Modus = een maat om de centrale waarde van een frequentieverdeling aan te geven. Het is namelijk de waarde of (waarnemings)klasse met de grootste frequentie.

Standaarddeviatie = een maat voor de spreiding van een variabele of van een verdeling. De standaardafwijking is gedefinieerd als de wortel uit de variatie en daardoor vergelijkbaar met de waarden van de variabele zelf. Voor een steekproef is de variantie (ongeveer) het gemiddelde van de kwadraten van de afwijking van de metingen ten opzichte van het gemiddelde van de gegevens.

Steekproefvariantie = een zuivere schatter van de populatievariantie.

Kurtosis = een maat voor 'piekvormigheid'. Een hoge kurtosis wijst op een verdeling, of data, met een sterke piek. Dit houdt in dat een relatief groot deel van de variantie veroorzaakt wordt door zeldzame extreme waarden. Een lage kurtosis wijst op een platte verdeling, of data. Hier wordt de variantie voornamelijk veroorzaakt door een groter deel minder extreme waarden.

Scheefheid = de mate van asymmetrie van een verdeling rondom het gemiddelde. Positieve scheefheid wijst op een verdeling met een asymmetrische uitbreiding naar positieve waarden. Negatieve scheefheid wijst op een verdeling met een asymmetrische uitbreiding naar negatieve waarden.

Bereik = de verzameling van alle functiewaarden. Het begrip bereik wordt ook wel gebruikt om het verschil aan te geven tussen de kleinste en de grootste getallen in een verzameling, waar alle elementen reële getallen zijn.

Minimum = de minima waar geen andere functiewaarde onderuitkomt.

Manimum = de maxima waar geen andere functiewaarde bovenuitkomt.

Som = alle bij elkaar op opgetelde data.

Aantal = het totaal aantal gegevens.

(Bron: Wikipedia, www.wikipedia.nl)

Richting: berekend de richtingscoëfficiënt van een regressielijn door de ingevoerde punten.

Snijpunt: berekend het snijpunt van een lijn met de y –as aan de hand van een optimale regressielijn die wordt getrokken door de bekende x –waarden en y –waarden.

Standaardfout YX: berekend de standaardfout in de voorspelde y –waarde voor elke x in een regressie.

Correlatie: berekend de correlatiecoëfficiënt van twee gegevensverzamelingen.

Pearson: berekend de correlatiecoëfficiënt r van Pearson.

R kwadraat: berekend de R kwadraat van een lineaire regressielijn door de ingevoerde gegevenspunten.

Covariantie: berekend de covariantie van het gemiddelde van de producten van deviaties voor ieder paar gegevenspunten in de twee gegevenssets.

(Bron: Microsoft Excel, menu Help)

Cd-rom met de 'Enkelstrooksrotondeverkenner' in een Excel-spreadsheet