

Modelit
Elisabethdreef 5
4101 KN Culemborg



info@modelit.nl
www.modelit.nl

Evaluatie praktijkproef Filesignalering op basis van Floating Car Data

Datum 27-02-2017

Inhoud

1	Management summary	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Werking signalering	1
1.3	Scope van de evaluatie	2
1.4	Top down beoordelingskader.....	2
1.5	Meetbare indicatoren	3
1.6	Visuele inspectie.....	4
1.7	Directe vergelijking FCD en MTM intervallen.....	5
1.8	Vergelijking tussen MTM en naïeve methode	6
1.9	Time-headway analyse van de AID events	6
1.10	Kwaliteit van de ground-truth.....	7
1.11	Gevoeligheidsanalyse	8
1.12	Lokale incidenten.....	9
1.13	Doorlopende filegolven	10
1.14	Samenvatting van de numeriek bevindingen	11
1.15	Benodigd en beschikbaar aantal FCD waarnemingen	12
1.16	Technische beschikbaarheid tijdens de praktijkproef	12
1.17	Toepasbaarheid.....	13
1.18	Aanbeveling	13
2	Inleiding	14
2.1	Achtergrond.....	14
2.2	Doel van de studie.....	14
2.3	Praktijkproef	14
2.4	Betrokken partijen en rollen.....	15
2.5	Studiegebied.....	15
2.6	Evaluatietaken	15
2.7	Deliverables.....	15
3	Explicitering van de onderzoeksvragen.....	16
3.1	Leveringszekerheid	16
3.2	Toepasbaarheid voor aansturen MTM	16
3.3	Toepasbaarheid in specifieke verkeerscondities	16
3.4	Overdraagbaarheid naar nieuwe locaties en situaties	17
4	De werking van MTM	19
4.1	Context	19
4.2	De werking van MTM, samenvatting.....	19
4.3	Bepaling AID status per baanvak: betrokken elementen	20
4.4	Bepaling van de AID status per strook.....	21
4.5	Inhoud van de MTM logfile	22
4.6	Hoofdpunten uit dit hoofdstuk	23
5	Afbakening onderzoeksvraag: concentreren op AID status.....	25
5.1	Te beoordelen componenten binnen MTM	25
5.2	Te beoordelen componenten binnen de FCD demo	26
5.3	Vergelijkbare aspecten van MTM en FCD demo.....	26

6	Analysemogelijkheden op basis van de MTM logfile.....	28
6.1	Analyse aan de hand van interactieve tabel	28
6.2	Numerieke kenmerken afleidbaar uit MTM logfiles.....	28
6.2.1	Cumulatieve verdeling periode duur AID-AAN.....	28
6.2.2	Cumulatieve verdeling periode duur AID UIT	29
6.3	Visualisatie van de AID status	30
6.3.1	AID intervallen	30
6.3.2	Visualisatie	31
6.3.3	Analyse aan de hand van de visualisatie	31
6.4	Hoofdpunten	33
7	Automatische classificering van congestietypes	34
7.1	Achtergrond.....	34
7.2	Files en incidenten	34
7.3	Ideale alertering	35
7.4	Alertering in praktijk: signalering.....	35
7.5	Relatie inwintechnieken en congestietype	36
7.5.1	Filegolven	36
7.5.2	Incidenten	37
7.6	Automatische classificatie van congestiecondities	37
7.6.1	Filegolven versus incidenten.....	37
7.6.2	Doorlopende filegolven	39
7.7	Automatische afleiding meetraai-status uit baanvak status	40
8	Verkennde vergelijking van FCD en MTM AID status.....	43
8.1	Varianten	43
8.2	Locatie-overlap	43
8.3	Vergelijking AID status FCD en MTM op basis van overlap.....	45
8.3.1	Uitkomsten matrix	45
8.3.2	Uitkomst interval overlap analyse	46
8.3.3	Interpretatie van de uitkomsten	47
8.3.4	Mogelijkheden voor verdere optimalisatie	48
8.3.5	Conditionele kans op vals alarm en gemiste detectie	49
8.4	Analyse van AID interval overlap-optreden	51
8.4.1	Als percentage van het aantal AID intervallen	51
8.4.2	Als gewogen percentage van aantal AID intervallen	53
8.5	Verklarende variabelen voor interval overlap.....	53
9	Visuele Inspectie	56
9.1	Werkwijze.....	56
9.2	Vergelijking van varianten	57
9.2.1	Visuele inspectie A1L.....	57
9.3	Visuele inspectie van de A27L	59
9.4	Visuele inspectie van de A58L	59
9.5	Conclusies	61
10	Time-headway analyse van AID events	62
10.1	Inleiding	62
10.2	Overgang vrije afwikkeling naar congestie	62
10.3	Tijdlijn aanpak	63
10.4	Het matchen van FCD- met MTM AID intervallen	64

10.5	Splitsen intervallen voor time-headway analyse	66
10.6	Presentatie van de resultaten	67
10.6.1	FCD varianten	67
10.6.2	Categorieën	67
10.6.3	Kolommen in de tabelpresentatie.....	69
10.6.4	Presentatie in grafiekvorm	70
10.6.5	Resultaten A1L in tabelvorm	71
10.6.6	Resultaten A1L in grafiekvorm.....	72
10.6.7	Resultaten A27L in tabelvorm.....	73
10.6.8	Resultaten A27L grafiekvorm	74
10.6.9	Resultaten A58L in tabelvorm.....	75
10.6.10	Resultaten A58L grafiekvorm	76
10.7	Reactietijd tov inschakelmoment bovenstroomse meetraai.....	77
10.8	Bespreking van de resultaten van de time-headway analyse ...	79
10.8.1	Prestaties in algemene zin	79
10.8.2	Impact van congestietype op performance.....	80
10.8.3	Hoofdpunten	81
11	Aantal FCD waarnemingen en penetratiegraad	83
11.1	Werkwijze.....	83
11.2	Penetratiegraad per traject, dagtype en uur van de dag	84
11.2.1	Resultaten A1L	84
11.2.2	Resultaten A27L	84
11.2.3	Resultaten A58L	85
11.3	Absolute aantallen FCD waarnemingen	85
11.3.1	Afleiding van de vereiste FCD waarnemingsintensiteit	85
11.3.2	Gevolg voor de huidige toepassing.....	86
11.4	Hoofdpunten	87
12	Beoordeling van de beschikbaarheid	88
12.1	Veronderstelde oorzaken en aard van storingen	88
12.2	Zelfdiagnose binnen MTM	88
12.3	Beschikbaarheid gezien vanuit het perspectief van de afnemer	88
12.4	Monitoring beschikbaarheid FCD	89
12.5	Resultaten	89
13	Beantwoording van de onderzoeksvragen.....	90
14	Bijlage : Analysesoftware voor vergelijking MTM en FCD logfile	92
14.1	Visualisatie van logfile resultaten.....	92
14.2	Analyse menu	93
14.2.1	Present events in table	94
14.2.2	Meetraai status.....	95
14.2.3	Event based statistics.....	95
14.2.4	Dayly statistics	96
14.2.5	Statistics for visible area.....	97
14.2.6	Plot kansen op false positives and false negative	97
14.2.7	Plot relatief tijdstip van start en einde	99
14.2.8	Dedicated reports (graph).....	101
14.2.9	Time headway analysis (table)	101
14.2.10	Plot detection rate as function of duration.....	102
14.2.11	Use reference=FCD.....	102

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van het project "Evaluatie praktijkproef Filesignalering op basis van Floating Car Data". Graag wil ik iedereen bedanken die feedback heeft gegeven op eerdere versies van dit rapport, in het bijzonder Steven Logghe, Ben de Wit, Wannes de Smet en Maarten Houbraken van Be Mobile en Henk Jan Kwakernaat, Marco Schreuder, Henk Taale en Lidwien Goossens-Visser van Rijkswaterstaat. De geuite meningen in dit rapport komen uiteraard voor rekening van de auteur. Graag bedank ik Wim Breedveld voor het aanleveren van MTM logdata.

Nanne van der Zijpp
Culemborg

1 Management summary

1.1 Inleiding

In het kader van de transitie Dynamisch Verkeers Management (DVM) wordt onderzocht of het snelwegsignaleringsysteem (MTM) kan worden aangestuurd op basis van Floating Car Data (FCD) ter vervanging van de traditionele en meer kostbare inwinning met detectielussen. In een eerdere studie is al vastgesteld dat op basis van historische FCD data een beeld van de filevorming kan worden verkregen dat vergelijkbaar is met het beeld dat via detectielussen ontstaat.

Dit heeft geresulteerd in een praktijkproef waarbij het bedrijf BeMobile online beeldstanden genereert op basis van eigen FCD data. De proef is zo realistisch mogelijk uitgevoerd, maar gaat in het huidige stadium niet verder dan schaduwdraaien ten opzichte van het ter plekken aanwezige MTM systeem voor signalering.

Modelit heeft opdracht gekregen om de resultaten van de praktijkproef op onafhankelijke wijze te evalueren. Het huidige rapport is hier het resultaat van.

1.2 Werking signalering

Signalering (ook wel aangeduid MTM2 of kortweg MTM) deelt het autosnelwegnetwerk onder in *baanvakken*. Ieder baanvak heeft typisch een lengte van 500 meter en is begrensd door een bovenstroomse en een benedenstroomse meetraai. De ligging van deze meetraaien valt bij benadering samen met de positie van de portalen met de bekende Matrix Signaalgevers (MSI's). Op deze meetraaien liggen inductielussen die het aantal voertuigpassages en de bijbehorende voertuigsnelheden registreren. Ter plekke wordt een moving average van de snelheid bijgehouden. Als dit moving average een eerder vastgelegde onderwaarde (typisch 35 km/h) onderschrijdt dan krijgt de meetraai de Automatische Incident Detectie (AID) status "aan". Deze AID status wijzigt weer in "uit" zodra het moving average van de waargenomen voertuigsnelheden de ingestelde bovengrens (typisch 50 km/h) overschrijdt.

Als tenminste één van de twee *meetraaien* van een *baanvak* de AID status "aan" heeft krijgt ook het baanvak de AID status "aan". Op het bovenstroomse portaal wordt dan de dynamische snelheidslimiet "50" getoond. Bij het begin van de direct bovenstroomse baanvak wordt dan de inleidende limiet "70" getoond.

Bijgevolg geldt:

- Als er geen AID status voor het baanvak actief is dan is er geen congestie op het baanvak waargenomen;
- De maximale afstand tussen waargenomen congestie en de eerste waarschuwing daarvoor (beeldstand="70") is twee portaal afstanden;
- De minimale afstand tussen waargenomen congestie en de eerste waarschuwing daarvoor (beeldstand="70") is één portaal afstand;

- De maximale afstand tussen congestie en de laatste waarschuwing daarvoor (beeldstand="50") is één portaal afstand;
- De minimale afstand tussen congestie en de laatste waarschuwing (beeldstand="50") daarvoor is worst case nihil.

1.3 Scope van de evaluatie

Wel in de scope

De huidige evaluatie concentreert zich op de door FCD gegenereerde uitkomsten en in het bijzonder hoe deze zich verhouden met die van het huidige MTM systeem. De evaluatie grijpt aan op de AID status die door beide systemen worden gelogd. Daarnaast is gekeken naar de beschikbaarheid van het systeem in de tijd.

Buiten de scope

De gecombineerde AID status van alle baanvakken wordt binnen MTM gebruikt om een samenhangend geheel van beeldstanden af te leiden. Dit proces is binnen de huidige praktijkproef door BeMobile gerepliceerd en gedemonstreerd, maar komt in het huidige evaluatierapport niet aan de orde. Een ander onderdeel van de praktijkproef is het tot stand brengen van de communicatie met de verkeerscentrale conform de standaarden die RWS hiervoor hanteert, en inclusief een demonstratie met een MSI als hardware in de loop. Ook dit onderdeel is geen onderdeel van de evaluatie

1.4 Top down beoordelingskader

Signalering heeft een veronderstelde positieve invloed op de verkeersveiligheid, de verwerkingscapaciteit, de energie-efficiëntie en het rijcomfort van het traject dat ermee is uitgerust. Deze aspecten zijn niet alleen moeilijk te kwantificeren maar ook compleet anders van aard en daarom lastig tegen elkaar af te wegen.

Één aanpak is om alle mogelijke uitkomsten op te sommen, te waarderen, en om de bijbehorende kans van optreden te schatten. De overall waardering bestaat dan uit de som van kansen maal waarderingen.

Deze methodiek kan op signalering worden toegepast door alle mogelijke uitkomsten op te sommen vanuit het perspectief van een bestuurder die een bepaald traject doorkruist. Hierbij komt deze bestuurder wel of niet congestie tegen, ziet de bestuurder wel of niet een signaleringsmelding, en wordt deze melding op een bepaalde locatie getoond. Alle mogelijke uitkomsten worden getoond in Tabel 1. In deze tabel zijn de uitkomsten gekoppeld aan een impact relatief ten opzichte van de ideale versie van signalering.

Het consequent doorvoeren van dit beoordelingskader vereist dat de kolommen "impact" en "kans" in Tabel 1 worden ingevuld voor zowel FCD gebaseerde als MTM gebaseerde beeldstanden, waarna een vergelijking mogelijk is.

Tabel 1: *Enumeratie van uitkomsten vanuit het perspectief van de weggebruiker*

Snelheids- condities	Interactie met signalering		Impact relatief tov ideaal	Kans (zie 1.5)
	Wel/niet melding gezien	Baanvak met AID status waarop melding is gebaseerd		
(1) Geen congestie	(1) Geen	nvt	neutraal	1.1
	(2) Wel	any	--	1.2
(2) Wel congestie	(1) Geen	nvt	--	2.1
	(2) Wel	(1) 1 ^e baanvak met congestie	neutraal	2.2.1
		(2) 1 portaal eerder	-	2.2.2
		(3) >1 portalen eerder	--	2.2.3
		(4) 1 portaal later	-	2.2.4
		(5) >1 portalen later	--	2.2.5

1.5 Meetbare indicatoren

Tegenover de te kwantificeren grootheden "impact" en "kans" in Tabel 1 staan de meetbare indicatoren die kunnen worden afgeleid op basis van de beschikbare (log)data. Deze komen helaas niet één op één met elkaar overeen maar hebben daar wel een relatie mee. Het belangrijkste verschil is dat de meetbare indicatoren tot stand komen door de AID status zoals geïndiceerd door FCD en MTM met elkaar te vergelijken en niet door de analyse van voertuigtrajectoriën.

Tabel 2: *Gerelateerde numerieke indicatoren*

Kans	Belangrijkste beschikbare numerieke indicatoren
1.1	De tijdgewogen duur van het overlap "MTM uit"-"FCD uit" (de duur als percentage van de totale analyse periode).
1.2	- De tijdgewogen duur van het overlap "MTM uit"-"FCD aan"; - Het aantal FCD geïndiceerde intervallen dat niet overlapt met een MTM als percentage van het totaal aantal FCD intervallen; - De duur van deze intervallen als percentage van de totale duur val alle FCD intervallen.
2.1	- De tijdgewogen duur van het overlap "MTM aan"-"FCD uit"; - Het aantal MTM geïndiceerde intervallen dat niet wordt overlapt met een FCD interval als percentage van het totaal aantal MTM intervallen; - De duur van deze intervallen als percentage van de totale duur val alle MTM intervallen; - De gemiddelde duur van niet overlappende MTM intervallen.
2.2	- De tijdgewogen duur van het overlap "MTM aan"-"FCD aan"; - Het aantal MTM intervallen dat wordt overlapt door een FCD interval als percentage van het totaal aantal MTM

	intervallen; De duur van deze intervallen als percentage van de totale duur van alle MTM intervallen.
2.2.1 2.2.2 2.2.3 2.2.4	Indicatoren afkomstig van de time-headway analyse, per verkeersafwikkelingscategorie, per FCD variant: - De gemiddelde reactietijd bij inschakelen (relatief aan het inschakeltijdstip van MTM); - De spreiding in deze relatieve reactietijd inschakelen; - De gemiddelde reactietijd bij inschakelen (relatief aan het inschakeltijdstip van MTM); - De spreiding in deze relatieve reactietijd inschakelen. Bij terugslaande congestie: - De reactietijd bij inschakelen relatief aan de propagatietijd waarin de congestie zicht verplaatst over de lengte van het baanvak

Aan de hand van (onder andere) deze numerieke indicatoren proberen we een zo goed mogelijk beeld te krijgen van wat de toepassing van FCD geïndiceerde beeldstanden betekent voor de kansen in Tabel 1 en dus voor de praktijk. Daarnaast is ook het globale visuele beeld geïnspecteerd (zie 1.6 en zijn onder andere de cumulatieve verdelingen van het inschakeltijdstip geïnspecteerd (zie 10.6).

1.6 Visuele inspectie

Om de MTM en FCD AID intervallen te kunnen bekijken en om indicatoren uit te kunnen rekenen is een software tool geïmplementeerd. Gedurende de studie zijn uitkomsten uitgebreid geïnspecteerd en besproken met alle projectpartners. De algemene bevindingen van deze inspectie zijn:

- Als de locaties van de AID intervallen zoals geïndiceerd door FCD worden vergeleken met de AID intervallen geïndiceerd door MTM dan komen ze bij een geaggregeerde inspectie goed overeen. Pas bij inzoomen blijken inschakel- en uitschakelverschillen, maar deze zijn in verhouding met de lengte van de AID intervallen klein zodat ze pas goed zichtbaar worden bij inzoomen op enkele minuten tegelijk;
- In de meeste gevallen schakelt FCD iets later in dan MTM, maar in veruit de meeste gevallen gebeurt dit wel voor het moment waarop congestie de bovenstroomse meetraai van het baanvak heeft bereikt. Er zijn ook intervallen aan te wijzen waar FCD actief is en MTM niet, of omgekeerd, maar dit heeft geen grote impact op het algemene beeld omdat dergelijke intervallen over het algemeen kort zijn. Door het moment van inschakelen van FCD te vergelijken met het moment van inschakelen van MTM op het bovenstroomse baanvak kan worden vastgesteld dat de ruimtelijke fout in de meeste gevallen kleiner is dan de portaal afstand;
- Of binnen filesignalering de MTM detectie vervangbaar is door FCD is op basis van de visuele inspectie niet te zeggen omdat deze analyse geen getalsmatige onderbouwing oplevert. De conclusie die wel te trekken is, is dat in grote lijnen de FCD detectie correct werkt.

1.7 Directe vergelijking FCD en MTM intervallen

Een eerste beoordeling die heeft plaatsgevonden bestaat eruit dat de duur van de periodes waarin FCD en MTM overlappen is geanalyseerd. Voor ieder baanvak en iedere analyse-eenheid van 1 seconde is één van de volgende uitkomsten mogelijk:

uitkomst FCD uitkomst MTM	FCD "uit"	FCD "aan"
MTM "uit"	uit conform MTM	aan niet conform MTM
MTM "aan"	uit niet conform MTM	aan conform MTM

Betreft "MTM aan"

Afgezien van technische defecten kan de toestand "MTM aan" alleen optreden als het voortschrijdend moving average van waargenomen snelheden onder een bepaalde drempel komt. De kans op "MTM aan" terwijl er geen sprake is van snelheidsonderschrijdingen wordt als klein ingeschat.

Betreft "MTM uit"

Omgekeerd geldt niet altijd dat een snelheidsonderschrijding op het baanvak automatisch resulteert in de status MTM "aan". Daarvoor moet de snelheidsonderschrijding optreden ter hoogte van één van de meetraaien van het baanvak. Als er zich een incident voordoet in het interieur van een baanvak dan kan dit gedurende enige tijd of zelfs geheel onopgemerkt blijven door MTM.

Met dit voorbehoud kan de volledige analyseperiode en baanvakverzameling worden ingedeeld. In het hoofdrapport is dit gedaan voor een aantal varianten van de FCD methode. In deze samenvatting volstaan we met de resultaten van de uiteindelijke voorkeursvariant (aangeduid als FCD-v3).

Tabel 3: *Analyse van het interval-overlap van FCD en MTM AID intervallen voor de voorkeursvariant*

Traject	Proportie van de tijd			
	MTM uit		MTM aan	
	FCD uit	FCD aan	FCD uit	FCD aan
A1L	96.69%	0.24%	0.89%	2.19%
A27L	95.64%	0.28%	0.58%	3.51%
A58L	95.60%	0.44%	0.47%	3.49%

Deze getallen geven aan dat het mogelijk is om op basis van een FCD algoritme een AID status te genereren die meer dan 98.8% (A1L) of zelfs 99.1% (A27L, A58L) van de tijd overeenkomt met de AID status die MTM genereert. Op het eerste gezicht is dit een zeer goede correspondentie en ook de visuele inspectie die in het hoofdrapport is beschreven bevestigt dit beeld. Als we kritischer redeneren dan moet worden vastgesteld dat een behoorlijke proportie van de tijd dat FCD de AID status "aan" geeft niet wordt overlapt met een corresponderend interval van MTM. Voor de A1L is dit bijvoorbeeld $0.24/(0.24+2.19)$ oftewel 9.9%, van de tijd die FCD actief

is. Een nog groter deel van de tijd MTM actief is wordt niet overlapt door een FCD interval. Voor de A1L is dit $0.89/(0.89+2.19)=28\%$.

1.8 Vergelijking tussen MTM en naïeve methode

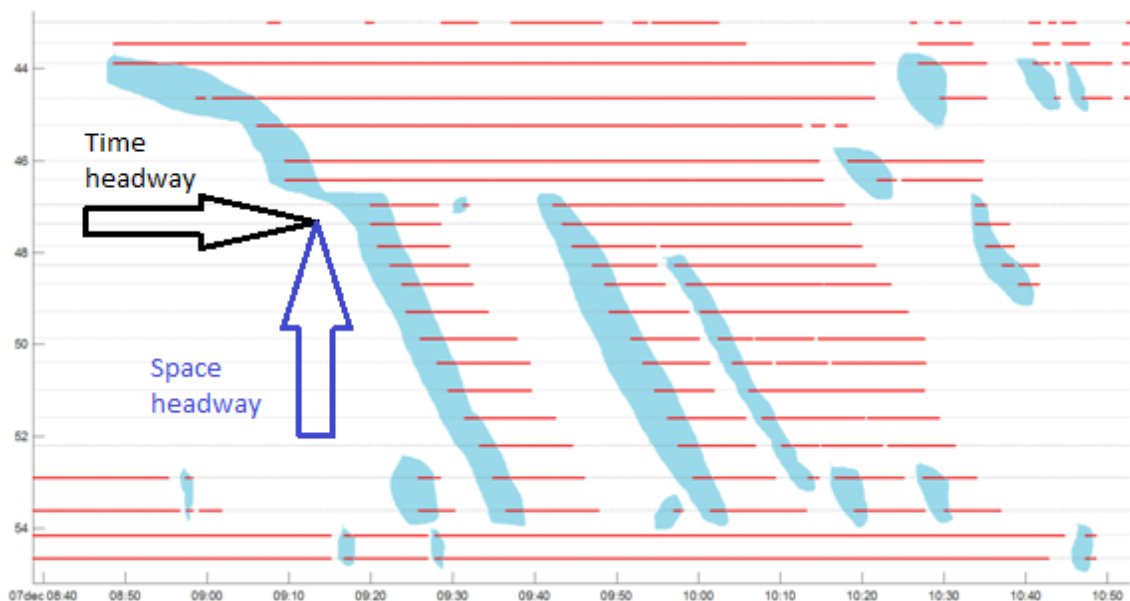
Uit Tabel 3 kan de kans op een niet-MTM conforme uitkomst worden afgelezen als 1.13% (A1L), 0.86% (A27L) en 0.91% (A58L). Om iets meer gevoel te krijgen voor deze getallen zijn dezelfde indicatoren ook berekend voor de naïeve methode "lagXX", met XX= een toe te passen vertragingstijd. De vertragingen die de totale kans op een niet MTM-conforme uitkomst optimaal reproduceren respectievelijk 90, 90 en 45 seconden voor de A1L, A27L en A58L.

Deze getallen geven niet aan dat de FCD een bepaalde vertraging heeft ten opzichte van MTM, maar enkel en alleen dat de gelijkenis, gemeten met de indicator uit sectie 1.7 tussen MTM en FCD dezelfde is als de hier gepresenteerde naïeve methodes.

1.9 Time-headway analyse van de AID events

Een andere manier om FCD en MTM uitkomsten te vergelijken is het uitvoeren van een zogenaamde time-headway analyse. Het idee van de time headway analyse is dat het bij de bepaling van de efficiëntie van signalering vooral belangrijk is om te kijken naar de overgang van vrije naar gedwongen afwikkeling. Dit is waar signalering haar meerwaarde vooral moet bewijzen.

In deze analyse worden FCD en MTM intervallen aan elkaar gekoppeld en vervolgens met elkaar vergeleken. De MTM intervallen zijn hierbij gebruikt als uitgangspunt. Indien een FCD interval overlapt met meerdere MTM intervallen wordt het FCD interval gesplitst in meerdere aaneensluitende intervallen.



Figuur 1: Time headway analyse concentreert zich op de overgangen van vrije naar gedwongen afwikkeling en omgekeerd.

De time-headway analyse geeft inzicht in de volgende indicatoren:

- De mate van overlap, uitgedrukt als percentage van het aantal MTM intervallen en als percentage van de MTM interval duur;
- De reactietijd bij inschakelen. Deze reactietijd is relatief aan MTM, bij eerder inschakelen is deze reactietijd dus negatief;
- De spreiding van deze reactietijd;
- De reactietijd bij uitschakelen;
- De spreiding van de uitschakel-reactietijd;
- Het gemiddelde aantal onderbrekingen tussen de overlappende FCD intervallen en de gemiddelde totale duur van deze onderbrekingen;
- De mate van non-overlap (het complement van het overlap);
- De mate van vals alarm, uitgedrukt als percentage van het aantal FCD intervallen en als percentage van de FCD interval duur.

Soms kan naast de baanvak-AID status ook de meetraai-AID status worden bepaald. Dit geeft inzicht in de positie van de staart van de file en maakt het mogelijk om uit te rekenen hoe lang een filegolf erover doet om het baanvak over te steken. Dit levert interessant vergelijkingsmateriaal op voor de reactietijd.

Tabel 4: *Kentallen voor de FCD voorkeursvariant, over alle verkeersafwikkelingscategorieën samen*

	Traject	A1L		A27L		A58L	
	Variant	FCD-v3		FCD-v3		FCD-v3	
Alle Events	Aantal intervallen	3048		4570		4311	
	Detectie % interval (% tijd)	76.1(90.8)		80(96.2)		87.8(97.4)	
	Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]	12	104	3	159	16	55
	Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]	-8	156	-6	99	25	52
	Intervalduur [sec]	468		816		396	
	Overlap (%tijd)	78.3		89.3		90.5	
	Aantal pauzes	0.46		0.38		0.06	
	Pauzeduur [sec]	45		21		3	
	MTM aan FCD uit % interval (% tijd)	23.9(9.2)		20(3.8)		12.2(2.6)	
	Intervalduur [sec]	152		129		76	
	FCD aan MTM uit % interval (% tijd)	5.1(0.9)		9.2(1.4)		3.3(0.5)	
Alleen filegolf	Aantal intervallen	806		1389		2063	
	Propagatietijd per portaal [sec]	108		135		121	
	Propagatiesnelheid [km/h]	18.0		13.2		18.1	
	Secundaire reactietijd gem/stdafw [sec]	-91	98	-130	146	-93	73
	Secundair reactietijdpercentiel	92.6		90.4		92.5	

1.10 Kwaliteit van de ground-truth

Bij het berekenen van indicatoren zoals in Tabel 3 en Tabel 4 worden de uitkomsten van MTM als ground truth beschouwd. Hier is het een en ander

op af te dingen. Het voornaamste bezwaar tegen MTM als ground truth is dat MTM alleen gebruik maakt van meetraaien aan de grenzen van het baanvak en zodoende "blind" is voor snelheidsonderschrijdingen in het interieur van het baanvak.

Bij de discussie hierover kunnen twee situaties worden onderscheiden:

- Congestie ontstaat benedenstrooms en slaat terug naar het huidige baanvak. Dit noemen we een filegolf. In dit geval is de reactie van MTM nagenoeg instantaan (althans in theorie) want de congestie die terugslaat op het huidige baanvak wordt waargenomen bij de benedenstroomse meetraai;
- Congestie ontstaat in het interieur van het baanvak en slaat vervolgens terug naar de bovenstroomse meetraai waar deze wordt waargenomen. Deze situatie noemen we een lokaal incident. In dit geval reageert MTM met een vertraging die gelijk is aan de tijd die nodig is om de congestie te laten propageren naar de meetraai. Deze propagatie gebeurt met een snelheid van typisch 18 km/u en kan met die snelheid bij een portaalafstand van 500 meter tot 100 seconden in beslag nemen.

Het onderscheid tussen deze twee situaties is automatisch vast te stellen door de AID intervallen van het huidige en het benedenstroomse baanvak naast elkaar te leggen.

Consequentie voor de ground truth

- Voor de gevallen die te categoriseren zijn als filegolf beschikken we over een kwalitatief goede ground truth;
- Voor de gevallen in de categorie "lokaal incident" loopt de ground truth achter in de tijd. FCD heeft in deze gevallen in theorie een voordeel. Er is een analyse uitgevoerd die nagaat of dit voordeel ook kan worden aangetond (zie sectie 1.12);
- Voor een kleine groep incidenten geldt dat deze in het geheel niet door MTM worden waargenomen;
- Het aantal situaties dat kwalificeert als lokaal incident betreft typisch 20 tot 25% van de MTM AID intervallen;

1.11 Gevoeligheidsanalyse

Om inzicht te krijgen in de invloed van de verkeerscondities op de toepasbaarheid van incident detectie op basis van FCD zijn alle indicatoren apart berekend voor de volgende condities:

- *lokaal incident*. Bij deze situaties treedt er een snelheidsonderschrijding op bij de *bovenstroomse* meetraai die niet is voorafgegaan door een snelheidsonderschrijding bij de *benedenstroomse* meetraai;
- *filegolf*. We hebben te maken met een file die terugslaat van het benedenstroomse baanvak;
- *doorlopende filegolf*. Een file die via het huidige baanvak terugslaat van het benedenstroomse baanvak naar het bovenstroomse baanvak;
- *(smalle) spits*. Het startmoment van het AID interval ligt tussen 7:00 en 9:00 of 16:00 en 18:00 op een werkdag);
- *Restdag*. Het startmoment ligt hierbuiten;
- *AID intervallen korter dan 120 seconden*;
- *AID intervallen langer dan 120 seconden*.

Alle resultaten zijn opgenomen en besproken in hoofdstuk 10 van het hoofdrapport.

1.12 Lokale incidenten

De categorie "lokaal incident" is interessant om te beschouwen. Omdat het hier snelheidsonderschrijdingen betreft die benedenstrooms van het huidige baanvak niet worden waargenomen is de FCD detectie hier per definitie volledig afhankelijk van waarnemingen die op het huidige baanvak worden gedaan. Bij een filegolf is het in theorie mogelijk om waarnemingen van een benedenstrooms baanvak te extrapoleren naar het huidige baanvak. Hierdoor ontstaat bij een goede inregeling een goede correspondentie met MTM. Op basis van de beschikbare evaluatiedata is dan niet vast te stellen of er sprake is van een adequate extrapolatie of een snelle detectie. Hoewel het aantal gebeurtenissen dat classificeert als een lokaal incident maar een klein deel uitmaakt van alle MTM intervallen zijn deze gebeurtenissen vanuit evaluatieoogpunt dus extra interessant.

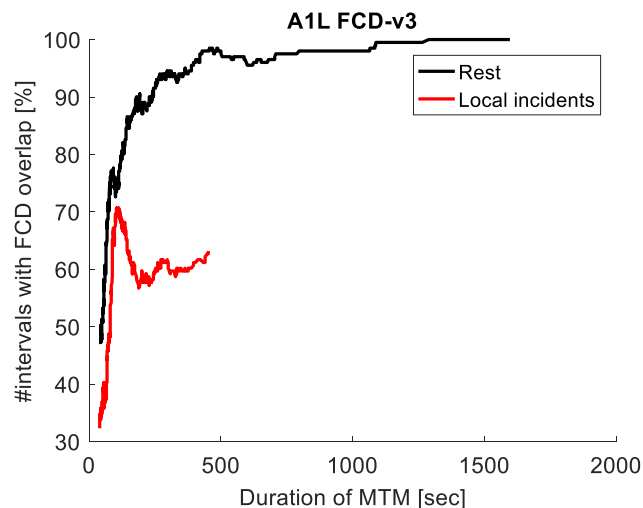
Een andere reden om met extra aandacht naar dit type events te kijken is de hypothese dat FCD dit type gebeurtenissen eerder detecteert dan MTM omdat FCD ook waarnemingen bevat die het interieur van het baanvak betreffen terwijl MTM alleen de randen van het baanvak observeert.

De bijbehorende indicatoren worden getoond in Tabel 5. In deze tabel valt op dat een groot percentage MTM intervallen in deze categorie niet overlapt met een interval dat door FCD wordt gedetecteerd. De bijbehorende vervolgvraag is of dit specifiek is voor intervallen van het type "lokaal incident" of dat dit samenhangt met de parameter "intervalduur" die een belangrijke verklarende variabele is voor de detectiekans. Om dit te bepalen is in sectie 8.5 een analyse uitgevoerd die het verband laat zien tussen het voortschrijdend gemiddelde van de overlapkans en de duur van het MTM interval (zie Figuur 9). Deze analyse laat duidelijk zien dat de MTM intervalduur een belangrijke verklarende variabele is voor de kans op een overlap, maar dat naast dit effect bij lokale incidenten sprake is van een extra lage kans op overlap.

Door vergelijking van de parameter "Reactietijd Inschakelen" in Tabel 5 en Tabel 4 wordt gevonden dat alleen in het geval van de A58L de hypothese wordt bevestigd dat FCD een lokaal incident eerder detecteert dan MTM.

Tabel 5: Kernindicatoren voor verkeersafwikkelingscategorie "lokaal incident"

Traject	A1L		A27L		A58L	
Variant	FCD-v3		FCD-v3		FCD-v3	
Aantal intervallen	880		1063		739	
Detectie % interval (% tijd)	53.3(68.5)		65.1(85.9)		73.7(85.9)	
Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]	29	179	25	321	-16	52
Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]	-27	285	-29	127	16	56
MTM aan FCD uit % interval (% tijd)	46.7(31.5)		34.9(14.1)		26.3(14.1)	
FCD aan MTM uit % interval (% tijd)	5.1(0.9)		9.2(1.4)		3.3(0.5)	

**Figuur 2:** Moving average (-100,+100) van het optreden van interval overlap als functie van MTM intervalduur, voor verkeersafwikkelingscategorie "lokaal incident" en "rest".

1.13 Doorlopende filegolven

De doorlopende filegolf is de tegenhanger van de verkeersafwikkelingscategorie "lokaal incident". Door ook voor deze categorie de resultaten te tonen (zie Tabel 6) ontstaat een compleet beeld van het spectrum waarin de indicatoren zich bewegen. Doorlopende filegolven worden in tenminste 94% van de gevallen waargenomen, bij de A58L zelfs 98.6% van de intervallen. Dit is zonder meer goed te noemen. De reactietijd varieert van 2 tot 24 seconden. Deze laatste waarde correspondeert bij een snelheid van 120 km/h met een afgelegde afstand van 800 meter en is dus aan de hoge kant. Door het algoritme iets verder voorwaarts te laten kijken kan dit eventueel worden opgelost, maar dat zou bij andere verkeersafwikkelingscategorieën mogelijk weer negatieve gevolgen kunnen hebben.

Tabel 6: Kernindicatoren voor verkeersafwikkelingscategorie "doorlopende filegolf"

Traject	A1L		A27L		A58L	
Variant	FCD-v3		FCD-v3		FCD-v3	
Aantal intervallen	1032		1906		2500	
Detectie % interval (% tijd)	94.5(97.6)		95.3(99.5)		98.6(99.7)	
Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]	19	75	2	82	24	55
Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]	-12	117	-8	90	28	52
MTM aan FCD uit % interval (% tijd)	5.5(2.4)		4.7(0.5)		1.4(0.3)	
FCD aan MTM uit % interval (% tijd)	5.1(0.9)		9.2(1.4)		3.3(0.5)	

1.14 Samenvatting van de numeriek bevindingen

De sleutelindicatoren (zie ook Tabel 4) zijn:

- *De kans "FCD aan MTM uit" (vals alarm)*. Dit is de kans dat een FCD interval niet overlapt met tenminste één MTM interval. Deze kans kan als percentage van het aantal FCD intervallen en als kans van de totale FCD interval duur worden uitgedrukt. Omdat vals alarm events vaak betrekking hebben op een geïsoleerd baanvak is voor de beoordeling van de effectiviteit vooral het tijdpercentage van belang. Uitgedrukt als percentage van de tijd is de vals alarmkans voor geen van de trajecten groter dan 1.4%. Binnen deze 1.4% zitten vervolgens ook nog een onbekend aantal gevallen die ten onrechte als vals alarm zijn aangemerkt, het betreft hier snelheidsonderschrijdingen die niet door MTM zijn opgemerkt. Alles bij elkaar kan de vals alarmkans als "goed" worden beoordeeld.
- *De detectiekans*. Dit is de kans dat een MTM interval wordt overlapt door 1 of meerdere FCD intervallen. Deze kans kan wederom als percentage van het aantal intervallen en als percentage van de totale tijd waarin MTM actief is worden uitgedrukt. Omdat de niet gedetecteerde MTM intervallen veelal voorkomen als onderdeel van een front van een filegolf lijkt vooral het interval percentage representatief voor de gebruikers ervaring. Dit percentage ligt bij zowel de A1L als de A27L boven de 20%. Bij de A58L ligt dit met 12.2% van de intervallen aanmerkelijk lager. Kort door de bocht betekent dit dat FCD 20% of 12 % effectief is ten opzichte van MTM. De MTM intervalduur is een belangrijke verklarende variabele voor de kans op overlap. De experimenten tonen aan dat vooral de verkeersafwikkelingscategorieën die zijn aangemerkt als "lokaal incident" bijdragen aan het percentage nondetectie. Het betreft hier AID meldingen die getriggerd worden door een snelheidsonderschrijding bij de bovenstroomse meetraai zonder dat hieraan een snelheidsonderschrijding bij de benedenstroomse meetraai aan vooraf is gegaan. De bijbehorende aanname is dat hier sprake is van een incident in het interieur van het baanvak dat (met enige vertraging) wordt geconstateerd. Het gevonden hoge non-detectie percentage bij deze condities is strijdig met de hypothese vooraf dat FCD juist voor dit type

incidenten bij uitstek geschikt is vanwege de mogelijkheid om op elk 50 meter segment data in te winnen. Ten behoeve van een praktijktoepassing is het wenselijk maatregelen te nemen die de detectiekans verder vergroten.

- *De reactietijd bij inschakelen.* Dit is de gemiddelde tijd tussen het moment dat MTM AID inschakelt en het moment dat het eerste overlappende FCD interval inschakelt. Als FCD eerder inschakelt is de reactietijd dus negatief. De gemiddelde reactietijd varieert tussen de 3 en 16 seconden hetgeen acceptabel is. Door het FCD algoritme verder stroomafwaarts te laten kijken zou in theorie mogelijk moeten zijn om de gemiddelde reactietijd op 0 seconden in te regelen (ten koste van een grotere spreiding en vals alarm kans). De gemiddelde reactietijd bij incidenten is negatief, dit is conform de hypothese vooraf dat FCD incidenten in het interieur kan detecteren voordat deze zichtbaar worden bij de bovenstroomse meetraai;
- *De spreiding van de reactietijd.* Bij de A1L en de A27L is sprake van een behoorlijke spreiding in de reactietijd. Dit vertaalt zich in een minder consistente gebruikerservaring. Ten behoeve van een praktijktoepassing zijn maatregelen gewenst die de spreiding in de reactietijd verkleinen. In zekere opzicht is de spreiding in de reactietijd een nog belangrijkere indicator dan de reactietijd zelf omdat de reactietijd uiteindelijk "weggeregeld" kan worden door het vizier van de FCD verder stroomafwaarts te leggen. Voor het verkleinen van de *spreiding* in de reactietijd zijn dergelijke maatregelen niet beschikbaar.

1.15 Benodigd en beschikbaar aantal FCD waarnemingen

Er is een analyse uitgevoerd op basis van door BeMobile beschikbaar gestelde gegevens over het aantal FCD waarnemingen op zondag 13 en dinsdag 15 november 2016. Hieruit is gebleken dat dit aantal sterk over de dag wisselt zowel in absolute aantallen als gerelateerd aan de intensiteit. Uitgaande van Poisson verdeelde waarnemingstijdstippen is de te verwachten tijd benodigd voor het verzamelen van k FCD waarnemingen gelijk aan k/n minuut, met n het gemiddeld aantal waarnemingen per minuut. De gemiddelde responsetijd is minimaal gelijk aan deze waarde. Bij een gemiddelde responsetijd van 120 seconden als uiterste acceptabele waarde, en minimaal 2 benodigde FCD waarnemingen voor het afgeven van een AID status moet het uurgemiddelde aantal FCD waarnemingen hoger dan 60 zijn om de responsetijd te halen. Op (dinsdag) 15 november voldeden 70% van de etmaal-uren aan dit criterium. Op (zondag) 13 november was dit 50%. Om een gemiddelde responsetijd van 60 seconden halen bij verder gelijke aannames moet het uurgemiddelde aantal FCD waarnemingen hoger dan 120 zijn. Op de voorbeeld werkdag voldeden 50% van de uren hieraan, op de voorbeeld zondag 25%. Buiten deze uren is FCD als databron wel inzetbaar maar zal de gemiddelde responsetijd hoger zijn dan 2 respectievelijk 1 minuut.

1.16 Technische beschikbaarheid tijdens de praktijkproef

Om zicht te krijgen op de mate van uitval tijdens de praktijkproef is door het FCD systeem elke minuut een zogenaamd "HEARTBEAT" record weggeschreven. De uitval is gedefinieerd als het aantal periodes waarbij

twee opeenvolgende HEARTBEAT records een onderling tijdverschil van meer dan 70 seconden hebben. De testfase van de praktijkproef heeft gelopen van 6 dec 16:00 tot 20 dec 23:30 (20699 minuten). Tijdens deze periode is de beschikbaarheid 100% geweest. Dit wil zeggen dat er nooit een pauze tussen twee HEARTBEAT records is geweest die langer heeft geduurd dan 70 seconden. In deze periode zijn er evenmin meldingen van de leverancier geweest van andere technische problemen.

1.17 Toepasbaarheid

In de huidige studie zijn de uitkomsten van een aantal FCD varianten op een groot aantal manieren tegen het licht gehouden, wat geresulteerd in een groot aantal tabellen en grafieken met non-detectie percentages, vals-alarm kansen en reactietijd analyses. Geen van deze analyses rechtvaardigt helaas een eenduidige conclusie over de toepasbaarheid.

De uitkomsten wisselen sterk per traject en type verkeersafwikkeling. Op de A58L is bijvoorbeeld vaak sprake van regulier opbouwende files. Deze files worden door het FCD algoritme ook netjes gevolgd en in deze fase lijkt FCD zonder meer een acceptabele oplossing. Weggebruikers zou het verschil tussen FCD of MTM aangestuurde signalering in deze situatie vermoedelijk ook niet opvallen. Twijfels bestaan echter over de detectie van de zogenaamde filekiemen. Hoewel dit bij de A58L beter gaat dan bij ander trajecten blijft 26.3% van dit soort gebeurtenissen ontgedetecteerd (14.1% indien gewogen met intervalduur).

In de praktijk worden alleen de voertuigen die in de eerste fase van congestie passeren hierdoor getroffen. De meerderheid ontvangt een adequate waarschuwing. In dit opzicht is dus sprake van oplossing die wellicht acceptabel is als daar sterk verlaagde kosten tegenover staan.

Bij de A27L is het probleem groter. Hier bedraagt de non-detectie van lokale incidenten 34.9% (eveneens 14.1% indien gewogen met de intervalduur). Bij de A1L is deze non-detectie zelfs 46.7% (31.5% gewogen).

Zodra de congestie de vorm krijgt van een doorlopende file golf schiet de detectie voor alle trajecten omhoog naar minstens 95% (97% indien gewogen met intervalduur).

1.18 Aanbeveling

Gezien de bovenstaande opmerkingen is de aanbeveling om de FCD algoritmes verder te verbeteren op de aspecten "detectie lokale incidenten" en in iets mindere mate "spreiding van de reactietijd". Op trajecten met een vergelijkbaar verkeersbeeld als de A58L lijkt een toepassing mogelijk, wellicht in combinatie met een aangepaste beeldstandstrategie die de spreiding in de reactietijd deels opvangt door een extra stroomopwaartse melding.

2 Inleiding

2.1 Achtergrond

In het kader van de transitie Dynamisch Verkeers Management (DVM) wordt onderzocht of het snelwegsignaleringsysteem op een adequate manier kan worden aangestuurd op basis van Floating Car Data (FCD). Dit ter vervanging van de traditionele inwinning met detectielussen. In een eerdere studie is al vastgesteld dat op basis van historische FCD data een vergelijkbaar beeld van de filevorming kan worden verkregen als via detectielussen (bron: Be Mobile "Datafusie met floating car data voor Automatische Incident Detectie", 2016). Naar aanleiding hiervan is het idee ontstaan om na te gaan in hoeverre filelocaties ook in een on-line setting zijn te detecteren op basis van FCD data en of het haalbaar is om op basis hiervan signalering aan te sturen.

2.2 Doel van de studie

Deze algemene haalbaarheidsvraag is door de opdrachtgever uitgesplitst in de volgende deelvragen:

- Is de levering van FCD over een langere periode voldoende betrouwbaar om het snelwegsignaleringsysteem (MTM) te voeden;
- Is de actualiteit van de FCD voldoende dat inderdaad real-time aansturing van MTM kan worden gegarandeerd;
- Zou in spitsperiodes de weergave van de beeldstanden op de signaalgevers vanuit voeding met FCD hetzelfde qua boodschap en tijdigheid zijn als vanuit de voeding met lusdetectiedata;
- Is FCD voldoende bruikbaar op rustige momenten (weinig auto's dus weinig "gegevens" op de weg);
- Is FCD voldoende bruikbaar in bijzondere omstandigheden, denk aan wegwerkzaamheden en incidenten;
- Zijn situationele variabelen (locatiespecifiek (verschillende wegvakken), weersomstandigheden, ...) onderscheidend waar het gaat om de betrouwbaarheid van FCD data t.o.v. lusdata?

2.3 Praktijkproef

Om de bovenstaande vragen te beantwoorden is een praktijkproef uitgevoerd waarbij beeldstanden online worden gegenereerd op basis van FCD data en vervolgens worden gelogd. De proef is zo realistisch mogelijk uitgevoerd, maar gaat in het huidige stadium niet verder dan schaduwdraaien ten opzichte van het ter plekke aanwezige MTM. De gegenereerde beeldstanden worden niet aan weggebruikers getoond. Wel is een communicatie met de verkeerscentrale tot stand gebracht. De schaduwgedraaide beeldstanden zijn op de desk zichtbaar en de koppeling van de Be Mobile systemen met die van RWS wordt gedemonstreerd door de beeldstanden op een speciaal voor de demo aanwezige matrixsignaalgever (MSI) te tonen.

2.4 Betrokken partijen en rollen

Bij het project zijn de volgende partijen betrokken:

- Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving (WVL): projectleiding evaluatie;
- Rijkswaterstaat Centrale Informatie Verwerking (CIV): realisatie van het schaduw MTM system;
- Rijkswaterstaat Verkeer- en Watermanagement (VWM): Bemensing van de innovatiecentrale Helmond;
- Be Mobile: Levering van het real-time FCD systeem dat de beeldstanden voor het schaduw MTM levert;
- Modelit: evaluatiepartner.

2.5 Studiegebied

Het studiegebied van de demo bestaat uit een drietal trajecten:

- Van Apeldoorn naar Amersfoort over de A1. Dit is een traject van 46 km lang (88.6 tot 42.5), tijdens de ochtendspits is hier structurele congestie. Er zijn MTM-portalen van 88.6 tot 83.6 en van 54.6 tot 42.5.
- Van Utrecht naar Gorinchem op de A27. Dit is een traject van 34 km lang (71.8 tot 33.8), veel congestie tijdens de avondspits MTM-portalen zijn op het gehele traject aanwezig.
- Van Tilburg naar Eindhoven op de A58 Dit traject is 36 km lang (38.0 tot 12.0 L). Veel congestie in de ochtendspits. Dit traject is geheel voorzien van MTM-portalen en camera's.

2.6 Evaluatietaken

De firma Modelit is aangesteld voor het uitvoeren van de evaluatie. De volgende taken zijn hierbij uitgevoerd:

- Het opstellen van een evaluatieplan voorafgaande aan het starten van de praktijkproef;
- Het vervaardigen van scripts en software voor het visualiseren en analyseren van tussen- en eindresultaten;
- Het beschikbaar stellen van relevante tools aan projectpartners;
- Het opstellen van rapporteren over de tussenresultaten tijdens de praktijkproef middels documenten, presentaties en screencasts;
- De rapportage in de vorm van het huidige evaluatierapport;
- Het assisteren van de opdrachtgever bij presentaties.

2.7 Deliverables

Het project kent de volgende twee contractueel vastgelegde deliverables:

- Het evaluatieplan "(13/9/2016) Toepassingsmogelijkheden van Floating Car Data bij Filesignalering".
- Het huidige rapport.

Tot de spin-off van het project kan het ontwikkelde analysetool voor de visualisatie en analyse van FCD en MTM logdata worden gerekend. Met beperkte inspanningen kan dit instrument worden toegepast bij vergelijkbare studies.

3 Explicitering van de onderzoeksvragen

Sectie 2.2 somt de onderzoeksvragen op zoals deze door de opdrachtgever zijn verwoord. Dit hoofdstuk werkt deze vragen in meer detail uit.

3.1 Leveringszekerheid

Indien signalering aanwezig is op een traject gaan bestuurders naar enige tijd bewust of onbewust vertrouwen op de correcte werking ervan. Het is daarom van belang dat het systeem permanent beschikbaar is. In verband hiermee wil de opdrachtgever antwoorden op de volgende vragen:

- Welke beschikbaarheid kan worden gerealiseerd tijdens de proef?
- Wat is de aard en ernst van eventueel optredende storingen?
- Aan welke systeemcomponenten zijn eventueel optredende storingen toe te rekenen?
- Is het systeem gevoelig voor overbelasting in periodes met heel veel verkeer of congestie?
- Voorziet het systeem in een manier om zelf te detecteren dat er sprake is van een storing?
- Kan een eventuele storingsdetectie worden opgevolgd door een plan B, zodat de schade beperkt blijft.

Aan de hand van deze inventarisatie zou de opdrachtgever in staat moeten zijn om te beoordelen of de technische betrouwbaarheid van het systeem een beletsel vormt voor de toepassing ervan.

3.2 Toepasbaarheid voor aansturen MTM

Uitgaande van een correcte technische werking van het systeem is de vervolgvraag of de kwaliteit van de ingewonnen data voldoende is om MTM real time te kunnen aan sturen. Kwaliteit kent in dit geval de volgende dimensies:

- de actualiteit: hoe snel worden veranderende condities gedetecteerd;
- de precisie: wat is de spreiding van de gegenereerde adviezen ten opzichte van op dat moment vereist is. Is er misschien sprake van systematische fouten.
- ruimtelijk detail nivo: Is het systeem in staat om congestie op twee nabij gelegen locaties van elkaar te onderscheiden.

Deze aspecten moeten niet alleen meetbaar gemaakt worden door middel van bijpassende indicatoren, er moeten ook acceptatie criteria worden opgesteld die aangeven welke indicatorwaardes nog wel en welke niet acceptabel zijn.

3.3 Toepasbaarheid in specifieke verkeerscondities

Het is heel goed mogelijk dat het systeem in bepaalde omstandigheden beter toepasbaar dan in andere. De opdrachtgever wil de resultaten daarom uitgesplitst zien in de volgende situaties:

- Reguliere spitsperiodes. Hierbij is sprake van de gebruikelijke capaciteitsfiles waarvan de ontstaanslocaties- en tijdstippen niet precies voorspelbaar zijn, maar het verdere verloop tot op zekere hoogte wel.

- Incidenten en andere bijzonder omstandigheden. Het verloop hiervan is per definitie onvoorspelbaar en de effecten zijn vaak zeer plaatselijk.
- Periodes met weinig verkeer; In deze periodes zijn er weinig FCD waarnemingen beschikbaar zodat detectie van een incident vermoedelijk langer duurt. De vraag is of er voorbeelden van dergelijke incidenten te vinden zijn en wat er te zeggen is over de reactie van het systeem op een dergelijk incident.

3.4 Overdraagbaarheid naar nieuwe locaties en situaties

De slotvraag is in hoeverre FCD gebaseerde signalering universeel toepasbaar is.

Een aantrekkelijke eigenschap van FCD gebaseerde inwinmethodes is over het algemeen dat deze zonder veel extra investeringen overdraagbaar zijn naar nieuwe locaties. Om te verifiëren of dat in het huidige geval ook zo is willen we graag de volgende vragen beantwoorden:

- Is de kwaliteit van de FCD gebaseerde beeldstanden op de ene locatie beter dan op de andere? In het bijzonder: kunnen we de invloed vaststellen van:
 - De aanwezigheid van parallelle wegen of baanvakken;
 - De aanwezigheid van tankstations en verzorgingsplaatsen;
 - het doorkruisen van verkeerspleinen.
- Wordt de werking van het systeem beïnvloed door congestie in de tegengestelde richting;
- Bevat het systeem locatieafhankelijke parameters die moeten worden ingeregeld, en zo ja;
- Zijn voor het inregelen van het systeem externe data nodig.

DEEL 1

BESCHRIJVING MTM SYSTEEM, THEORETISCH KADER, IDENTIFICATIE VAN CONGESTIETYPES

4 De werking van MTM

4.1 Context

Dit hoofdstuk beschrijft de werking van het MTM systeem as-is. Aan bod komen achtereenvolgens:

- de werking van MTM;
- de elementen die daarbij betrokken zijn;
- deelalgoritmes per strook;
- de manier van logging;
- een illustratie van de werking aan de hand van een logfile fragment.

4.2 De werking van MTM, samenvatting

Het voor weggebruikers zichtbare deel van MTM bestaat uit de portalen met de bekende matrixborden. Ter hoogte van ieder portaal liggen lusdetectoren die zijn ingefreesd in het wegdek. De cross secties waarop de meetlussen liggen noemen we *meetraaien*. Deze verdelen het door MTM bestuurd deel van het autonetwerk in zogenaamde *baanvakken*.

De AID status van ieder baanvak wordt binnen MTM individueel bepaald op basis van data die zijn ingewonnen bij de bovenstroomse en benedenstroomse lusdetectoren. Indien bij één van deze detectoren langzaam rijdend verkeer wordt geconstateerd krijgt het bijbehorende baanvak de AID status "aan". In het andere geval is de AID status "uit".

De AID status van alle baanvakken worden gecombineerd in de TOP (wat staat voor Transactie Oriënted Processor). Hieruit volgt voor ieder baanvak een automatisch afgeleide beeldstand die de volgende waardes kan aannemen:

- Geheel uit:* de AID status van het huidige baanvak en het direct benedenstroomse baanvak is "uit"
- 70 met attentie:* de AID status van het huidige baanvak is "uit" maar de AID status van het benedenstroomse baanvak is "aan". Op het matrixbord knipperen de zogenaamde flashers.
- 50 met attentie:* de AID status van het huidige baanvak is "aan" . De AID status van het bovenstroomse baanvak is "uit". Ook nu knipperen de flashers.
- 50:* de AID status van het huidige baanvak en het bovenstroomse baanvak is "aan". Er knipperen geen flashers.
- 70 op parallelbaan:* Dit is van toepassing in een situatie met parallelbanen zonder fysieke scheiding en waarbij op de andere baan een snelheidslimiet getoond.

Naast deze automatisch ingestelde beeldstanden zijn er nog diverse door de operator in te stellen beeldstanden, zoals afkruisingen, volgpijlen of alternatieve snelheidslimieten. Deze worden in de huidige studie buiten beschouwing gelaten.

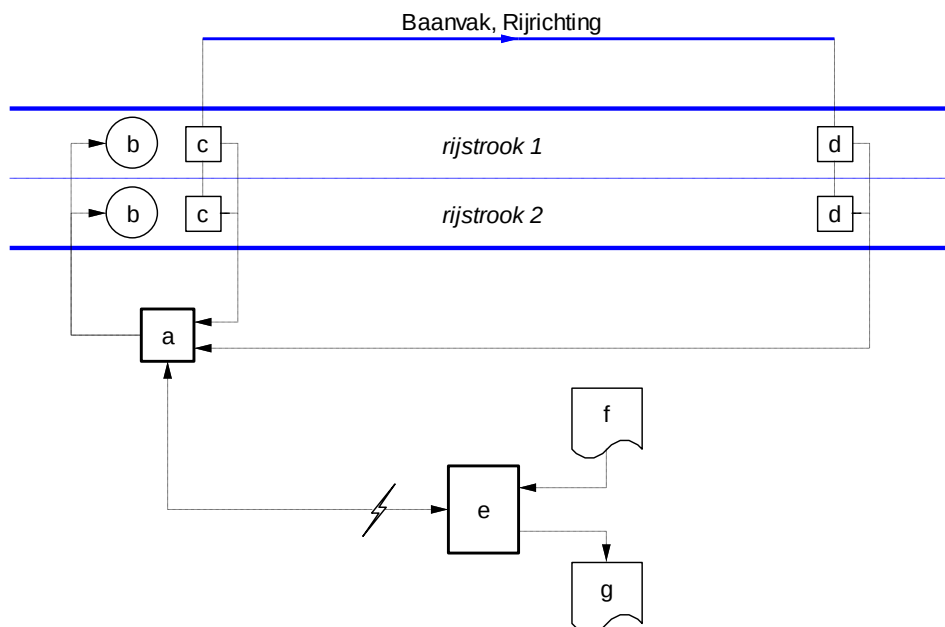
4.3 Bepaling AID status per baanvak: betrokken elementen

Verwijzend naar Figuur 3: Een wegkantstation (a) stuurt signaalgevers (b) aan op basis van gegevens afkomstig uit lusdetectoren (c) ter hoogte van de signaalgevers en lusdetectoren (d) benedenstrooms. Als bij (c) of (d) een incidentconditie wordt geconstateerd zullen de signaalgevers de dynamische snelheidslimiet "50" tonen.

In principe worden de beeldstanden bepaald in de TOP (e), maar bij het wegvallen van de dataverbinding kan het wegkantsysteem autonoom werken.

In de hierboven beschreven standaard situatie zijn er twee meetraaien (c) en (d) bepalend voor de beeldstand zoals getoond op de signaalgevers (b). Als de situatie erom vraagt kunnen echter ook extra meetraaien worden aangesloten. Dit is vastgelegd in de MTM configuratiefile (f).

Ieder moment dat er iets verandert aan de AID status van het baanvak of aan de beeldstanden die getoond worden bij (b) wordt de nieuwe situatie gelogd in de MTM logfile (g).



- (a): Wegkantstation
- (b): Matrixsignaalgevers gemonteerd op portaal boven weg
- (c): Detectielussen op meetraai ter hoogte van portaal
- (d): Detectielussen van benedenstroomse meetraai
- (e): TOP (Transactie Oriënted Processor)
- (f): MTM configuratiefile
- (g): MTM logfile

Figuur 3: Elementen betrokken bij MTM

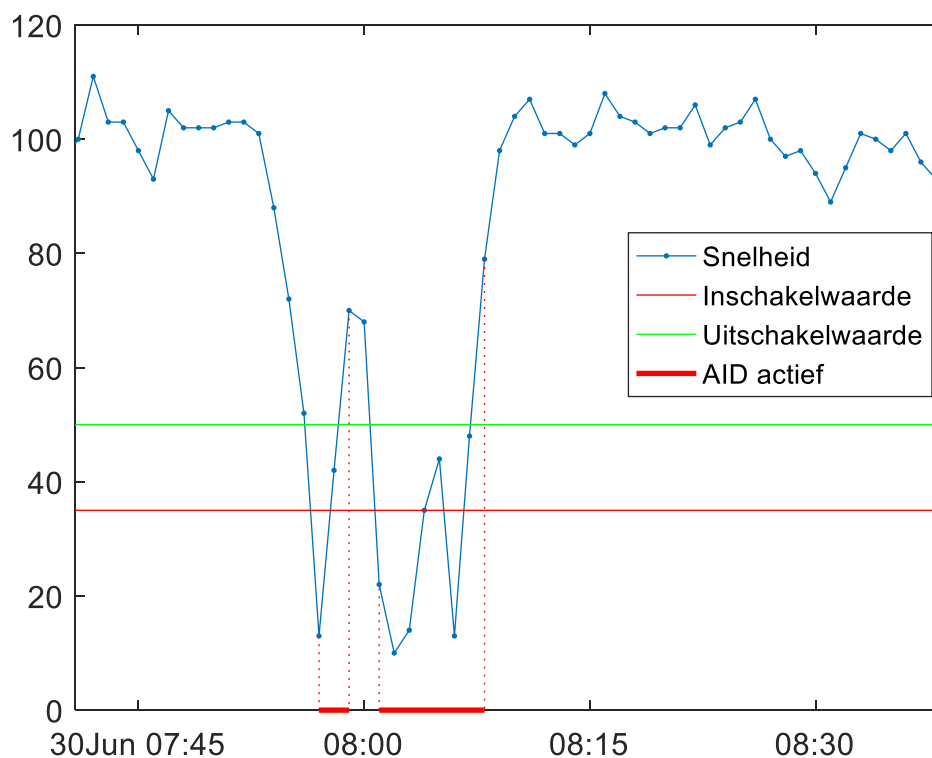
4.4 Bepaling van de AID status per strook

Een baanvak krijgt de AID status "aan" indien er tenminste één van de aangesloten strookdetectoren de AID status "aan" heeft.

De AID status wordt op strook nivo als volgt bepaald:

- per strookgebonden meetpunt wordt een exponential gesmoothed voortschrijdend gemiddelde bijgehouden;
- Indien dit gemiddelde onder een vooraf gespecificeerde drempelwaarde zakt (typisch 35 km/uur) krijgt dit meetpunt de status "AID actief";
- De status actief blijft gehandhaafd totdat het snelheidsgemiddelde een tweede drempel (typisch 50 km/uur) weer overstijgt.

Deze logica is geïllustreerd in Figuur 4. Noot: In dit voorbeeld wordt de logica toegepast op een equidistante tijdreeks met minuutgemiddelde snelheden. Binnen MTM wordt echter bij iedere voertuigpassage een exponentieel gesmoothte snelheid bijgewerkt.



Figuur 4: AID logica toegepast op tijdreeks van snelheidswaardes

Merk op dat een lusdetector normaliter twee baanvakken bewaakt. Eenmaal als onderdeel van de bovenstroomse meetraai en eenmaal als onderdeel van de benedenstroomse meetraai (van het bovenstroomse baanvak).

4.5 Inhoud van de MTM logfile

De MTM logfile is de aangewezen databron om een vergelijking met enig alternatief systeem voor MTM tot stand te brengen. Deze logfile is het enige bestand dat systematisch en op seconde basis de activiteit van MTM logt.

Het onderstaand korte fragment toont de inhoud van een MTM log file (de lege regels zijn voor de leesbaarheid ingevoegd)

2016-12-01 15:38:29 AID AAN A27L 53,350	50			
2016-12-01 15:38:33 BEELD OS A27L 54,100	*70*	*70*	*70*	
2016-12-01 15:38:33 BEELD OS A27L 53,350	*50*	*50*	*50*	
2016-12-01 15:40:21 AID AAN A27L 54,100	50			
2016-12-01 15:40:25 BEELD OS A27L 54,600	*70*	*70*	*70*	
2016-12-01 15:40:25 BEELD OS A27L 54,100	*50*	*50*	*50*	
2016-12-01 15:40:25 BEELD OS A27L 53,350	50	50	50	
2016-12-01 15:45:37 AID AAN A27L 54,600	50			
2016-12-01 15:45:41 BEELD OS A27L 55,155	*70*	*70*	*70*	
2016-12-01 15:45:41 BEELD OS A27L 54,600	*50*	*50*	*50*	
2016-12-01 15:45:41 BEELD OS A27L 54,100	50	50	50	
2016-12-01 15:57:08 AID AAN A27L 55,155	50			
2016-12-01 15:57:13 BEELD OS A27L 55,155	*50*	*50*	*50*	
2016-12-01 15:57:13 BEELD OS A27L 54,600	50	50	50	
2016-12-01 15:57:13 BEELD OS A27L 55,598	*70*	*70*	*70*	*70*
2016-12-01 16:00:01 AID AAN A27L 55,598	50:BL			
2016-12-01 16:00:05 BEELD OS A27L 56,200	*70*	*70*		
2016-12-01 16:00:05 BEELD OS A27L 55,155	50	50	*50*	
2016-12-01 16:00:05 BEELD OS A27L 55,598	*50*	*50*	*70*	*70*

De logfile bevat de volgende spatiegescheiden kolommen:

- *een tijdstempel*. Deze refereert naar lokale tijd;
- *een gebeurtenis type*. Mogelijke waardes zijn AID AAN, AID UIT of BEELD OS). AID AAN staat voor de gebeurtenis dat een baanvak de AID status "aan" krijgt. Een dergelijk bericht wordt per definitie gematcht door een later record van het type AID UIT;
- *een locatie aanduiding*. Deze is geschreven als wegnummer, wegrichting, positie. Deze locatie aanduiding heeft betrekking op de locatie van de meetraai die het baanvak bovenstrooms begrensd;
- *de bijgewerkte statuswaarde*. Deze is alleen betekenisvol voor records van het type "BEELD OS". In dit geval worden de beeldstanden per baan vermeld. Door middel van een * symbool wordt aangegeven dat de flashers hebben aangestaan. Zie ook de onderstaande tabel.

Record type	Interpretatie van de kolom "statuswaarde"	
BEELD OS	beeldstanden op het portaal, per strook, beginnend met de strook bij de middenberm	
	50, 70, 90	Dynamische maximum snelheid
	50, *70*	Toevoeging "*": met attentie
	BL, OB	Blank (niets getoond), Overruling blank (niets getoond op expliciet aangeven van centrale)
	PL,PR,X,GP	Verdrijfpijl links, Verdrijfpijl rechts, Afgekruipte strook, Groene vallende pijl
	@	Einde alle verboden en restricties
AID AAN	AID aanbeveling per verkeersbaan (dus niet per strook), beginnende de verkeersbaan bij de middenberm. Het aantal banen varieert tussen 1 en 3. Een record "AID AAN" resulteert na circa 10 seconden in een wijziging van de beeldstand op de portalen. Een aparte configuratie legt de logica vast die wordt toegepast om een AID aanbeveling per baan te vertalen in een beeldstand per strook, en inleidende beeldstanden te tonen op bovenstroomse portalen.	
	BL	Geen aanbeveling
	50	Aanbeveling "50"
	70	Aanbeveling "70"
AID UIT	AID aanbeveling per verkeersbaan die in alle gevallen de waarde "BL" bevat.	

Merk op dat het recordtype gelijk is aan "AID AAN" betekent dat er een incident conditie geldt voor het *baanvak*. Derhalve geldt er een AID conditie voor tenminste één van de aangesloten strookdetectors. Uit een enkel MTM logrecord kan echter niet worden afgeleid of het gaat om een detector in de bovenstroomse of de benedenstroomse aangesloten meetraai. Sectie 6.3.3 gaat hier verder op in.

4.6 Hoofdpunten uit dit hoofdstuk

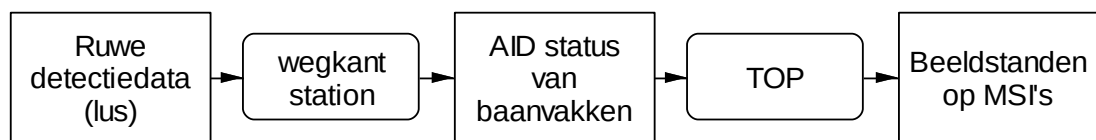
- Binnen het MTM systeem wordt het bewaakte autonetwerk onderverdeeld in baanvakken.
- Een baanvak is doorgaans bovenstrooms en benedenstrooms begrensd door een meetraai.
- De AID status van een baanvak is "aan" als tenminste een van de aangesloten meetraaien een strook bevat waarop langzaam verkeer wordt waargenomen.
- Alle beeldstanden, voorzover niet handmatig ingesteld, worden afgeleid uit de AID status van de baanvakken.
- De beeldstand wordt getoond op portalen waarvan de locatie doorgaans samenvalt met de bovenstroomse meetraai van een baanvak.
- De MTM logfile is het enige bestand dat systematisch en op seconde basis de activiteit van MTM logt.

- De MTM logfile legt op baanvaknivo en per seconde de AID status en de beeldstanden vast.
- De AID status van de aangesloten meetraaien worden niet apart gelogd

5 Afbakening onderzoeksvraag: concentreren op AID status

5.1 Te beoordelen componenten binnen MTM

De beeldstanden die op de matrixsignaalgevers (MSI's) worden getoond komen in een aantal stappen tot stand (zie sectie 4.2 en Figuur 5). In het wegkantstation wordt de AID status van baanvakken bepaald. In de TOP wordt deze input verwerkt tot een ruimtelijk samenhangende set van beeldstanden. Beeldstandwaardes die voorkomen zijn "50", "70" en "blank". De actieve beeldstanden "50" en "70" worden bovendien gecombineerd met flashers indien het bovenstroomse portaal geen actieve beeldstand toont.



Figuur 5: *Compartimentering binnen MTM: van data naar AID status naar beeldstand*

Het verwerkingsproces verloopt in twee afgebakende stappen. Deze kunnen als geheel worden beoordeeld, in dit geval is de vraag: "hoe adequaat is de verzameling beeldstanden die werd gegenereerd".

In plaats van alleen het eindresultaat kan men echter ook de onderdelen van het verwerkingsproces beoordelen. In dit geval resulteren drie deelvragen:

- 1- "hoe adequaat is de gegenereerde AID status", en
- 2- "gegeven een de gecombineerde AID status van baanvakken, hoe adequaat is de gegenereerde beeldstand", en
- 3- "hoe goed werken de componenten van het systeem samen".

In het ideale geval doet de derde deelvraag er niet toe. In dat geval is de definitie "adequaat" voor iedere deelstap apart en objectief gedefinieerd. In zijn algemeenheid is het echter heel goed mogelijk dat in een keten van verwerkingsstappen een zwakte van een bepaalde deelstap wordt gecorrigeerd door een voorziening hiervoor in een andere component. Dit afstemmingseffect is dan alleen meetbaar door het resultaat van de hele keten te bekijken.

Ten aanzien van MTM doen we in de huidige studie echter de *aanname* dat we -3- buiten beschouwing mogen laten.

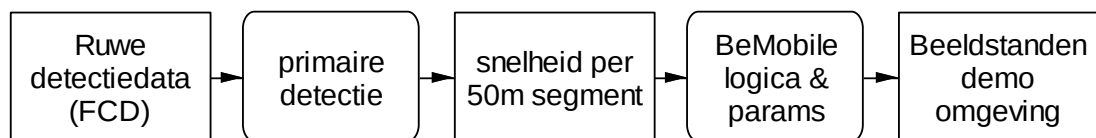
Als rechtvaardiging voor deze aanname voeren we aan dat de TOP geen speciale beslisregels bevat die rekening houden met de manier waarop de AID status per baanvak wordt afgeleid. Als we bijvoorbeeld een ander algoritme of een andere parameterset toepassen bij de bepaling van de AID status is er niet direct aanleiding om de verwerking in de TOP aan te passen.

De consequentie van de aanname is dat voor de componenten "bepaal AID status per baanvak" en "bepaal beeldstanden uit AID status" los van elkaar kwaliteitseisen kunnen worden opgesteld en beoordeeld. Dit heeft grote voordelen omdat hiermee de dimensie van de beoordelingsruimte drastisch afneemt.

5.2 Te beoordelen componenten binnen de FCD demo

Ook bij het systeem dat binnen de huidige FCD demo beeldstanden genereert kunnen modules worden geïdentificeerd (zie Figuur 6). Deze indeling wijkt echter af van die van MTM. Er zijn twee verschillen:

- de FCD demo werkt niet met het begrip AID status;
- de FCD demo werkt met baanvakken die een lengte van 50 meter hebben.



Figuur 6: *Compartimentering binnen FCD Demo: van FCD data naar segmentsnelheid naar beeldstand*

5.3 Vergelijkbare aspecten van MTM en FCD demo

In de voorgaande twee secties hebben we de apart te beoordelen componenten van MTM respectievelijk de FCD demo geïdentificeerd. Helaas is er geen 1 op 1 match tussen de componenten van de FCD demo en MTM. In strikte zin bestaat de kleinste gemene deler uit het eindresultaat, de gegenereerde beeldstanden.

Een vergelijking op beeldstandniveau is uiteraard mogelijk maar ook lastig omdat er dan een uitkomsten matrix met minimaal 9 cellen ontstaat (op basis van de mogelijke uitkomsten 50, 70 en uit) tegenover 4 cellen (op basis van alleen de uitkomst AID "aan" of AID "uit"). Voor een overall beoordeling zou elke celwaarde van een objectieve weegfactor voorzien moeten worden. Deze weegfactoren zouden vervolgens in hoge mate bepalend zijn voor de uitkomst. De dimensie neemt verder toe als ook het aspect met/zonder attentie wordt meegenomen of als de uitkomsten in relatie met eerdere periodes of omliggende baanvakken worden beoordeeld.

Als we echter bedenken dat:

- er binnen MTM een "als en alleen als" relatie geldt tussen de AID status "aan" en een dynamische snelheidslimiet van "50";
- het FCD systeem snelheidsadviezen op baanvak genereert die de waarde "50", "70" of "uit" aannemen,

Dan kunnen we zonder verlies van informatie de eigenschap "AID aan" uit MTM vergelijken met de eigenschap "snelheidslimiet=50" uit het FCD systeem. Dit betekent een belangrijke vereenvoudiging omdat we nu

uitkomsten als "70" en "met of zonder attentie" buiten de vergelijking kunnen houden.

We sluiten de sectie daarom af met de vaststelling van het belangrijke uitgangspunt dat de evaluatie binnen de huidige studie zal worden gebaseerd op de uitkomst "AID status" met de aantekening dat een beeldstand aanbeveling "50" equivalent wordt beschouwd als de vaststelling "AID aan".

Hiermee is een belangrijke afbakening van de onderzoeksvraag bereikt.

6 Analysesemogelijkheden op basis van de MTM logfile

Om een beter gevoel te krijgen voor de manier waarom MTM in praktijk werkt en in hoeverre deze werking is te reconstrueren aan de hand van logfiles beschrijft dit hoofdstuk het resultaat van een aantal exploratieve analyses van MTM logfiles.

6.1 Analyse aan de hand van interactieve tabel

De eerste stap in de exploratie van de MTM logdata is een verkenning van de data en het uitvoeren van een plausibiliteitscontrole. Dit is in het huidige geval gebeurd door een MTM logfile te importeren in een tabel die sorteerbaar en filterbaar is. Vervolgens zijn steekproefsgewijs enkele controles uitgevoerd:

- er is gezocht naar duidelijk zichtbare fouten of inconsequenties;
- in het bijzonder is gekeken naar de chronologische relatie tussen AID status en beeldstand;
- per attribuutkolom zijn de unieke waardes (het bereik) bepaald en is nagegaan welke analysemogelijkheden dit met zich meebrengt;
- de data zijn gecontroleerd op volledigheid. In het bijzonder is gecheckt dat AID AAN records te matchen zijn met AID UIT.

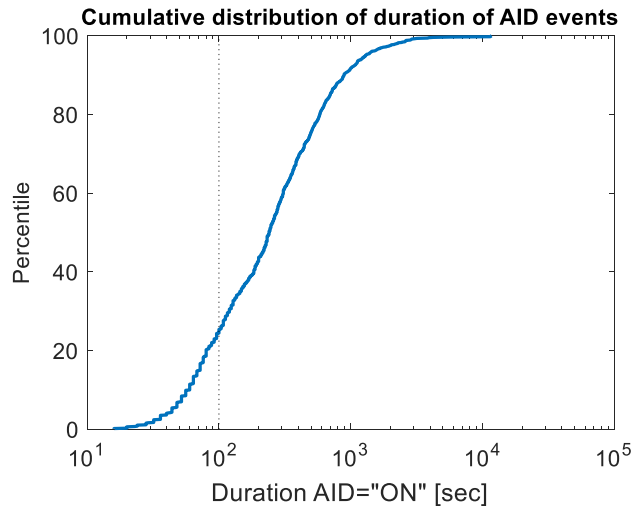
Over deze exercitie valt niet veel op te merken, behalve dat deze geen noemenswaardige problemen aan het licht gebracht heeft.

6.2 Numerieke kenmerken afleidbaar uit MTM logfiles

6.2.1 *Cumulatieve verdeling periode duur AID-AAN*

Inspectie van empirische data van 37 baanvakken op de A1 Links in de periode januari 2016 geeft een indruk van de gemiddelde duur van AID meldingen. Indien we steeds de duur bepalen tussen de gebeurtenis "AID-AAN" en "AID-UIT" en het resultaat sorteren van kort naar lang ontstaat Figuur 7. In dit figuur is de x-as logaritmisch weergegeven om de grafiek beter uitleesbaar te maken.

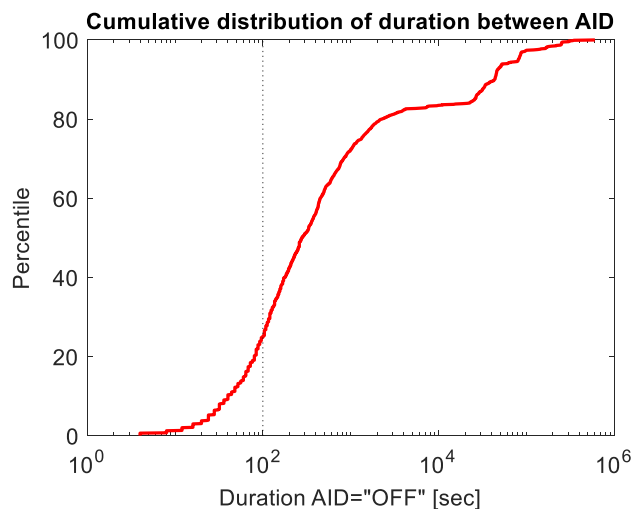
Uit de grafiek kan worden afgelezen dat circa 20% van de periodes met aaneensluitend AID AAN korter dan 100 seconden is. De mediane duur van dergelijke periodes is ca 200 secondes.



Figuur 7: *Cumulatieve verdeling van de duur van AID intervallen (data: 37 baanvakken op de A1L, januari 2016)*

6.2.2 Cumulatieve verdeling periode duur AID UIT

Op analoge wijze kan ook de verdeling worden getoond van de duur tussen het verdwijnen van een AID aanbeveling en het moment dat deze weer actief wordt op dezelfde locatie. Het blijkt ook relatief vaak voor te komen dat de AID minder dan 100 seconden nadat deze is "uit" is gegaan weer op "aan" wordt gezet. Ook hier is de mediaan ca 200 seconden. In de figuur is het verschil te zien tussen kortdurende AID pauzes (tot maximaal ca een half uur), langere pauzes (vanaf ca 6 uur) en zelfs een kleine component die correspondeert met een 24 uurs ritme.



Figuur 8: *Cumulatieve verdeling van duur van de pauze periodes tussen AID intervallen (data: 37 baanvakken op de A1L, januari 2016)*

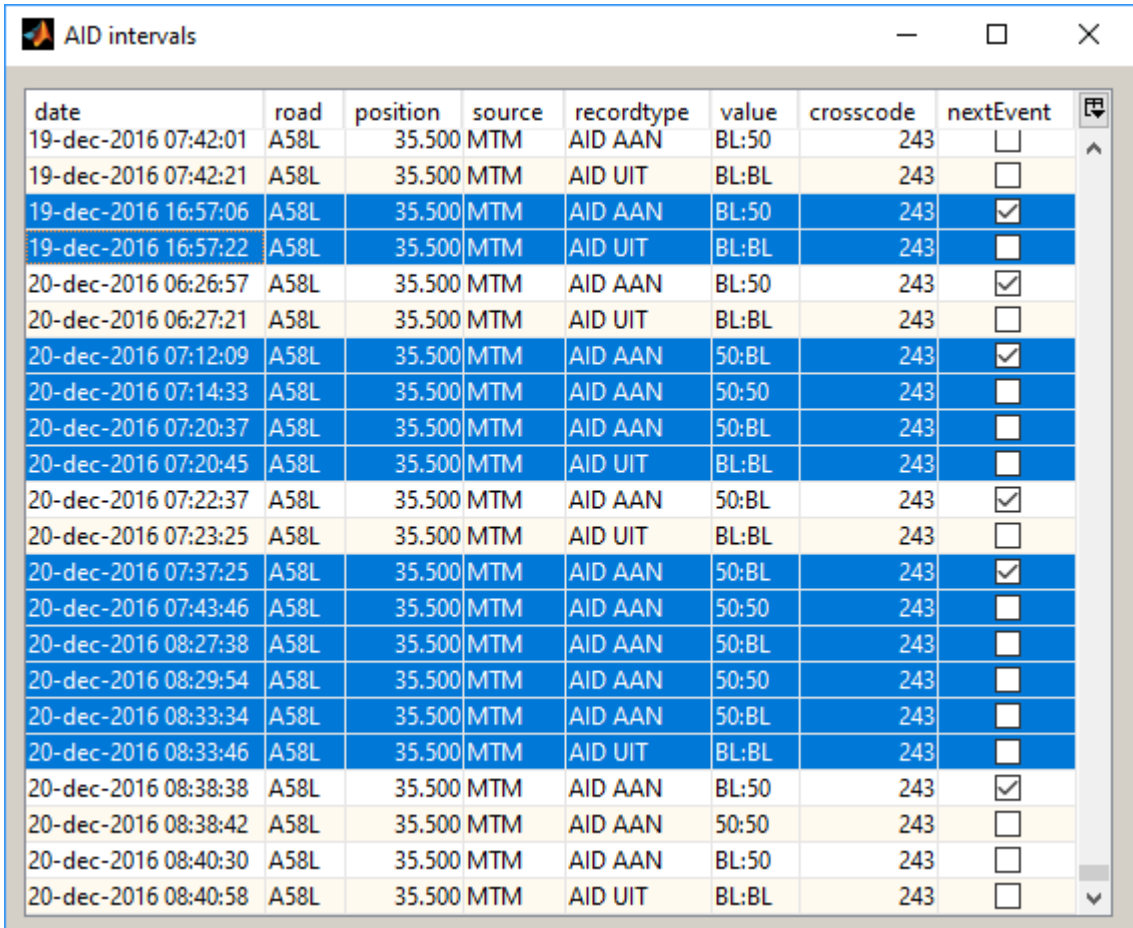
6.3 Visualisatie van de AID status

6.3.1 AID intervallen

Na interpretatie van de MTM logfiles zijn per methode en per locatie de AID intervallen berekend. Een AID-interval wordt gekenmerkt door:

- de locatie;
- het begintijdstip;
- het eindtijdstip.

Binnen MTM komen parallelle baanvakken voor. Deze kunnen onafhankelijk van elkaar een AID status krijgen. Om deze status vergelijkbaar te maken met de AID status binnen het FCD systeem worden ze samengevoegd tot een enkele status (zie Figuur 9).

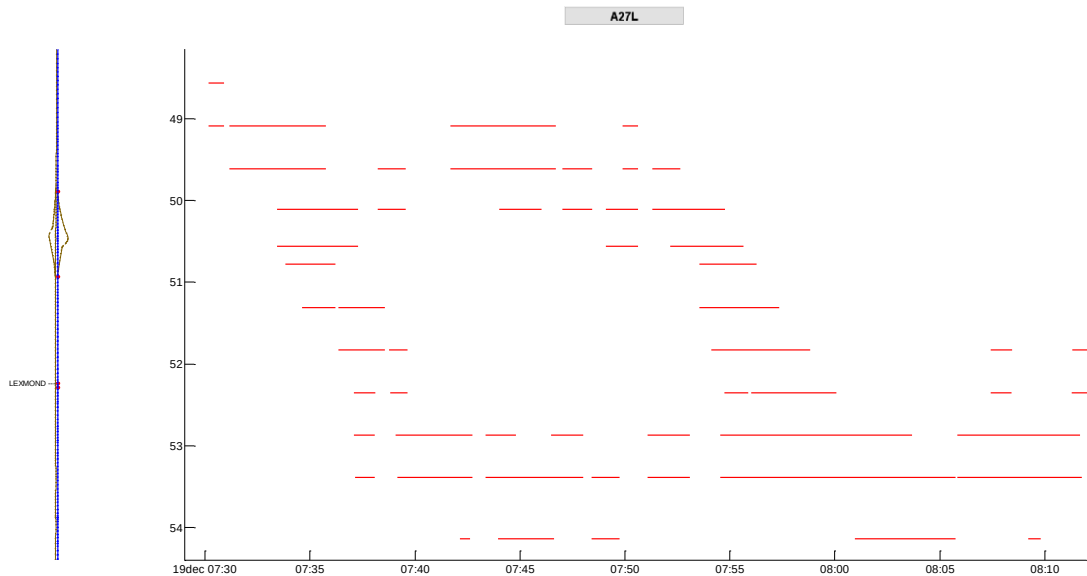


date	road	position	source	recordtype	value	crosscode	nextEvent
19-dec-2016 07:42:01	A58L	35.500	MTM	AID AAN	BL:50	243	☐
19-dec-2016 07:42:21	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐
19-dec-2016 16:57:06	A58L	35.500	MTM	AID AAN	BL:50	243	☒
19-dec-2016 16:57:22	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐
20-dec-2016 06:26:57	A58L	35.500	MTM	AID AAN	BL:50	243	☒
20-dec-2016 06:27:21	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐
20-dec-2016 07:12:09	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:BL	243	☒
20-dec-2016 07:14:33	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:50	243	☐
20-dec-2016 07:20:37	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:BL	243	☐
20-dec-2016 07:20:45	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐
20-dec-2016 07:22:37	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:BL	243	☒
20-dec-2016 07:23:25	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐
20-dec-2016 07:37:25	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:BL	243	☒
20-dec-2016 07:43:46	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:50	243	☐
20-dec-2016 08:27:38	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:BL	243	☐
20-dec-2016 08:29:54	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:50	243	☐
20-dec-2016 08:33:34	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:BL	243	☐
20-dec-2016 08:33:46	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐
20-dec-2016 08:38:38	A58L	35.500	MTM	AID AAN	BL:50	243	☒
20-dec-2016 08:38:42	A58L	35.500	MTM	AID AAN	50:50	243	☐
20-dec-2016 08:40:30	A58L	35.500	MTM	AID AAN	BL:50	243	☐
20-dec-2016 08:40:58	A58L	35.500	MTM	AID UIT	BL:BL	243	☐

Figuur 9: Illustratie van de logica waarmee AID intervallen worden bepaald uit het MTM log. De records worden eerst gesorteerd op basis van weg, positie, bronsysteem en datum. Vervolgens worden groepen geïdentificeerd die starten met "AID AAN" en "AID UIT" (zie blauwe arcering). Bij MTM wordt deze logica gecompliceerd door het de aanwezigheid van parallelle baanvakken waardoor er meerdere AID Aan records achter elkaar kunnen voorkomen.

6.3.2 Visualisatie

De AID intervallen kunnen samen in één figuur worden getoond door middel van lijnstukken. Op de x-as wordt dan de tijd geplot, de hm-positie staat op de y-as (in km). De rijrichting loopt van beneden naar boven. Aan het figuur is een zoom functie toegevoegd die niet alleen inzoomen mogelijk maakt, maar daarbij ook de tijdstempels bijwerkt en in zoomt op de thematische wegenkaart ter linkerzijde van de grafiek.



Figuur 10: Visualisatie van de MTM AID intervallen.

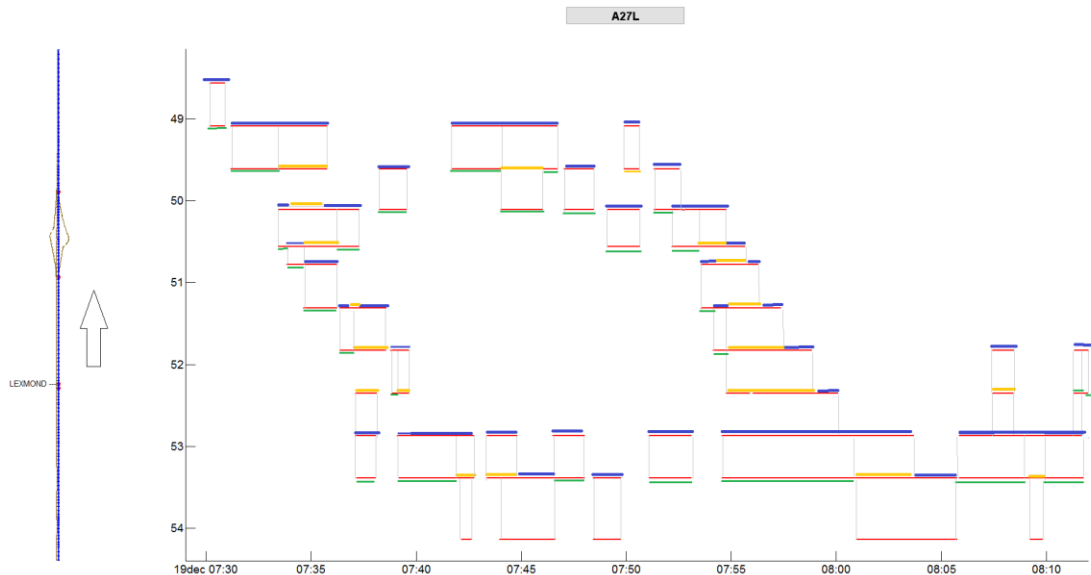
6.3.3 Analyse aan de hand van de visualisatie

Figuur 10 laat de AID status zien per baanvak dat begint op de positie die is aangegeven op de y-as. Een baanvak krijgt de AID status "aan" indien tenminste één van de aangesloten meetraaien deze status heeft. We gaan nu na in hoeverre het mogelijk is om ook de AID status van de onderliggende meetraaien af te leiden. Dergelijke informatie is bijvoorbeeld interessant als we de tijd-ruimte contour van een file nauwkeuriger willen vaststellen dan de granulariteit van de baanvak indeling toestaat.

Daarbij gaan we als volgt te werk (zie Figuur 11):

- Door herhaaldelijk in en uitzoomen gaan we na of twee naburige baanvakken in dezelfde seconde in- of uitschakelen;
- In deze gevallen tekenen we een verticale grijze hulplijn en gaan we uit van een gedeelde oorzaak;
- Vervolgens arcen we alle intervallen met AID "aan" die niet worden afgedekt door een direct bovenstrooms baanvak met AID "aan" met een groene lijn. Van deze interval-locatie combinaties weten we zeker dat de AID status van de bijbehorende meetraai "uit" moet zijn geweest, want anders zou ook het bovenstroomse baanvak de AID status "aan" hebben gehad;

- Op analoge wijze arceren we alle intervallen met AID "aan" die niet benedenstrooms zijn afgedekt met een blauwe lijn. Van deze intervallocatie combinaties weten we zeker dat de bijbehorende meetraai de AID status "aan" heeft gehad;
- Ook alle intervallen die direct benedenstrooms van groen gearceerd intervallen dienen logischerwijs als "actief" te worden aangemerkt en worden blauw gearceerd;
- Alle lijnstukken die nu nog niet in eerder werden gearceerd arceren we met een oranje lijn. Dit geeft aan dat de AID status van de bijbehorende meetraaien niet met zekerheid is af te leiden uit de MTM logging.

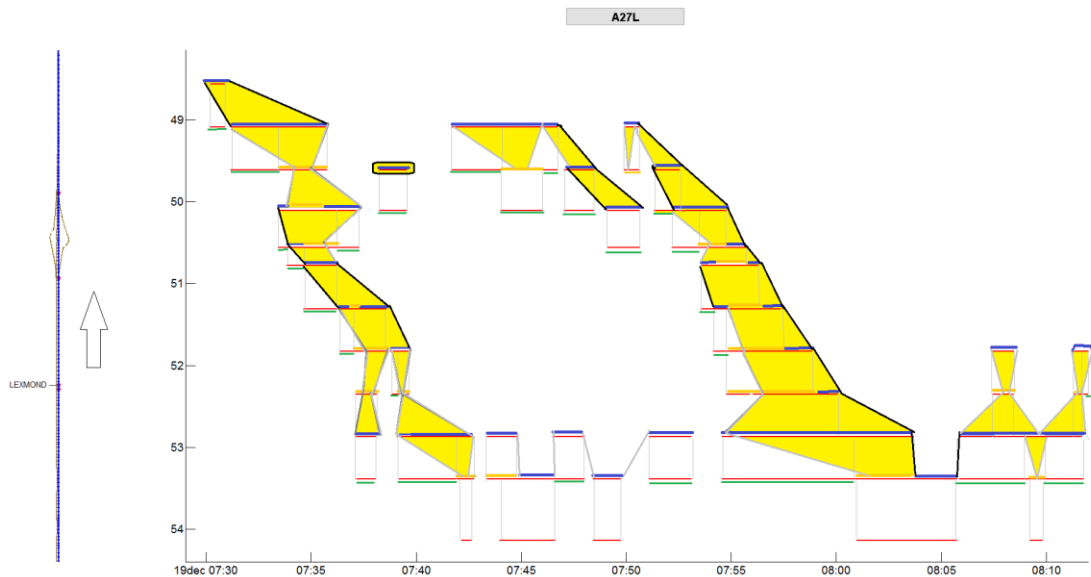


Figuur 11: Afleiding van de meetraai AID status uit de baanvak AID status. Blauw: zeker "aan". Groen: zeker "uit". Oranje: niet met zekerheid te bepalen.

Zoals in de figuur is te zien kan de meetraai status voor een groot deel worden afgeleid uit de baanvak status. Uiteraard is de meetraai status een subset van de baanvak status. Ruwweg 1/3 deel van de tijd dat een baanvak de AID status "aan" heeft, geldt dit ook met zekerheid voor de meetraai status met dezelfde locatie. Voor ruwweg 1/3 deel van de tijd geldt het omgekeerde.

Voor het resterende deel van de tijd is de meetraai status niet afleidbaar. Veel van deze intervallen maken deel uit van het "interieur" van een gebied met AID "aan". Op basis hiervan mag worden verondersteld dat de bijbehorende status vooral "aan" moet zijn geweest.

Als we de eerste en laatste momenten waarvoor een meetraai de AID status "aan" beschouwen als de begrenzingen van een filecontour dan kunnen we met een bepaalde fouten marge een filecontour tekenen (zie Figuur 12).



Figuur 12: Filecontour afgeleid uit de AID status van meetraaien

6.4 Hoofdpunten

- Na controle zijn de geen inconsistenties gebleken in de MTM logfiles en lijken deze files ook volledig te zijn.
- De cumulatieve verdeling van de duur tussen het ontstaan en eindigen van een AID conditie ziet er plausibele uit. De mediane duur van en deze periodes is circa 200 seconden.
- Ook de mediane duur tussen twee AID periodes bedraagt ongeveer 200 seconden.
- De visualisatie van de AID status van baanvakken als functie van tijd en plaats is een krachtig hulpmiddel in de analyse.
- De AID status van individuele meetraaien is niet gelogd maar kan voor een groot deel, maar niet volledig, worden afgeleid uit het tijd weg diagram van de AID status van de baanvakken.

7 Automatische classificering van congestietypes

7.1 Achtergrond

De MTM data-inwinning is gebonden aan vaste locaties die circa 500 meter uiteen liggen terwijl FCD data kunnen worden ingewonnen met een resolutie van typisch 50 meter. Dit lijkt een voordeel. Ongeacht de manier van data-inwinning zal de informatie verstrekking in de te beoordelen situatie nog steeds op vaste locaties plaatsvinden. In dit hoofdstuk gaan we na wat hiervan de consequenties zijn. Daarbij onderscheiden we verschillende congestietypes.

7.2 Files en incidenten

De primaire taak van signalering is om aankomend verkeer te waarschuwen voor langzaam rijdend of stilstaand verkeer. Hierdoor krijgen bestuurders meer tijd om te reageren en neemt de verkeersveiligheid sterk toe.

Langzaam rijdend verkeer kan verschillende oorzaken hebben:

- *Filevorming*. De verkeersvraag ter plekke overtreft de verwerkingscapaciteit ter plekke waardoor een wachtrij ontstaat. Vaak, maar niet altijd, is een tijdelijk verminderde capaciteit hiervan de oorzaak. De aanwezigheid van een file veroorzaakt zelf overigens ook een capaciteitsval.
- *Schokgolven*. Deze kunnen zich ontwikkelen in een groep van elkaar volgende voertuigen, ook wel platoon genoemd. Indien in een platoon te korte volgtijden worden aangehouden waarbij de gemiddelde volgtijd de gemiddelde reactietijd benadert treedt instabiliteit op. Een remreactie van de koploper wordt in deze omstandigheden versterkt naar achteren doorgegeven. De volgers moeten in toenemende mate heftiger afremmen. Hierbij kan het laatste voertuig zelfs geheel tot stilstand komen. In extreme omstandigheden ontstaat een aanrijding.
- *Extreme lokale verkeerscondities*. In dit geval worden lage snelheden afgedwongen door slecht zicht, gladheid, een obstakel, of andere bijzondere lokale omstandigheden.

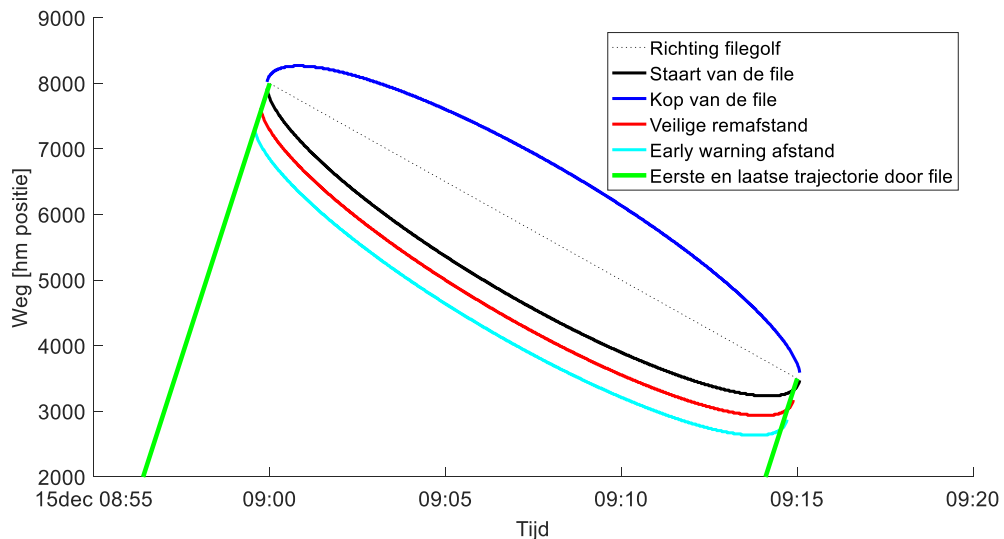
We duiden bovenstaande condities aan als files en incidenten. Signalering moet ongeacht de oorzaak van het langzaam rijdende verkeer adequaat werken.

Van de drie genoemde oorzaken komt filevorming veruit het vaakste voor. Een file heeft een benedenstrooms einde dat als "kop" wordt aangeduid en een bovenstrooms einde dat als "staart" wordt aangeduid. Deze begrippen zijn soms verwarrend omdat de staart van de file voor de weggebruiker juist als het begin van de file wordt beschouwd en omdat een file zich door aangroeiing doorgaans tegen de richting van het verkeer in, dus met de staart naar voren.

Als de file wordt veroorzaakt door een duidelijke lokale oorzaak, zoals een wegversmalling of ongeval, dan blijft de kop van een file steeds op dezelfde plaats. Bij een capaciteitsfile zoals die typisch in de spits voorkomt verplaatst ook de kop van de file zich tegen de richting van het verkeer in.

7.3 Ideale alertering

In het ideale geval wordt de bestuurder gewaarschuwd wanneer een bepaalde afstand tot een file of incident is bereikt, eventueel voorafgegaan door een mildere waarschuwing enkele momenten daarvoor. Figuur 13 toont een tijd-weg diagram met een ingetekende filegolf. De rode lijn geeft in dit figuur aan op welk moment nog veilig afgeremd kan worden. Deze lijn geeft de plaats als functie van de tijd aan waarop de bestuurder in het ideale geval de laatste waarschuwing zou moeten ontvangen.



Figuur 13: Schematisch voorbeeld van een filegolf

Gegeven de aanwezigheid van een file of incident is de ideale situatie dat ieder voertuig dat het congestiegebied kruist op het goede moment gewaarschuwd wordt. Met het oog op de verkeersveiligheid mag dit niet te laat zijn, maar te vroeg waarschuwen werkt negatief in de hand en is daarom ook contraproductief.

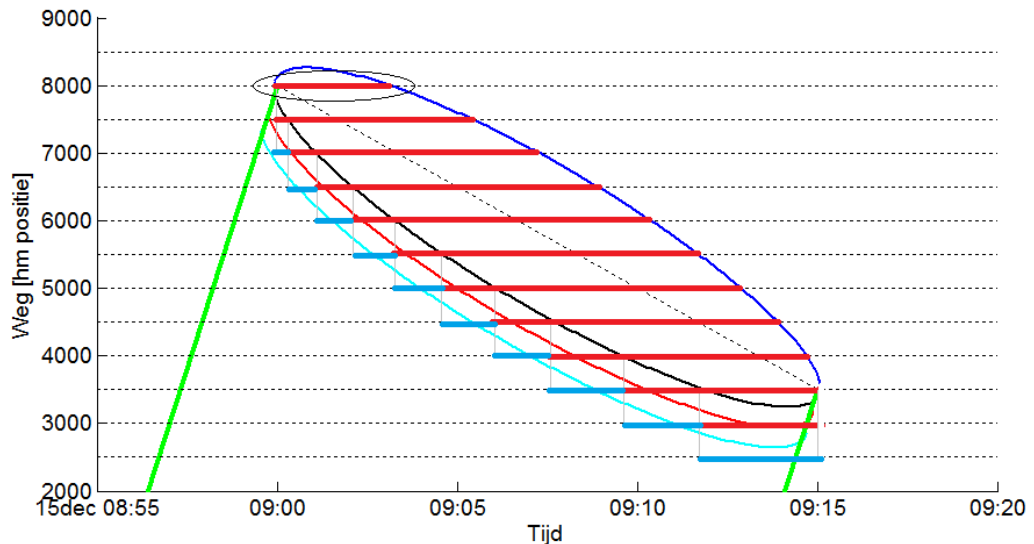
7.4 Alertering in praktijk: signalering

Signalering maakt gebruik van portalen op vaste locaties om bestuurders te waarschuwen voor congestie benedenstrooms. De onderlinge afstand tussen portalen is typisch 500 meter. Weggebruikers die een file of incident in dreigen te rijden moeten voordat de veilige remafstand is bereikt gewaarschuwd worden.

Binnen MTM wordt dit bewerkstelligd door de filebeveiliging van een baanvak aan te zetten zodra op tenminste één van de begrenzende meetraaien langzaam verkeer wordt waargenomen. Tegelijkertijd wordt op het direct bovenstroomse portaal de boodschap "70" getoond (zie Figuur 14).

Omdat de onderlinge afstand van portalen groter is dan de veilige remweg werkt deze strategie goed voor congestie stationair is of niet te snel tegen de rijrichting in beweegt.

Indien congestie ontstaat tussen twee meetraaien in is een adequate waarschuwing van het bovenstroomse verkeer niet gegarandeerd. De congestie wordt dan pas gedetecteerd als deze de bovenstroomse (of minder voor de hand liggende de benedenstroomse) meetraai bereikt. Iets vergelijkbaars gebeurt er indien de congestie zich met een hoge snelheid tegen de richting van het verkeer in beweegt.



Figuur 14: Meetraaien en portalen liggen op vaste locaties (zie stippellijnen). De filebeveiliging schakelt in (rode horizontale lijn) op het moment dat bij de beneden- of bovenstroomse meetraai van het baanvak congestie wordt gedetecteerd. Het bovenstroomse portaal toont in dit geval de boodschap "70" (blauwe horizontale lijn).

7.5 Relatie inwintechnieken en congestietype

Zoals hierboven besproken zijn er vanuit het oogpunt van filebeveiliging twee situaties te onderscheiden.

7.5.1 Filegolven

Een congestiegebied breidt zich door aangroeiing naar achteren toe uit (zoals in Figuur 14). Dit betekent dat de congestie voor het eerste overlapt met het baanvak aan de benedenstroomse zijde. Als, zoals bij MTM, op deze locatie (bijna) 100% van het verkeer wordt gedetecteerd kan de beeldstand voor het baanvak nagenoeg instantaan worden aangepast. Tegelijkertijd wordt op het bovenstroomse baanvak een inleidende waarschuwing geplaatst.

Een belangrijke conclusie die hieruit mag worden getrokken is dat er voor dit type congestie er een consistente relatie bestaat tussen de AID status en de aanwezigheid van congestie op het baanvak.

FCD data zijn minder precies aan een locatie te koppelen en vormen evenmin een 100% steekproef. Daarom is de verwachting dat in het geval van FCD het moment dat een filegolf het baanvak bereikt minder precies kan worden bepaald.

7.5.2 Incidenten

In het interieur van een baanvak treedt een incident op. Dit incident wordt pas gedetecteerd indien er op één van de begrenzendende meetraaien van het baanvak langzaam verkeer wordt gedetecteerd. Dit zal in de meeste gevallen de bovenstroomse meetraai zijn omdat het incident vooral het bovenstroomse verkeer beïnvloed. Indien het incident echter dicht bij de benedenstroomse meetraai plaatsvindt kan het uiteraard gebeuren dat ook bij de benedenstroomse meetraai langzaam verkeer wordt waargenomen omdat de voertuigen die zich losmaken uit het incident daar nog onvoldoende snelheid hebben ontwikkeld.

De bijbehorende gevolgtrekking is dat MTM dit type incidenten met enige vertraging zal detecteren.

In tegenstelling tot MTM kunnen snelheidsafwijkingen in het interieur van een baanvak met FCD data wel worden gedetecteerd. Het kan daarom heel goed zijn dat deze detectie via FCD data sneller gebeurt dan via MTM data.

7.6 Automatische classificatie van congestiecondities

7.6.1 Filegolven versus incidenten

In het voorgaand is betoogd dat in het geval van filegolven die het baanvak benedenstrooms bereiken de MTM AID status de beste referentie is die men zich zou kunnen wensen. Voor incidenten die in het interieur van een baanvak ontstaan geldt dit echter niet.

Vanwege deze reden willen we ook in de evaluatie onderscheid tussen deze twee situaties kunnen maken. Voor dit doel ontwerpen we een automatische classificatiemethode die op het volgende neerkomt:

- Identificeer alle MTM intervallen met een AID status;
- Identificeer binnen deze set alle unieke posities en sorteer deze;
- Bepaal voor elke positie de eerstvolgende benedenstroomse positie die minder dan 700 meter verder ligt ;
- Ga voor elk AID event na of het *begintijdstip* onderdeel is van een direct benedenstroom AID event plus of min 5 seconden;
- Als dit het geval is stel dan het AIDtype gelijk aan "filegolf";
- Als dit niet het geval is, en er is wel een geldige benedenstroomse raai, zet dan het AIDtype gelijk aan "incident";
- In alle andere gevallen krijgt het AID type de waarde "unknown".

De marge van 5 seconden is aangehouden als foutmarge op tijdstempels die in de MTM logging kunnen voorkomen.

Op deze manier kunnen alle MTM events uit de studieperiode worden geanalyseerd. De resultaten kunnen worden gepresenteerd als percentages van het aantal AID events, of als percentages van het aantal AID minuten:

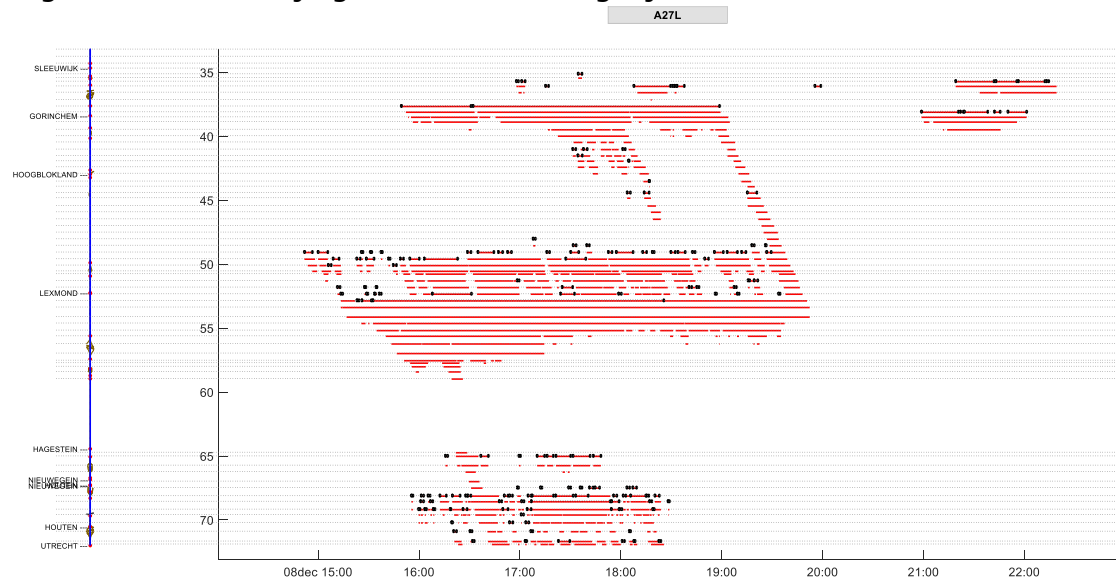
Traject	AID events				AID minuten			
	#AID events	%filegolf	%incident	%unkown	#AID minuten	%filegolf	%incident	%unkown
A1L	3.349	68.1%	26.7%	5.2%	1.312.717	79.3%	17.2%	3.5%
A27L	4.876	73.9%	24.6%	1.5%	3.193.582	83.9%	15.6%	0.5%
A58L	4.533	80.8%	16.5%	2.6%	1.642.780	90.6%	6.6%	2.7%

bron: displayAID_TypeStatistics

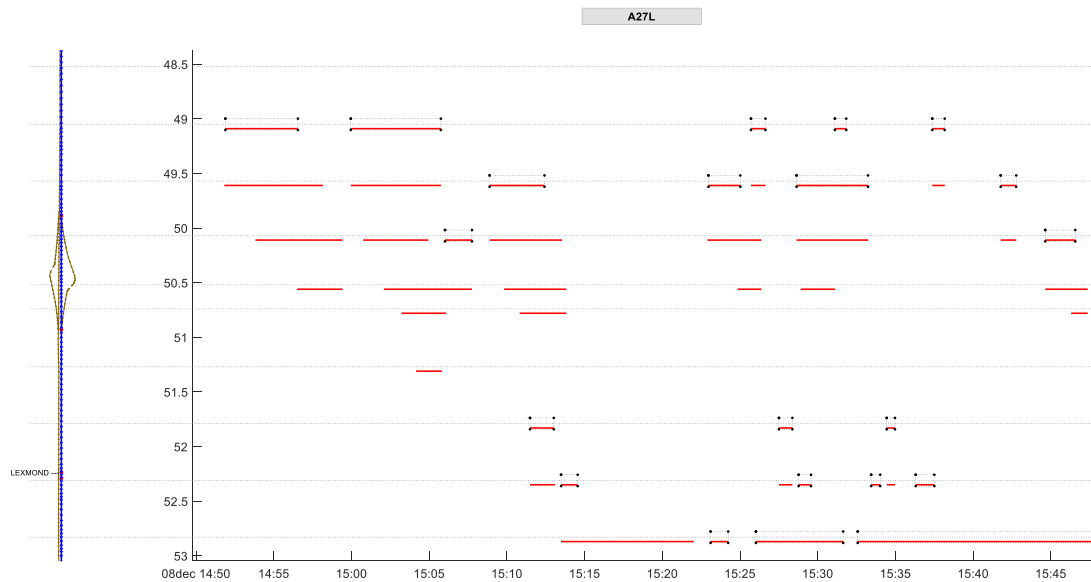
Noot: deze tabel gebruikt alle MTM locaties en rapporteert daarom meer AID events en AID minuten dan de tabellen in secties 8.3 en 8.4

In events gemeten bedraagt het percentage data aangemerkt kan worden als "filegolf" tussen de 68 en 81%. In AID minuten uitgedrukt liggen deze percentages tussen de 79 en 91%.

Als we deze events van het type "incident" visualiseren (zie Figuur 15) dan zien we in een oogopslag dat de events van dit type vaak een korte duur hebben. Wat ook interessant is aan de figuur is dat veel van dit type events voorkomen benedenstrooms van een file gebied, dus vooral bestuurders die net in de file gestaan hebben worden geconfronteerd met deze situatie. Op zich sluit dit goed aan bij de ervaringen die een ieder als bestuurder zelf ook kan maken; nadat de file is verlaten moet men extra alert zijn, er kunnen nog een aantal venijnige remacties nodig zijn.



Figuur 15: AID status als functie van tijd (horizontaal) en weg (oplopend van onder naar boven). Met behulp van de zwarte markers is aangegeven welke AID intervallen een startmoment hebben dat niet overlapt met een AID interval op het benedenstroomse baanvak.



Figuur 16: Detail weergave uit Figuur 15

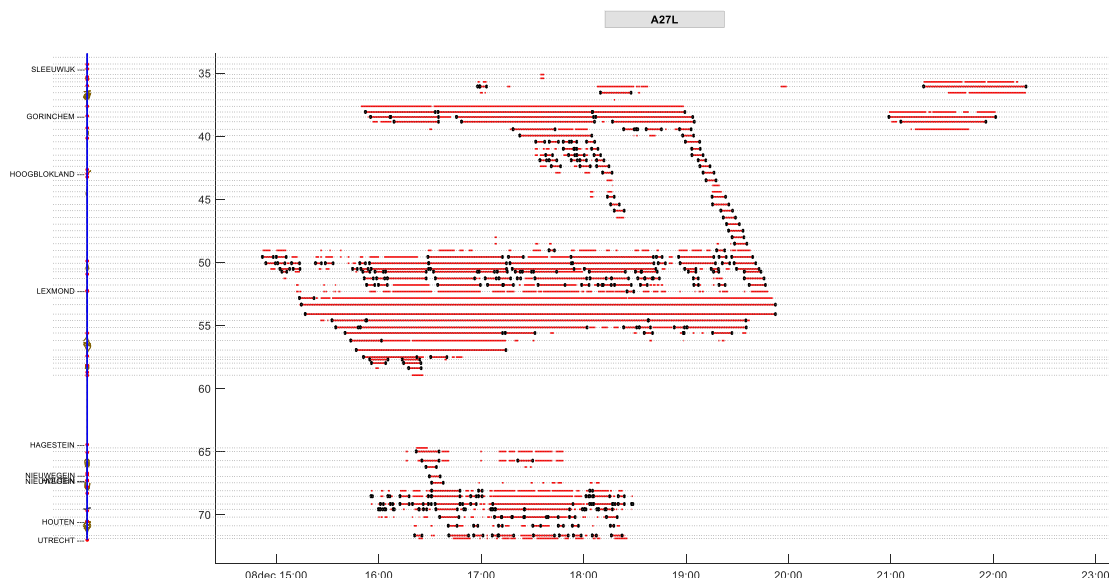
7.6.2 Doorlopende filegolven

Analoog aan de classificatie van AID events in incidenten en filegolven kunnen we ook nagaan of een filegolf terugslaat naar een bovenstrooms baanvak. In aanvulling op de stappen uit 7.6.1 checken we nu het volgende:

- Ga voor elk AID event na of er een direct bovenstrooms event is met een begintijdstip dat valt in het huidige AID interval plus of min 5 seconden;
- Als dit het geval is stel het attribuut "AIDnext" dan gelijk aan "filegolf" (filegolf loopt door);
- Als dit niet het geval is, stel dan het attribuut "AIDnext" gelijk aan "resolved" (filegolf lost op);
- Als er geen bovenstroomse meetraai op minder dan 700 meter afstand ligt, set dan het attribuut "AIDnext" gelijk aan "unknown".

Er zijn overigens minder AID events met de eigenschap AIDnext="filegolf" dan AID events met de eigenschap AIDtype="filegolf". Dit lijkt op het eerste gezicht tegenstrijdig maar is te verklaren doordat meerdere events van het type "filegolf" kunnen verwijzen naar eenzelfde benedenstroomse AID event (dat dan uiteraard het attribuut AIDnext="filegolf" heeft). Met andere woorden: de relatie tussen AID events met het AIDtype="filegolf" en AIDnext="filegolf" is niet 1 op 1, maar 1 op n.

Een MTM AID interval wordt geclassificeerd als "doorlopende filegolf" als zowel het attribuut AIDtype als AIDnext de waarde "filegolf" heeft.



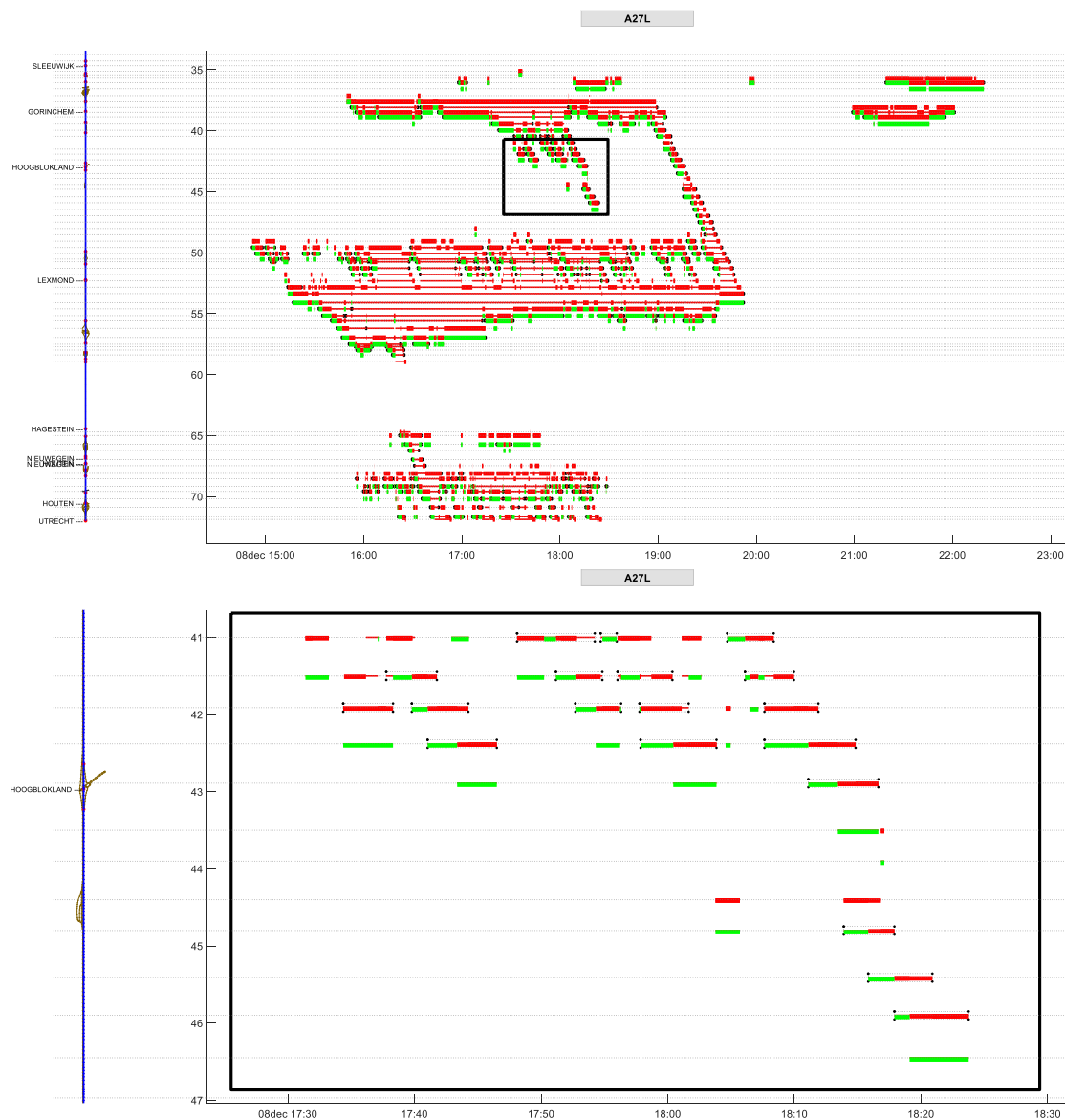
Figuur 17: Alle MTM AID intervallen die voldoen aan het criterium "doorlopende filegolf" zijn gemarkeerd met een zwart kader.

7.7 Automatische afleiding meetraai-status uit baanvak status

Een baanvak krijgt de status AID "aan" indien op de benedenstroomse of de bovenstroomse meetraai van het baanvak de AID status van de desbetreffende meetraai "aan" is. Een baanvak deelt zijn benedenstroomse meetraai met het benedenstroomse baanvak, en de bovenstroomse meetraai met het bovenstroomse baanvak.

De AID status van de meetraaien wordt niet apart gelogd, maar kan in veel gevallen (maar niet altijd) wel worden afgeleid uit de baanvakstatus van elkaar opvolgende meetraaien. De AID status van de meetraaien geeft een nauwkeuriger inzicht in de locatie van de congestie dan de AID status van baanvakken. Aan de hand van de AID status van meetraaien kan ook bepaald worden hoe lang een filegolf erover doet om een baanvak over te steken. Dit is weer bruikbaar vergelijkingsmateriaal voor de reactietijd. De AID status van meetraaien kan worden bepaald op basis van de volgende logica:

Aangetroffen combinatie van AID status van baanvakken			Toegestane combinaties voor AID status van meetraaien	
baanvak bovenstrooms	huidig baanvak	baanvak benedenstrooms	meetraai bovenstrooms	meetraai benedenstrooms
any	uit	any	uit	uit
uit	aan	uit	niet toegestaan	
uit	aan	aan	uit	aan
aan	aan	uit	aan	aan
aan	aan	aan	uit	aan
			aan	uit
			aan	aan



Figuur 18: AID status van meetraaien, afgeleid uit MTM status van baanvakken. Overview (boven) en detail (onder). Vette rode lijn: meetraai AID status= "aan". Vette groene lijn: meetraai AID status= "uit". Dunne rode lijn: AID status van meetraai is niet automatisch af te leiden.

DEEL 2

VERGELIJKING AID STATUS VAN FCD VARIANTEN EN MTM REFERENTIE

8 Verkennende vergelijking van FCD en MTM AID status

8.1 Varianten

Bij aanvang van het project was de bedoeling om de FCD methode iteratief te verbeteren en vervolgens met een finale versie een aantal weken proef te draaien. Planningstechnisch bleek dit uiteindelijk niet haalbaar en is voor een alternatieve aanpak gekozen, waarbij verschillende varianten van de FCD methode parallel draaien. Op deze manier kan de beslissing welke variant als "definitief" wordt bestempeld een aantal weken later worden genomen, zonder op dat moment voor het probleem te staan dat er geen tijd meer is om voldoende ervaringsdata te verzamelen.

Variant	Datum oplevering	Opmerkingen
FCD	17/11/2016	Oudste variant die tot (ten minste) ultimo 2016 in ongewijzigde vorm actief was. In deze variant zijn inzichten van na 17/11 <i>niet</i> verwerkt.
FCD-v5	2/12/16	Dit is een door evaluatie van de variant "FCD". Waarin de parameters zijn geoptimaliseerd.
FCD-v6	11/12/16	Bij een projectoverleg op 2 december is gebleken dat varianten "FCD" en "FCD-v5" zijn gebaseerd op aannames over MTM die niet geheel juist zijn. Variant "FCD-v6" corrigeert dit met een aangepast logica, maar gebruikt wel dezelfde parameters als variant "FCD-v5"
FCD-v2	11/12/16	Deze varianten komen wat betreft logica overeen met variant "FCD-v6", maar gebruiken alternatieve parameters.
FCD-v3	11/12/16	
FCD-v4	11/12/16	

In de evaluatie zal de aandacht vooral uitgaan naar de varianten 2, 3, 4 en 6. De resultaten van varianten "FCD" en variant 5 worden voor de volledigheid getoond. Deze varianten worden echter niet als kansrijk beschouwd.

8.2 Locatie-overlap

Om een evaluatie uit te kunnen voeren dienen er locaties beschikbaar te zijn waarover zowel de FCD als de MTM rapporteren. Alle andere locaties worden buiten beschouwing gelaten. De onderstaande tabel toont per variant en traject het aantal overlappende posities.

Tabel 7: Vaststelling van de baanvakverzameling voor verder analyse

Traject	Variant	Aantal baanvakken in overlap	Variantpositie niet in referentie	Referentiepositie niet in variant
A1L	FCD	27	41.990	85.120 85.600 86.130 87.315 87.770 88.490 90.300 90.900
	FCD-v2	32	41.990	46.960 90.300 90.900
	FCD-v3	32	41.990 84.610	46.960 90.300 90.900
	FCD-v4	32	41.990	46.960 90.300 90.900
	FCD-v5	27	41.990	85.120 85.600 86.130 87.315 87.770 88.490 90.300 90.900
	FCD-v6	32	41.990	46.960 90.300 90.900
A27L	FCD	62	77.310 79.505	32.150 32.580 33.180 33.740 34.275 34.665 35.110 35.410
	FCD-v2			
	FCD-v3			
	FCD-v4			
	FCD-v5			
	FCD-v6			
A58L	FCD	31	13.513 13.785 14.550	34.100 34.727 34.925 35.500
	FCD-v2	32	13.513 13.785 14.550	34.727 34.925 35.500
	FCD-v3			
	FCD-v4			
	FCD-v5	31	13.513 13.785 14.550	34.100 34.727 34.925 35.500
	FCD-v6	32	13.513 13.785 14.550	34.727 34.925 35.500

bron: printLocationsetMetrics

Uit de tabel volgt:

- De locatieset van FCD en FCD-v5 komt altijd overeen;
- De locatieset van FCD-v2, FCD-v4 en FCD-v6 komt overeen;
- De locatieset van FCD-v3 komt overeen met die van FCD-v2, FCD-v4 en FCD-v6, behalve bij de A1L waar FCD-v3 één locatie extra bevat. Deze extra locatie komt in de referentie locatieset echter niet voor, zodat variant 3 op dezelfde locaties wordt geëvalueerd als varianten 2, 4 en 6.

Effectief zijn er per traject dus twee locatieverzamelingen in gebruik. De varianten waar de aandacht vooral naar uitgaat (2, 3, 4 en 6) hebben in alle gevallen een identiek overlap van rapportage locaties zodat dit geen belemmering voor het vergelijken van resultaten is. De methodes FCD en FCD-v5 hebben voor twee trajecten een overlap dat afwijkend is van dat van varianten 2, 3, 4 en 6, maar komen onderling wel overeen.

8.3 Vergelijking AID status FCD en MTM op basis van overlap

In een eerste "ruwe" vergelijking van de FCD en MTM uitkomsten kijken we enkel naar de geaccumuleerde duur van het overlap van de intervallen zoals geïndiceerd door FCD en MTM. Deze aanpak waardeert iedere vorm van overlap met hetzelfde gewicht en doet geen poging tot een verkeerskundige interpretatie of benadering vanuit het perspectief van een bestuurder. Zo wordt "te vroeg uit" wordt in de praktijk vermoedelijk milder beoordeeld dan "te laat aan" maar in de huidige aanpak niet. Daar staat tegenover dat de huidige aanpak volledig objectief is. In hoofdstuk 10 wordt overigens uitdrukkelijk ingezoomd op de reactietijd en andere deelaspecten.

8.3.1 Uitkomsten matrix

Op elk ieder willekeurig tijdstip kunnen de methodes FCD en MTM de AID status inschatten als "aan" of "uit". Er zijn daarom 4 mogelijke uitkomsten voor de combinatie van uitkomsten van FCD en MTM.

Bij het toekennen van predicaten als "terecht" of "onterecht" behandelen we de MTM AID status alsof dit de juiste AID status is. Met andere woorden: we veronderstellen dat de MTM AID status aangeeft of er al dan niet congestie op een baanvak aanwezig is. Uiteraard is hier het een en ander op af te dingen. Er kan bijvoorbeeld congestie op een baanvak aanwezig zijn zonder dat de begrenzendende meetraaien van het baanvak deze detecteren. Dit gezegd hebbende, kunnen de uitkomsten voor ieder seconde en locatie in de volgende matrix geplaatst worden:

uitkomst FCD uitkomst MTM	FCD "uit"	FCD "aan"
MTM "uit"	terecht uit	onterecht aan
MTM "aan"	onterecht uit	terecht aan

Als in handboeken gesproken wordt van een vals alarmkans (of false positive) dan wordt bedoeld op de op de proportie:

$$\text{prob[False Positive]} = \text{onterecht aan} / (\text{terecht uit} + \text{onterecht aan})$$

De noemer in deze uitdrukking is doorgaans groot (typisch 97% van de tijd) en daarom resulteert al snel een kleine vals alarm kans. Een meer informatieve maat is in dit geval de *conditionele vals alarm kans*:

$$\text{prob[False Positive]} = \text{onterecht aan} / (\text{terecht aan} + \text{onterecht aan})$$

Dit is de kans op een onterecht aan gegeven dat de FCD uitkomst "aan" was. De kans op een false negative berekend als de proportie:

$$\text{prob[False Negative]} = \text{onterecht uit} / (\text{onterecht uit} + \text{terecht aan})$$

Hier geldt het omgekeerde. De noemer is doorgaans klein, slechts enkele procenten van de tijd, dus zelfs een kleine proportie "onterecht uit" resulteert in een optisch hoge waarde voor de kans op false negatives.

8.3.2 Uitkomst interval overlap analyse

Stel de gehele duur van het experiment vermenigvuldigd met het aantal baanvakken waarvoor gegevens beschikbaar zijn op 100%. Dan kunnen we voor ieder traject en methodevariant uitrekenen welk percentage van de tijd elk van de vier mogelijke toestanden is opgetreden (zie Tabel 8).

In het ideale geval valt 0% van de tijd in de categorie "onterecht uit" of "onterecht aan". Als de verschillende varianten alleen op deze twee eigenschappen beoordeeld mogen worden dan is de minimalisatie van de gewogen som van deze twee proporties een mogelijke aanpak voor de selectie van de "beste" variant. De weegfactoren drukken dan het belang uit dat het minimaliseren van de duur "onterecht uit" heeft ten opzichte van het minimaliseren van de duur "onterecht aan".

Als we bij wijze van voorbeeld deze aspecten beide even zwaar laten wegen dan scoort bij het traject A1L variant FCD-v3 met $0.24\% + 0.89\% = 1.13\%$ het beste. Bij de A27L scoort FCD-v3 eveneens het beste met een totaal foutpercentage van 0.86%. Bij de A58L delen de varianten FCD-v4 en FCD-v6 met een totaal foutpercentage van 0.88% de eerste plaats.

Tabel 8: Analyse van het interval-overlap van FCD en MTM AID intervallen

Traject	Variant	Aantal baanvakken	Uur	Proportie van de tijd			
				MTM uit		MTM aan	
				FCD uit	FCD aan	FCD uit	FCD aan
A1L	FCD	27	9165	95.13%	1.67%	0.31%	2.90%
	FCD-v2	32	10809	96.82%	0.11%	1.17%	1.90%
	FCD-v3	32	10809	96.69%	0.24%	0.89%	2.19%
	FCD-v4	32	10809	96.74%	0.19%	0.96%	2.11%
	FCD-v5	27	9120	95.86%	0.92%	0.71%	2.51%
	FCD-v6	32	10809	96.77%	0.15%	1.05%	2.03%
A27L	FCD	62	21137	94.90%	1.02%	0.45%	3.63%
	FCD-v2	62	21080	95.82%	0.10%	0.95%	3.14%
	FCD-v3	62	21080	95.64%	0.28%	0.58%	3.51%
	FCD-v4	62	21080	95.69%	0.23%	0.70%	3.39%
	FCD-v5	62	21080	95.29%	0.62%	0.46%	3.62%
	FCD-v6	62	21080	95.72%	0.20%	0.83%	3.25%
A58L	FCD	31	10645	94.59%	1.55%	0.13%	3.73%
	FCD-v2	32	10810	95.78%	0.26%	0.96%	3.00%
	FCD-v3	32	10810	95.60%	0.44%	0.47%	3.49%
	FCD-v4	32	10810	95.71%	0.33%	0.55%	3.41%
	FCD-v5	31	10473	94.72%	1.36%	0.27%	3.66%
	FCD-v6	32	10810	95.80%	0.24%	0.64%	3.32%

bron: printOverlapAnalysis

In deze tabel is de kolom "onterecht aan" overschat omdat MTM niet alle snelheidsonderschrijdingen in het interieur van een baanvak niet waarneemt. Overschatting van de kolom "onterecht uit" zou niet aan de

orde mogen zijn zolang we erop vertrouwen dat MTM geen valse alarmen genereert.

8.3.3 Interpretatie van de uitkomsten

Deze getallen geven aan dat het mogelijk is om op basis van een FCD algoritme een AID status te genereren die meer dan 98.8% (A1L) of zelfs 99.1% (A27L, A58L) van de tijd overeenkomt met de AID status die MTM genereert. Op het eerste gezicht is dit een zeer goede correspondentie en ook de visuele inspectie (zie hoofdstuk 9) bevestigt dit beeld.

Zonder context zeggen deze getallen echter niet zo heel veel want ook de naïeve methode "altijd uit" heeft het 96 tot 97% van de tijd bij het rechte eind. Om iets meer gevoel te krijgen voor wat deze getallen betekenen zijn enkele experimenten uitgevoerd met de naïeve methode "lagXX", met XX=is een toe te passen vertragingstijd (zie Tabel 9). Deze methode repliceert de MTM referentie met een vertraging van 30, 45, 60 , etc seconden.

Tabel 9: Analyse van het interval-overlap van naïeve methodes "lagged_XX" en MTM AID intervallen

Traject	Variant	Aantal baan-vakken	Uur	Proportie van de tijd			
				MTM uit		MTM aan	
				lagged uit	lagged aan	lagged uit	lagged aan
A1L	lagged_30	27	9120	96.54%	0.24%	0.24%	2.98%
	lagged_45	27	9120	96.44%	0.34%	0.34%	2.88%
	lagged_60	27	9120	96.35%	0.43%	0.43%	2.79%
	lagged_90	27	9120	96.19%	0.58%	0.59%	2.64%
	lagged_120	27	9120	96.08%	0.70%	0.70%	2.52%
	lagged_150	27	9120	95.98%	0.80%	0.80%	2.42%
A27L	lagged_30	62	21081	95.74%	0.17%	0.17%	3.91%
	lagged_45	62	21081	95.67%	0.25%	0.25%	3.84%
	lagged_60	62	21081	95.60%	0.32%	0.32%	3.77%
	lagged_90	62	21082	95.49%	0.43%	0.43%	3.66%
	lagged_120	62	21082	95.41%	0.51%	0.51%	3.57%
	lagged_150	62	21083	95.34%	0.58%	0.58%	3.51%
A58L	lagged_30	31	10471	95.76%	0.32%	0.32%	3.61%
	lagged_45	31	10472	95.62%	0.46%	0.46%	3.47%
	lagged_60	31	10472	95.49%	0.59%	0.59%	3.34%
	lagged_90	31	10472	95.27%	0.80%	0.80%	3.12%
	lagged_120	31	10472	95.09%	0.99%	0.99%	2.94%
	lagged_150	31	10472	94.92%	1.15%	1.15%	2.77%

bron: printOverlapAnalysis

Omdat in deze methode de totale duur "aan" van de kandidaatmethode en referentie methode identiek is, geldt altijd dat de proportie "onterecht aan" gelijk is aan de proportie "onterecht uit". De bovengenoemde weegfactoren hebben dan ook geen invloed bij de beoordeling van deze naïeve varianten.

De vertragingen die de totale foutkansen van respectievelijk 1.13% (A1L), 0.86% (A27L) en 0.86% (A58L) optimaal reproduceren zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Vanwege de overschatting van de kolom "onterecht aan" in Tabel 8 moeten de hier genoemde vertragingen steeds als bovengrens worden beschouwd.

Tabel 10: *Geselecteerde naïeve methodes die de totale foutkansen van FCD varianten reproduceren*

Traject	Beste variant	Totale foutkansen (% van tijd)	Bovengrens voor de vertraging van de naïeve methode met vergelijkbare totale foutkansen (bijbehorende kans)
A1L	FCD-v3	1.13%	90 seconden (1.16%)
A27L	FCD-v3	0.86%	90 seconden (0.86%)
A58L	FCD-v4	0.88%	45 seconden (0.92%)

Deze getallen geven niet aan dat de FCD een bepaalde vertraging heeft ten opzichte van MTM, maar enkel en alleen dat de gelijkenis, gemeten met de indicator uit sectie 1.7 tussen MTM en FCD dezelfde is als de hier gepresenteerde naïeve methodes.

8.3.4 **Mogelijkheden voor verdere optimalisatie**

De proportie "Onterecht Aan" min de proportie "Onterecht Uit" is per definitie gelijk aan de proportie "FCD Aan" verminderd met de proportie "MTM Aan". Als dus gegeven is dat FCD 1% van de tijd langer resulteert in "aan" dan MTM dan is de best mogelijke uitkomst op dat moment een proportie "onterecht aan" van 1% en een proportie "onterecht uit" van 0%.

Hieruit blijkt dat als er op geaggregeerd nivo sprake is van een over- of onder rapportage dit resulteert in een ondergrens voor de foutkansen ter hoogte van de absolute waarde van deze over/onder rapportage. Hoewel het geen wiskundige zekerheid is, is het wel te verwachten een kleine aanpassing in modelparameters die leidt tot een kleinere onder- of overrapportage ook de totale foutkansen verkleint.

Als we met dit in gedachten kijken naar Tabel 8 dan valt op dat bij varianten 2,3,4, en 6 sprake is van een onderrapportage in de range 0.2% tot 0.6% (afhankelijk van het traject). Voor de varianten "FCD" en "FCD-v5" is juist sprake van aanzienlijke overrapportage, tot 1.4%.

De varianten 2, 3, 4 en 6 zijn dus mogelijk iets te verbeteren door het algoritme iets gevoeliger af te stellen. Hierdoor neemt de vals alarm kans weliswaar toe, maar de hoop is dat de kans op False Negatives nog sneller zal afnemen.

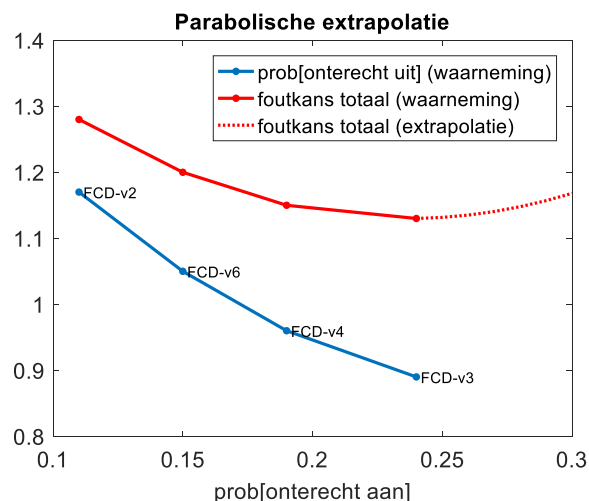
Bij de trajecten A1L en A27L valt niet alleen de onderrapportage in absolute zin op maar ook het feit dat de vals alarm kans (0.24% en 0.28%) een factor 2 tot 3 kleiner is dan de kans op false negatives (0.89% en 0.58%). Neem nu het volgende in aanmerking:

- Bij een correct opgezette methodiek zullen parameteraanpassingen die de kans op "onterecht aan" verkleinen onvermijdelijk de kans op "onterecht uit" vergroten. Met andere woorden: er is een trade-off tussen beide kansen;
- Des te dichterbij 0 deze kansen liggen, des te moeilijker het wordt deze kansen verder te verkleinen;

Het is daarom de moeite waard om te onderzoeken of er naast de varianten 2, 3, 4, 6 die op de parameterkeuze na aan elkaar gelijk zijn wellicht een betere variant bestaat. We doen dit door de curve "onterecht uit + onterecht aan" te extrapoleren op basis van een geschat polynoom van orde 2 en de datapunten zoals in de onderstaande tabel:

Variant	Prob "onterecht aan"	Prob "onterecht uit"	Totale foutkans
FCD-v2	0.11%	1.17%	1.28
FCD-v6	0.15%	1.05%	1.20
FCD-v4	0.19%	0.96%	1.15
FCD-v3	0.24%	0.89%	1.13

Het resultaat is getoond in Figuur 19 en laat in weerwil van het betoog hierboven zien dat op basis van de extrapolatie nauwelijks of geen verbeteringen zijn te verwachten door het toevoegen van nog een extra variant. De variant FCD-v3 zit weliswaar aan de rand, maar toch heel dicht bij het optimale punt van de gefitte parabool.



Figuur 19: Parabolische extrapolatie van de foutkans op basis van 4 datapunten (source: exploreTradeOff)

8.3.5 Conditionele kans op vals alarm en gemiste detectie

Tabel 8 toont de frequentieverdeling van alle(4) mogelijke uitkomsten in de uitkomsten matrix. Het overgrote deel van deze uitkomsten zijn van het type "terecht uit". De hoogte van dit percentage wordt echter nauwelijks beïnvloed door de toegepaste FCD variant. Bij de beoordeling van de overall effectiviteit zijn we vooral geïnteresseerd in het percentage van de AID

meldingen dat terecht is en het percentage door MTM gedetecteerde snelheidsonderschrijdingen dat ook door FCD gedetecteerd wordt. Deze getallen worden daarom nog eens apart getoond in Tabel 11.

Kandidaat methode

<i>AID</i>	De totale duur in seconden van alle FCD intervallen
<i>Conditioneel terecht overlap</i>	$100\% \times \frac{\text{De totale overlapduur van MTM en FCD intervallen}}{\text{De totale duur van alle FCD intervallen}}$
<i>Conditioneel vals alarm</i>	$100\% - \text{Conditioneel terecht overlap}$

Referentie (MTM)

<i>AID</i>	De totale duur in seconden van alle MTM intervallen
<i>detectie</i>	$100\% \times \frac{\text{De totale overlapduur van MTM en FCD intervallen}}{\text{De totale duur van alle MTM intervallen}}$
<i>non-detectie</i>	$100\% - \text{detectie}$

Tabel 11: *Conditionele overlapduur percentages*

Trj.	Variant	Kandidaatmethode			Referentie (MTM)		
		AID [sec]	terecht overlap [%]	vals alarm [%]	AID [sec]	detectie [%]	non detectie [%]
A1L	FCD	1.507.012	63.4%	36.6%	1.057.378	90.4%	9.6%
A1L	FCD-v2	781.455	94.6%	5.4%	1.196.207	61.8%	38.2%
A1L	FCD-v3	943.321	90.2%	9.8%	1.196.207	71.1%	28.9%
A1L	FCD-v4	894.533	91.8%	8.2%	1.196.207	68.6%	31.4%
A1L	FCD-v5	1.126.351	73.1%	26.9%	1.057.378	77.9%	22.1%
A1L	FCD-v6	847.615	93.0%	7.0%	1.196.207	65.9%	34.1%
027L	FCD	3.540.115	78.0%	22.0%	3.100.151	89.1%	10.9%
027L	FCD-v2	2.456.669	96.9%	3.1%	3.100.151	76.8%	23.2%
027L	FCD-v3	2.874.692	92.6%	7.4%	3.100.151	85.9%	14.1%
027L	FCD-v4	2.742.084	93.7%	6.3%	3.100.151	82.9%	17.1%
027L	FCD-v5	3.224.045	85.3%	14.7%	3.100.151	88.7%	11.3%
027L	FCD-v6	2.615.363	94.3%	5.7%	3.100.151	79.6%	20.4%
A58L	FCD	2.024.660	70.7%	29.3%	1.479.627	96.7%	3.3%
A58L	FCD-v2	1.270.961	92.0%	8.0%	1.541.074	75.9%	24.1%
A58L	FCD-v3	1.531.603	88.7%	11.3%	1.541.074	88.1%	11.9%
A58L	FCD-v4	1.457.509	91.2%	8.8%	1.541.074	86.2%	13.8%
A58L	FCD-v5	1.891.501	72.9%	27.1%	1.479.627	93.2%	6.8%
A58L	FCD-v6	1.385.782	93.2%	6.8%	1.541.074	83.9%	16.1%

bron: printOverlayMetrics

Bij deze resultaten valt het volgende op:

- De totale duur dat AID aan is bij de varianten 2, 3, 4 en 6 ligt duidelijk onder de totale duur dat MTM actief is;
- Bij traject A1L treden vrij hoge percentages "missing alarm" op. Dit heeft betrekking op de duur dat AID "aan" is en FCD "uit";
- Opvallend gunstig zijn de uitkomsten voor het traject A58L van varianten 3,4 en 6.

8.4 Analyse van AID interval overlap-optreden

8.4.1 Als percentage van het aantal AID intervallen

De overlapindicatoren zoals gepresenteerd in 8.3 gebruiken inschakelduur als analyse eenheid en geven geen inzicht in welk percentage van de FCD *intervallen* überhaupt overlapt met een MTM interval. We spreken van een overlap als er tenminste één tijdstip deel uitmaakt van zowel een MTM als een FCD interval.

De aanwezigheid van een overlap is nodig om een FCD en een MTM interval aan elkaar te koppelen zodat vervolgens een analyse van de in- en uitschakelvertraging gemaakt kan worden. Deze sectie verifieert in hoeverre deze één op één correspondentie ook daadwerkelijk optreedt.

Een FCD interval kan met geen, precies één, of meerder MTM intervallen overlappen en omgekeerd. De onderstaande tabel toont het aantal overlappen voor zowel de FCD varianten met MTM als omgekeerd. De kolommen #AID geven in deze tabel aan hoeveel AID intervallen

beschikbaar zijn. De kolommen "overlap" geven het percentage van AID intervallen aan dat 0, 1, 2 of meer malen overlapt met een MTM interval.

Tabel 12: Percentages overlap- optreden

Trj.	Variant	Kandidaat methode					Referentie methode (MTM)				
		# AID	overlap [%]				# AID	overlap [%]			
			0	1	2	>2		0	1	2	>2
A1L	FCD	7868	49.1	46.0	3.9	1.0	2784	6.7	66.1	14.6	12.6
A1L	FCD-v2	3524	3.0	90.9	5.8	0.4	3050	30.3	51.3	10.5	7.9
A1L	FCD-v3	3150	5.1	85.2	7.8	1.9	3050	23.9	64.7	6.8	4.7
A1L	FCD-v4	3642	5.7	86.8	6.3	1.1	3050	24.2	59.9	9.3	6.6
A1L	FCD-v5	4538	27.8	64.5	6.0	1.7	2784	17.5	62.6	12.0	7.9
A1L	FCD-v6	4477	7.1	87.7	4.8	0.4	3050	24.5	51.3	13.4	10.8
027L	FCD	18346	52.9	43.7	2.6	0.8	4573	8.7	52.6	18.1	20.6
027L	FCD-v2	6221	3.7	92.6	3.5	0.1	4573	27.4	47.5	13.2	11.9
027L	FCD-v3	4892	9.2	80.8	8.3	1.8	4573	20.1	63.9	10.5	5.6
027L	FCD-v4	6287	9.8	84.1	5.4	0.7	4573	20.7	55.9	13.0	10.4
027L	FCD-v5	8966	27.7	65.3	5.2	1.8	4573	12.7	56.6	15.9	14.8
027L	FCD-v6	8573	10.3	86.0	3.5	0.2	4573	20.9	47.5	14.4	17.1
A58L	FCD	5429	36.4	49.3	10.6	3.7	4172	2.7	88.2	7.3	1.7
A58L	FCD-v2	3674	3.2	85.7	10.7	0.5	4316	19.3	71.2	8.0	1.5
A58L	FCD-v3	3443	3.3	79.8	14.8	2.1	4316	12.2	83.2	4.3	0.3
A58L	FCD-v4	3772	4.4	82.7	12.0	0.9	4316	12.8	79.6	6.8	0.8
A58L	FCD-v5	4154	21.2	62.2	12.3	4.3	4172	8.5	82.6	7.9	1.0
A58L	FCD-v6	4238	6.0	84.7	8.8	0.5	4316	13.4	74.8	9.6	2.2

bron: printOverlayMetrics

De kolom "Kandidaatmethode/Overlap[%]/0" geeft aan welk percentage van de kandidaat intervallen in het geheel niet overlapt met een MTM interval. We rapporteren dit percentage als "vals alarm", maar in dit gerapporteerde cijfer zijn ook de incidenten meegerekend die wel door FCD maar niet door MTM werden gedetecteerd. Analooq geeft de kolom "Referentiemethode/Overlap[%]/0" aan welk percentage van de MTM AID intervallen door geen enkel FCD interval wordt overlapt.

Naar aanleiding van deze tabel merken we het volgende op:

- De methodes FCD en FCD-v5 kennen een relatief groot aantal inschakelingen. Deze worden in het onderstaande buiten beschouwing gelaten;
- Voor alle trajecten is de volgorde van het aantal inschakelingen van de overige varianten steeds FCD-v3 (minst aantal inschakelingen), FCD-v2, FCD-v 4, FCD-v 6 (hoogst aantal inschakelingen);
- Het relatief aantal inschakelingen van FCD en MTM verschilt voor dezelfde variant sterk tussen de verschillende trajecten. Voor variant 6 is deze verhouding bij traject A27L bijvoorbeeld 8573/4573 terwijl deze verhouding bij traject A58L 4238/4316 bedraagt.
- Het aantal vals alarmen voor varianten 2, 3, 4 en 6 is af te lezen in de kolom "#overlap=0" bij "kandidaat methode" en varieert van 3 tot 10%;
- Het aantal missende AID detecties is af te lezen in de kolom "#overlap=0" bij "referentiemethode" en varieert tussen 12% en 30%;
- Opvallend gunstig zijn de uitkomsten van variant 3 bij traject A58L: slechts 3.3% vals alarm bij 12% gemiste AID detecties;

- Opvallend ongunstig zijn de uitkomsten van variant 2 bij traject A1L: slechts 3% vals alarm maar 30% gemiste AID detecties;
- Bij traject A1L ligt het aantal inschakelingen van de FCD varianten 3 tot 40% hoger;

8.4.2 Als gewogen percentage van aantal AID intervallen

In tabel Tabel 12 zijn de percentages berekend door ieder interval even zwaar te wegen. Dit resulteert in optisch hoge percentages in de kolom "0% overlap". Het vermoeden bestaat dat dit met name veroorzaakt wordt door een groot aantal korte FCD AID intervallen die niet overlappen met MTM en omgekeerd. Dit wordt bevestigd door Tabel 13 waarin dezelfde berekening nogmaals is gemaakt, maar nu gewogen met de duur van de AID intervallen.

Toch resteren in deze tabel ook enkele hoge waarden. Zo valt bijvoorbeeld voor de A1L 9.2% van de tijd waarin MTM actief is in een interval dat op geen enkel moment wordt overlapt door een interval zoals gegenereerd door FCD-v3 (de voorkeursvariant op basis van analyses tot nu toe).

Tabel 13: Tijdgewogen percentages overlap- optreden

Trj.	Variant	Kandidaat methode					Referentie methode (MTM)				
		# AID	tijdgewogen overlap [%]				# AID	tijdgewogen overlap [%]			
			0	1	2	>2		0	1	2	>2
A1L	FCD	7868	16.8	49.0	13.8	20.4	2784	1.2	58.3	11.4	29.1
A1L	FCD-v2	3524	0.5	88.3	10.6	0.6	3050	11.4	41.3	16.0	31.2
A1L	FCD-v3	3150	0.9	72.3	15.4	11.4	3050	9.2	57.4	13.5	19.8
A1L	FCD-v4	3642	1.0	78.4	14.5	6.1	3050	9.6	50.6	13.5	26.4
A1L	FCD-v5	4538	6.5	57.7	18.5	17.3	2784	7.8	57.1	12.2	22.9
A1L	FCD-v6	4477	1.1	84.3	11.7	2.8	3050	9.5	40.1	14.0	36.4
027L	FCD	18346	14.3	65.6	11.4	8.7	4573	1.0	40.3	15.2	43.5
027L	FCD-v2	6221	0.8	95.0	3.7	0.5	4573	5.1	33.4	18.8	42.8
027L	FCD-v3	4892	1.4	76.1	13.8	8.7	4573	3.8	57.5	17.5	21.2
027L	FCD-v4	6287	1.6	85.2	9.9	3.3	4573	3.8	43.7	17.3	35.2
027L	FCD-v5	8966	5.4	66.8	14.7	13.1	4573	1.7	49.2	13.5	35.6
027L	FCD-v6	8573	1.7	90.3	6.8	1.2	4573	3.9	33.4	13.2	49.6
A58L	FCD	5429	4.9	60.2	21.3	13.6	4172	0.4	89.1	7.5	3.0
A58L	FCD-v2	3674	0.4	88.2	10.5	0.8	4316	4.8	75.2	14.7	5.3
A58L	FCD-v3	3443	0.5	76.4	17.2	5.8	4316	2.6	89.7	6.6	1.1
A58L	FCD-v4	3772	0.6	83.6	13.9	1.9	4316	2.7	83.4	11.0	2.8
A58L	FCD-v5	4154	2.8	62.7	19.7	14.8	4172	2.4	88.2	7.8	1.6
A58L	FCD-v6	4238	0.6	89.0	9.5	1.0	4316	2.9	76.4	14.1	6.7

bron: printOverlayMetrics

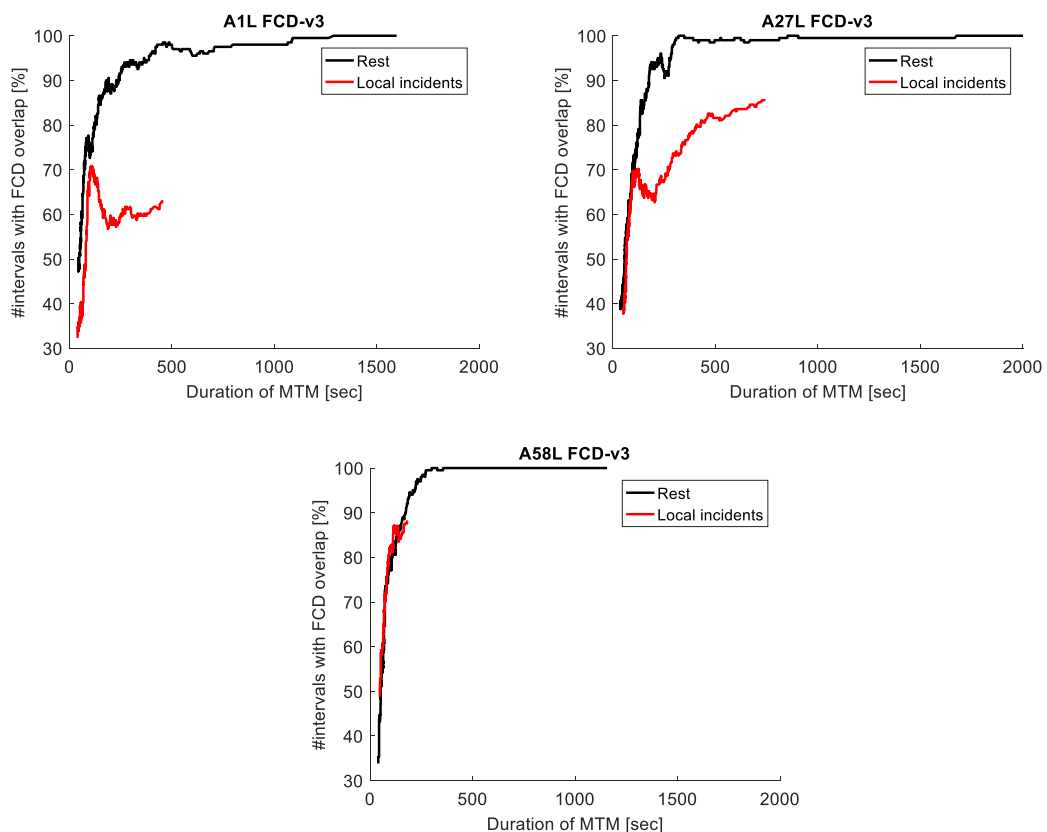
8.5 Verklarende variabelen voor interval overlap

Naarmate de duur van een MTM interval toeneemt is aannemelijk dat de kans op een overlap met een FCD interval ook toeneemt. Dit geldt het sterkste voor de intervalgewogen kans (Tabel 12) en in mindere mate voor de tijdgewogen kans (Tabel 13).

Dat de intervalgewogen kans toeneemt met de intervalduur is in te zien door vast te stellen dat deze kans gelijk is aan de integraal van de detectiekans per tijdseenheid over de het detectie interval. Uitbreiding van het detectie interval levert bij een gelijkblijvende detectiekans per tijdseenheid een hogere kans op.

Als we aannemen dat het verschil in inschakelmoment van FCD en MTM niet afhankelijk is van de intervalduur en hetzelfde voor het relatieve uitschakelmoment dan volgt dat bij een langere MTM intervalduur de te verwachten duur van het non-overlap dezelfde is als bij korte MTM-intervallen. Bij lange intervallen is in dit geval de verwachting van de overlapduur gedeeld door de intervalduur hoger.

Hoe groot dit effect is, is onderzocht door alle MTM intervallen te sorteren op intervalduur en vervolgens het moving average van het overlap optreden te plotten voor één van de methode varianten (FCD-v3). Voor een specifiek interval is de uitkomst hiervan 0 of 1 maar door het moving average over een flink aantal punten (om precies te zijn: gecentreerd over 100+100+1 waarnemingen) te plotten wordt een globaal verband tussen interval duur en overlappercentage zichtbaar. Dit verband is in de onderstaande figuren apart geplot voor MTM intervallen die zijn geclassificeerd als lokaal incident (zie sectie 7.6) en alle overige intervallen. Een MTM interval wordt geclassificeerd als de bijbehorende AID detectie bij de bovenstroomse raai van het baanvak heeft plaatsgevonden.



Figuur 20: *Moving average (-100,+100) van het optreden van interval overlap als functie van MTM intervalduur, voor verkeersafwikkelingscategorie "lokaal incident" en "rest".*

Bevindingen

De MTM intervalduur is zoals te verwachten een belangrijke verklarende variabele voor de kans op intervaloverlap tussen MTM en FCD. Bij de A1L en A27L wordt ook een duidelijke invloed gezien van de verkeersafwikkelingscategorie. MTM intervallen met een periode duur van meer dan 100 seconden die geclassificeerd zijn als een lokaal incident hebben bij deze trajecten een beduidend kleinere kans om te overlappen met een FCD interval. Bij de A58L lijkt dit effect afwezig.

Tot een periodelengte van circa 100 seconden lijkt de periodelengte de dominante verklarende variabele.

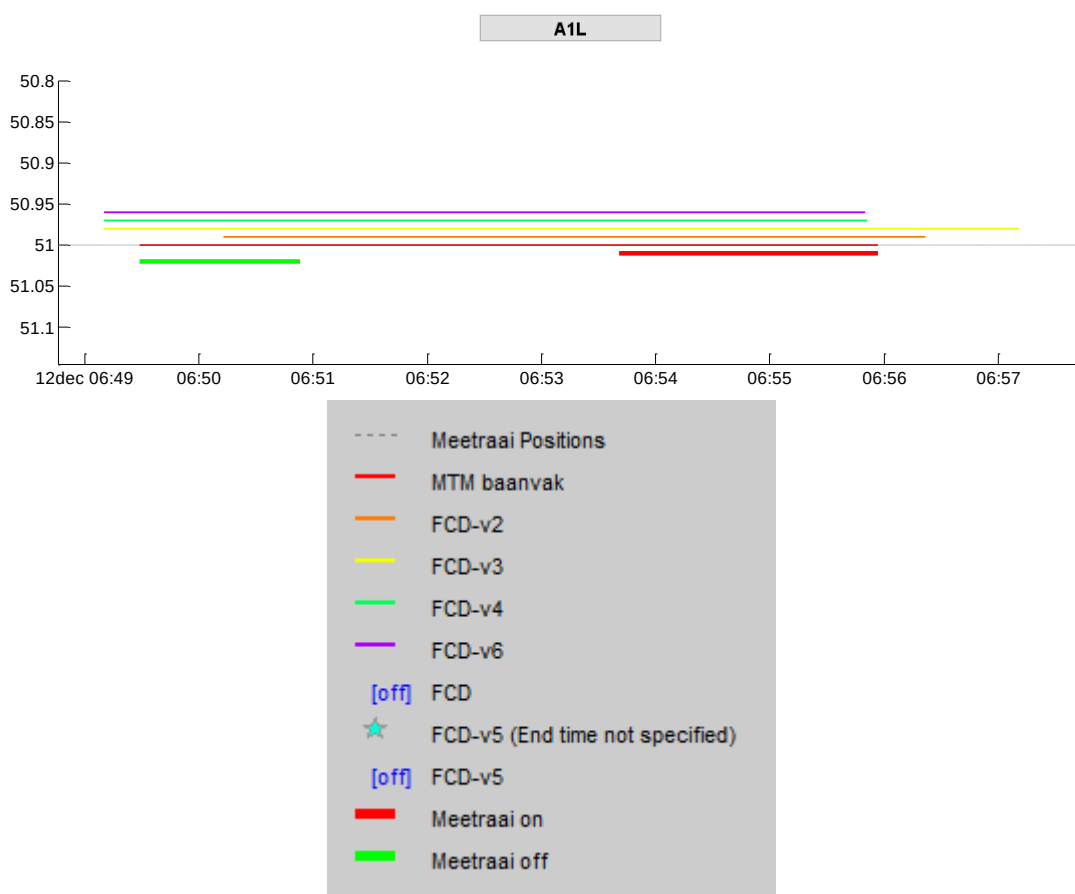
9 Visuele Inspectie

9.1 Werkwijze

Door middel van een voor deze studie ontwikkelde viewer wordt de AID status voor de verschillende varianten en de MTM referentiemethode gelijktijdig getoond. In de visuele inspectie zijn de varianten 2, 3, 4 en 6 bekeken.

De varianten FCD en FCD-v5 worden hierbij buiten beschouwing gelaten. Uit de numerieke analyses in het vorige hoofdstuk blijken deze methodes een (te) hoge vals alarmkans te generen.

Ingezoomd op een enkele meetraai (hm51.0) ziet het inspectiescherm er als volgt uit:



Figuur 21: Illustratie van hoe in de viewer de AID intervallen kunnen worden geïnspecteerd.

In de figuur is te zien welke intervallen door de verschillende varianten worden geïndiceerd als periodes met een AID status. Ook is in de figuur de AID status van het MTM baanvak ingetekend en, voor zover af te leiden, de AID status van de meetraai ter plekke (zie sectie 7.7).

Op de figuren kan worden ingezoomd zodat details zichtbaar gemaakt kunnen worden. Een statisch document zoals het huidige rapport leent zich maar matig voor het zichtbaar maken van dergelijke details. Tijdens het project zijn een aantal screenrecordings gemaakt en gedeeld met het projectteam. Hiermee zijn een aantal resultaten en indrukken gedeeld.

Hoewel lastig op papier te vatten spelen de visuele indrukken wel een belangrijke rol in de evaluatie. In dit hoofdstuk wordt verslag gedaan van deze visuele indrukken door de resultaten eerst op een geaggregeerd nivo te inspecteren en later op een meer gedetailleerd nivo. Over de bevindingen wordt steeds verslag gedaan.

9.2 Vergelijking van varianten

9.2.1 Visuele inspectie A1L

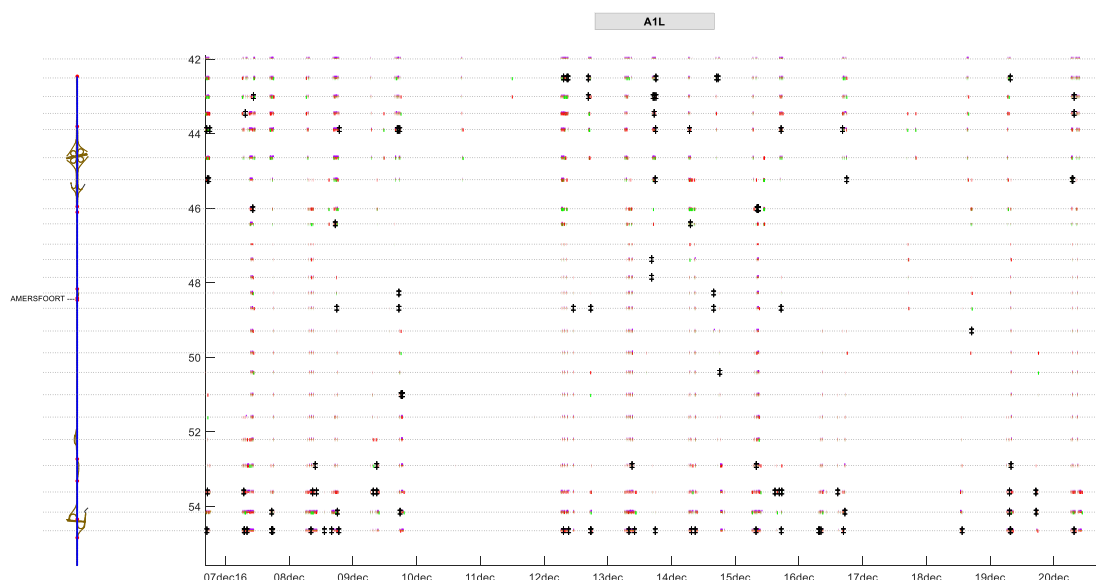
Algemeen beeld

Tussen de varianten zit op het eerste gezicht niet heel veel verschil. Een beeld als in Figuur 21 is behoorlijk representatief. De varianten overlappen op het eerste gezicht goed met de MTM AID status. Vooral filegolven die zich tegen de richting van het verkeer in bewegen worden heel netjes gevolgd. Het verschil in inschakeltijdstip is over het algemeen kort in verhouding tot de duur van de AID intervallen.

Bij inspectie van filegolven blijkt dat ook als FCD later inschakelt dan MTM, dit doorgaans wel gebeurt voordat het bovenstroomse baanvak een MTM AID status krijgt. De ruimtelijken fout is dus in de meeste gevallen kleiner dan de portaal afstand.

Vals alarmen

Vals alarmen vallen in eerste instantie niet op. Pas als dezelfde data in tabelvorm worden geraadpleegd en gefilterd op de eigenschap "vals alarm" worden ze zichtbaar en blijken ze er inderdaad te zijn. Voor variant 3: 160 van de 4286 door FCD geïndiceerde AID intervallen. Van deze 160 intervallen zijn er 147 korter dan 120 seconden. Er is geen duidelijk patroon zichtbaar in de ligging van de valse alarmen.



Figuur 22: *Beeld indien de vals-alarm events (voor variant 3) worden gemarkeerd*

Niet gedetecteerde MTM intervallen

Voor niet gedetecteerde MTM intervallen geldt min of meer hetzelfde: ze vallen in eerste instantie niet zo op. Pas als ze in de tabel worden opgespoord en vervolgens in de figuur worden gemarkeerd blijken ze toch regelmatig op te treden. Voor variant 3: 728 van de 4126 door MTM geïndiceerde intervallen. Van deze 728 intervallen zijn er 474 korter dan 120 seconden. Ook in dit geval is er geen specifiek patroon zichtbaar.



Verskil tussen varianten

Zoals gezegd gedragen alle varianten zich min of meer gelijk, met uitzondering van variant "FCD" en "FCD-v5" overigens. De verschillen zitten meer in de momenten van aan en uitschakelen maar is alleen zichtbaar als ingezoomd wordt tot het punt waarop de minuten op de tijdschaal zichtbaar zijn.

- Variant 6 schakelt in de meeste gevallen gelijk in met variant 3, maar variant 3 is soms net wat eerder;

- Variant 6 schakelt wel duidelijk eerder uit;
- Soms schakelt variant 6 een aantal malen aan en uit terwijl 3 aan blijft;
- Vaak is dit gedurende een overlap met een MTM AID;
- Het verschil tussen variant 3 en 4 is nog moeilijker te zien, maar de indruk is dat 4 tussen variant 3 en 6 in zit (maar wel veel dichterbij 3 dan bij 6);
- Variant 2 schakelt vaak later in dan varianten 3 en 4, maar wel op min of meer dezelfde tijdstippen uit.

9.3 Visuele inspectie van de A27L

Algemeen beeld

De algemene indruk van de A27L is dat de afwikkeling een voorspelbaarder verloop heeft dan dat van de A1L. De hoeveelheid congestie is niet minder, maar de filegolven zijn breder (in de tijd) en splitsen zich minder vaak op in kort na elkaar optredende filegolven. Op geaggregeerd nivo correspondeert de activiteit van FCD goed met die van MTM.

De spreiding van het verschil in inschakeltijdstip tussen FCD en MTM lijkt wel hoger te liggen als bij de A1L. Bij filegolven zien we in nagenoeg alle gevallen dat de inschakeling plaatsvindt voor het moment dat de bovenstroomse meetraai van het baanvak activeert.

Vals alarmen

Dit beeld wijkt niet drastisch af van de A1L

Niet gedetecteerde MTM intervallen

Dit beeld wijkt niet drastisch af van de A1L

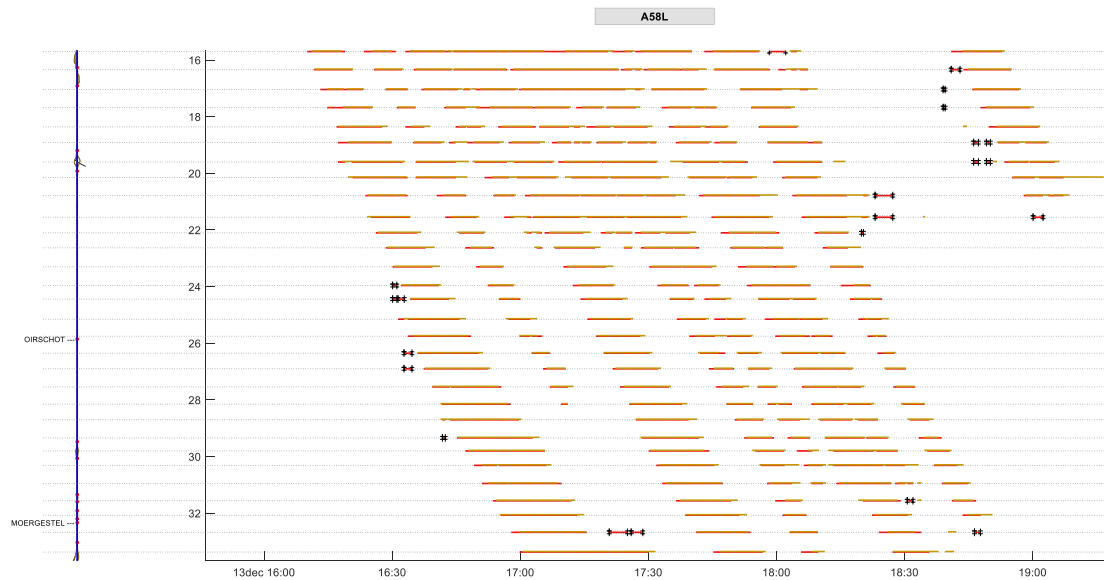
Verskil tussen varianten

Dit beeld wijkt niet drastisch af van de A1L

9.4 Visuele inspectie van de A58L

Algemeen beeld

In verhouding met de A1L en de A27L ontwikkelden de filegolven zich op de A58L bijzonder ordelijk. Ze lopen over een lange afstand door met een schijnbaar constante snelheid. Ze worden ook netjes overlapt door het FCD algoritme. De intervallen die niet gedetecteerd worden lijken juist de meer geïsoleerde intervallen die buiten de filegolf uitsteken.



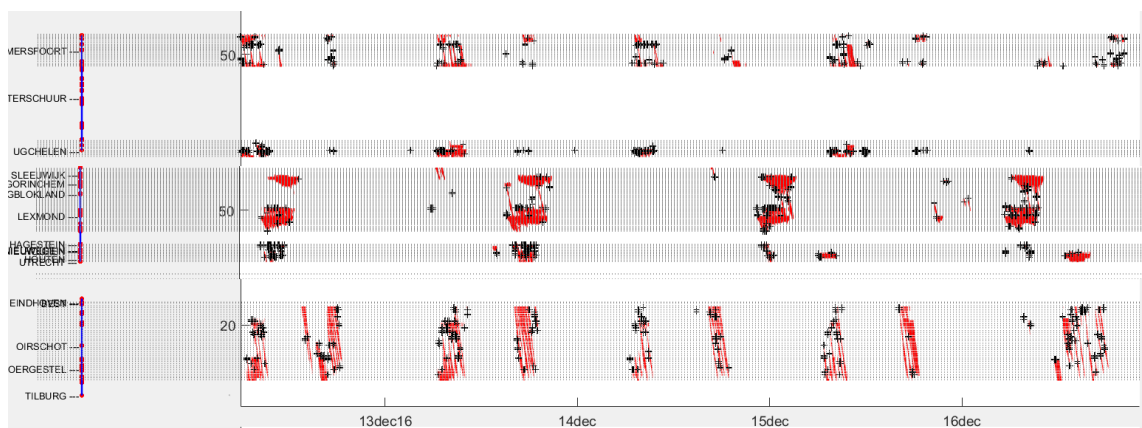
Figuur 23: Avondspits 13 december 2016 op de A58L. Variant 3 (lichtbruin) versus MTM (rood). Met zwart gemarkeerd: niet gedetecteerde MTM AID intervallen.

Vals alarmen

Er treden relatief weinig vals alarmen op en als ze optreden betreft het in de meeste gevallen korte intervallen.

Niet gedetecteerde MTM intervallen

De niet gedetecteerde intervallen betreffen vooral intervallen die geen deel uitmaken van een filegolf en treden relatief vaak aan de rand van de spitsen op.



Figuur 24: A1L, A27L en A58L ter vergelijking en voor het algemene beeld onder elkaar weergegeven. De zwart gemarkeerde intervallen zijn MTM intervallen die niet gedetecteerd zijn in FCD variant 3 (de huidige figuur is op te vatten als een volledig uitgezoomde versie van Figuur 23)

Verschil tussen varianten

Dit beeld wijkt niet drastisch af van de A1L en de A27L

9.5 Conclusies

Als de locaties van de AID intervallen zoals geïndiceerd door FCD worden vergeleken met de AID intervallen geïndiceerd door MTM dan komen ze bij een geaggregeerde inspectie goed overeen. Pas bij inzoomen blijken inschakel- en uitschakelverschillen, maar deze zijn in verhouding met de lengte van de AID intervallen klein zodat ze pas goed zichtbaar worden bij inzoomen op enkele minuten tegelijk.

In de meeste gevallen schakelt FCD iets later in dan MTM, maar in veruit de meeste gevallen gebeurt dit wel voor het moment waarop congestie de bovenstroomse meetraai van het baanvak heeft bereikt. Er zijn ook intervallen aan te wijzen waar FCD actief is en MTM niet, of omgekeerd, maar dit heeft geen grote impact op het algemene beeld omdat dergelijk intervallen over het algemeen kort zijn. Door het moment van inschakelen van FCD te vergelijken met het moment van inschakelen van MTM op het bovenstroomse baanvak kan worden vastgesteld dat de ruimtelijke fout in de meeste gevallen kleiner is dan de portaal afstand.

Of binnen filesignalering de MTM detectie vervangbaar is door FCD is op basis van de visuele inspectie niet te zeggen omdat deze analyse geen getalsmatige onderbouwing oplevert. Wat dit betreft zegt de time headway analyse zoals opgenomen in het volgende hoofdstuk wellicht meer. De conclusie die wel te trekken is, is dat in grote lijnen de FCD detectie correct werkt. Indien het huidige algoritme nog niet aan de eisen voldoet zou het toch in ieder geval mogelijk moeten zijn om het algoritme langs de weg van graduele verbeteringen geschikt te maken.

10 Time-headway analyse van AID events

10.1 Inleiding

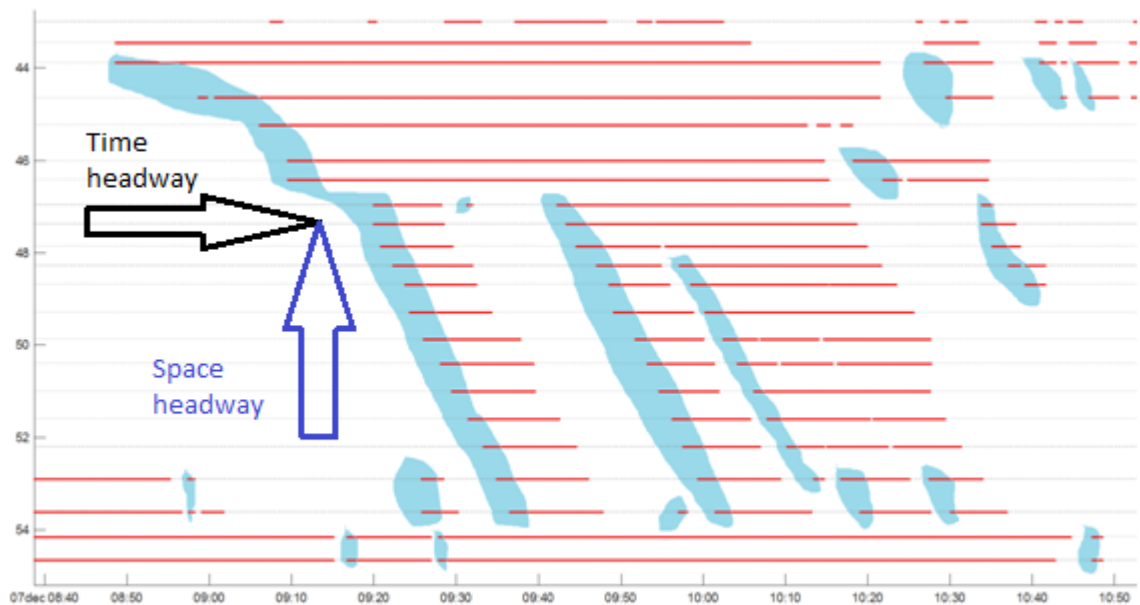
De effectiviteit van signalering wordt vooral bepaald door de gebeurtenissen in de korte periode dat vrije afwikkeling overgaat in congestie en in iets mindere mate in de periode dat congestie weer oplost. Daarom zoeken we een manier om de evaluatie op deze overgangen te richten.

10.2 Overgang vrije afwikkeling naar congestie

Deze overgang van vrije afwikkeling naar congestie (zie Figuur 25) kunnen we in twee richtingen beschouwen:

- In de tijd. Hierbij wordt de kijken we wat er op een specifieke locatie verandert in de tijd. De analyse eenheid is hier de volgtijd ("time-headway");
- In de ruimte. Hierbij kijken we naar de veranderende toestand als we de rijrichting volgen. De analyse-eenheid is hier volgafstand ("space headway")

De ervaringen van een bestuurder zitten hier een min of meer tussen in omdat voertuigen trajectoriën volgen waarbij zowel de tijd als de afgelegde weg toeneemt.



Figuur 25: *In de gearceerde gebieden gaat vrije afwikkeling over in congestie*

Het beschouwen van overgangen in de tijd is technisch eenvoudiger dan het analyseren van overgangen in de ruimte, en dat is weer eenvoudiger dan het analyseren van overgangen zoals ervaren door de bestuurders. De belangrijkste reden hiervoor is dat er in de tijd permanent waarnemingen beschikbaar zijn (met een resolutie van een seconde), terwijl in de ruimte alleen waarnemingen van een aantal vaste punten beschikbaar zijn (de resolutie is hier typisch 500 meter).

Bij de analyse in de richting van de time-headway is het AID interval de analyse eenheid terwijl bij de analyse in de richting van de space headway de analyse eenheid een verzameling tijdstippen is (bijvoorbeeld iedere seconde, 5 secondes of minuut). Het aantal "eenheden" beschikbaar voor analyse in de richting van de time-headway is dus veel kleiner dan dat voor de space-headway.

Bij een geaggregeerde beschouwing zijn de time-headway en space-headway echter tot op zekere hoogte proportioneel. Met behulp van de gemiddelde snelheid kunnen deze twee namelijk in elkaar worden omgerekend. Onder dezelfde voorwaarden zijn de analyse resultaten van die de time-headway van individuele locaties betreffen te beschouwen als een bruikbare proxy zijn voor datgene dat individuele bestuurders ervaren.

Het voorbehoud dat hierbij gemaakt moet worden is dat het wel moet gaan om congestiegebieden die bij projectie op de y-as een "slagschaduw" moeten produceren die in verhouding staat met de slagschaduw die bij projectie op de x-as ontstaat. Voorbeelden van gevallen die hier niet aan voldoen zijn:

- hardnekkige congestie die niet teruglaat. Deze is overigens niet aangetroffen bij de visuele inspectie;
- Valse alarmen. Omdat deze meestal buiten gebieden met zware congestie voorkomen worden ze in mindere mate afgedekt door een AID interval bovenstrooms. Daarom is de impact ervan eerder proportioneel aan de totale duur ervan dan aan het aantal afzonderlijke intervallen dat als vals alarm wordt aangemerkt;
- Niet gedetecteerde MTM AID intervallen. Hiervoor geldt dezelfde redenering als bij valse alarmen.

10.3 Tijdslijn aanpak

In de tijdslijn aanpak bestuderen we de overgang van vrije afwikkeling naar congestie door individuele MTM AID intervallen te bestuderen. Het moment waarop de AID status voor een baanvak actief wordt beschouwen we als $t=0$. Vervolgens bepalen we hoeveel seconden eerder of later een overlappend FCD AID interval actief was of wordt. Dit levert voor ieder MTM AID één getal op, de relatieve reactietijd. Van al deze getallen kunnen we een verdeling maken die we kunnen inspecteren aan de hand van een cumulatieve verdeling en karakteriseren met een gemiddelde en spreiding. Deze verdelingen kunnen we ook maken voor bepaalde deelverzamelingen van alle MTM intervallen.

De criteria die we hierbij gebruiken zijn:

- Het traject;
- Het congestietype;
- Wel- of geen spitsperiode;
- De duur van het MTM AID interval

Secties 10.6.6 10.6.8 10.6.10 tonen de figuren die de grafiek, het gemiddelde en de standaardafwijking gelijktijdig weergeven.

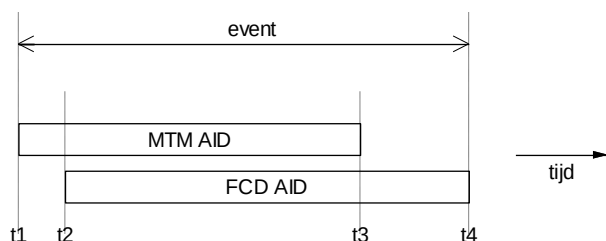
De relatieve reactietijd vertelt ons hoe snel een FCD systeem reageert in verhouding tot MTM en is daarmee een van de belangrijkste prestatie indicatoren. Naast een reactietijd bij inschakeling is er ook een reactietijd bij uitschakeling die op analoge manier kan worden bepaald.

10.4 Het matchen van FCD- met MTM AID intervallen

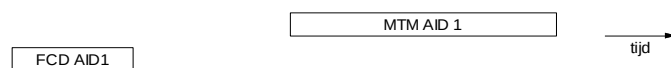
Om de relatieve reactietijd te kunnen berekenen moeten uiteraard wel de FCD AID intervallen en MTM AID intervallen aan elkaar gekoppeld worden. Indien er altijd een één op één relatie zou zijn tussen de AID intervallen geïndiceerd door FCD en MTM dan zou dit de evaluatie overzichtelijk maken. Dan van een dergelijke één op één relatie geen sprake is bleek al uit Tabel 12 (pagina 52).

We onderscheiden de volgende afwijkende gevallen:

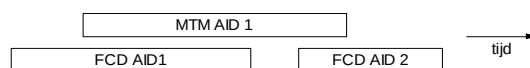
- Vals alarm (Figuur 27): FCD indiceert een AID conditie en MTM niet;
- Gemist incident (ook Figuur 27): MTM indiceert een AID conditie en FCD niet;
- 1 op n relatie tussen FCD en MTM: een FCD interval overlapt met meerdere MTM intervallen;
- 1 op n relatie tussen MTM en FCD (Figuur 28): een MTM interval overlapt met meerdere FCD intervallen;
- m op n relatie tussen FCD en MTM (Figuur 29): meerdere MTM intervallen overlappen met meerdere MTM intervallen (ketenoverlap).



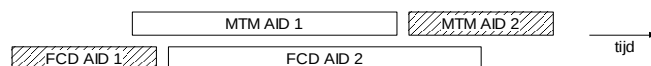
Figuur 26: Enkelvoudig overlap



Figuur 27: Vals alarm, gevolgd door een niet gedetecteerd incident



Figuur 28: 1 op n relatie MTM-FCD



Figuur 29: Ketenoverlap

De Gebeurtenissen van het type “vals alarm” en “niet gedetecteerd event” zijn min of meer eenduidig te interpreteren en te wegen. Uiteraard moeten we hierbij in gedachte houden dat ook MTM incidenten niet- of te laat kan detecteren waardoor niet 100% van wat we aanmerken als “vals alarm” een terechte classificering is.

Gebeurtenissen van het type “1 op n” of “n op m” laten ruimte voor interpretatie. Als bijvoorbeeld twee FCD intervallen overlappen met hetzelfde MTM interval (zie Figuur 28) dan is er een “pauze” waarin FCD niet actief is en MTM wel. Deze pauze treedt op nadat FCD al actief is geweest en het aankomende verkeer al gewaarschuwd is. Een dergelijke pauze mag daarom niet op dezelfde wijze worden beoordeeld als een te late inschakeling. Bij m op n relaties is de situatie nog complexer.

Figuur 30 geeft een (extreem) voorbeeld van een 1 op n relatie MTM- FCD.



Figuur 30: *Extreem voorbeeld waarin vele korte inschakelingen van FCD varianten overlappen met één lange inschakeling van MTM*

Indien 1 op n en m op n relaties zeer zeldzaam zouden zijn dan zouden deze situaties simpelweg buiten beschouwing kunnen worden gelaten, net zoals dit gebeurt met locaties die niet in de doorsnede van de FCD en MTM zitten. Visuele inspectie van de data en de verkennende analyse in sectie 8.4 laat echter zien dat deze gevallen niet genegeerd kunnen worden. Dit dwingt ons na te denken over de interpretatie die voor dit soort situaties moet gelden.

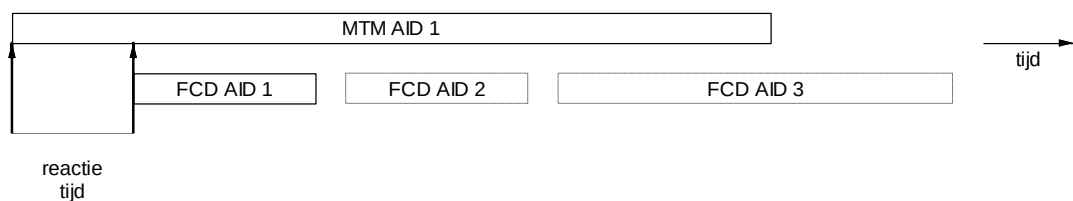
Een mogelijke aanpak zou zijn om bij een meervoudig overlap van FCD en MTM intervallen, deze intervallen net zo lang te splitsen totdat er alleen nog enkelvoudige overlappen overblijven. Bij een splitsing wordt een interval gesplitst in twee aaneensluitende intervallen. Echter hiermee wordt kunstmatig een nieuw start tijdstip geïntroduceerd en in de analyse opgenomen.

10.5 Splitsen intervallen voor time-headway analyse

Betreft splitsing MTM intervallen

Voor de analyse van de time-headways worden de MTM intervallen als uitgangspunt genomen. De starttijdstippen van deze intervallen worden beschouwd als de tijdstippen waarop vrije afwikkeling op het baanvak overgaat op gedwongen afwikkeling. Deze intervallen worden daarom niet gesplitst ook al zijn er meerder FCD intervallen die overlappen zoals in Figuur 30.

Als er meerdere FCD intervallen overlappen met een MTM interval dan wordt in de analyse alleen het tijdstip waarop het eerste overlap start beschouwd. Het 2^e, 3^e ,.. overlappende interval wordt in de analyse van de time headway buiten beschouwing gelaten.



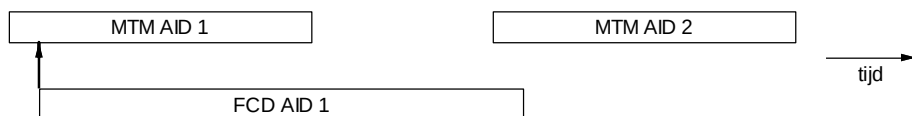
Figuur 31: *Reactietijd wordt beschouwd als het verschil (positief of negatief) tussen het inschakeltijdstip MTM en het inschakeltijdstip van het eerste overlappende FCD interval*

De pauzes tussen de overlappende FCD intervallen komen in de time-headway analyse dus niet tot uitdrukking. Deze pauzes werken wel door in andere indicatoren zoals de indicator "Missing alarm percentage" zoals gerapporteerd in sectie 8.3.

Betreft splitsing FCD intervallen

Het komt vaker voor dat een enkel MTM interval met meerder FCD intervallen overlapt dan omgekeerd (zie sectie 8.4) Maar als een FCD interval overlapt met meerdere MTM intervallen (zie Figuur 32) dan kunnen we de mogelijkheden overwegen:

- alle geraakte intervallen uit de analyse halen (dus het FCD interval en alle overlappende MTM intervallen);
- alleen het eerste MTM en FCD interval in de analyse meenemen. Het tweede MTM interval uit de analyse halen;
- het FCD interval op interpreteren als twee aparte, maar aaneensluitende intervallen.



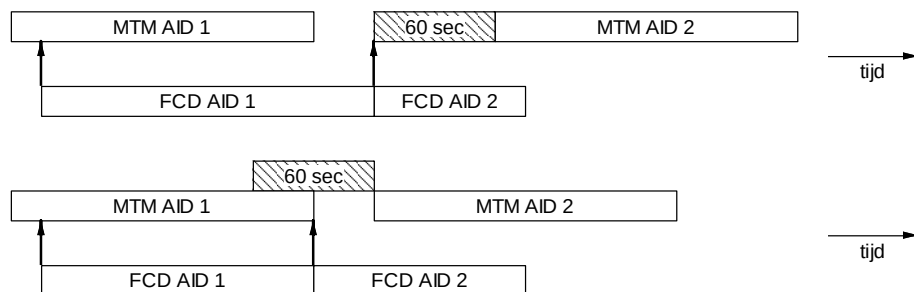
Figuur 32: *Uitgangssituatie, één FCD interval wordt door meerdere MTM intervallen overlapt*

Voor de eerste oplossing (keten overlappen uit de analyse halen) is op zich veel te zeggen. Er blijven minder data voor analyse over, maar dit is alleen

een probleem indien de resterende set niet representatief is. Het nadeel van deze aanpak is evenwel dat in de grafiek analyse van de time-headway ook het aantal niet gedetecteerde MTM intervallen aan bod komt. Dit aantal verandert niet als ketenoverlappen worden verwijderd, maar het totaal aantal MTM referentie overlappen neemt wel af, waardoor een ander beeld ontstaat van het non-detectie percentage.

Daarom is gekozen voor de derde optie. Hierin wordt een enkel FCD interval gesplitst zodat alleen enkelvoudige overlappen resteren (zie Figuur 33). Het splitspunt kan in principe vrij gekozen worden in het pauze interval tussen twee MTM intervallen in, maar is vervolgens wel bepalend voor de interpretatie. Als het splitspunt zo vroeg mogelijk wordt gekozen wordt de volledige pauze geïnterpreteerd als een (te) vroege waarschuwing ten opzichte van het tweede MTM interval. Als het splitspunt zo laat mogelijk wordt gekozen geldt de hele pauze als "te late uitschakeling" ten opzichte van het eerste MTM interval.

Uiteindelijk is ervoor gekozen om het splitspunt te leggen op 60 seconden voor de start van het tweede MTM interval. Deze 60 seconden komt overeen met een drempelwaarde in sommige analyse wordt gebruikt om onderscheid te maken tussen "vroege waarschuwing" en "te vroege waarschuwing".



Figuur 33: *Gekozen interpretatie. Het FCD interval wordt gesplitst. De laatste (maximaal) 60 seconden van de pauzeperiode tussen de MTM intervallen wordt toegerekend aan het tweede interval.*

10.6 Presentatie van de resultaten

De resultaten van de time-headway analyse worden in de volgende secties per traject getoond. Steeds eerst in tabelvorm en daarna in grafiekvorm.

10.6.1 FCD varianten

In de presentatie zijn varianten 2, 3, 4 en 6 opgenomen. De overige twee varianten zijn op basis van de resultaten uit secties 8.3 en 8.4 afgevalen.

10.6.2 Categorieën

Om inzicht te krijgen in de invloed van de diverse factoren op de performance van FCD detectie zijn de resultaten uitgesplitst in een aantal

categorieën. Dit gebeurt aan de hand van de eigenschappen die werden toegekend aan de MTM AID referentie intervallen.

<i>Alle events</i>	Alle MTM AID intervallen worden gebruikt als referentie.
<i>Lokaal incident</i>	Alleen MTM AID intervallen die als incident zijn aangemerkt worden gebruikt als referentie. Een MTM AID interval kwalificeert als incident indien: –a- er een benedenstrooms baanvak aanwezig is en –b- op dit benedenstroomse baanvak de AID niet actief is bij aanvang van het huidige AID interval. Het achterliggende principe is dat van de twee meetraaien die het baanvak beveiligen de meest bovenstroomse het eerste een actieve AID status krijgt. Dit duidt op congestie die in het interieur van het huidige baanvak is ontstaan.
<i>Filegolf</i>	De categorie filegolf is de tegenhanger van het incident. Er moet –a- een benedenstrooms baanvak aanwezig zijn en –b- op actieve AID status zijn op het moment dat het huidige AID interval begint. Het achterliggende principe is dat van de twee meetraaien die het baanvak beveiligen de meest benedenstroomse het eerste een actieve AID status krijgt. Dit duidt op een terugslaan file.
<i>Doorlopende filegolf</i>	Het betreft een deelverzameling van de filegolf events, maar nu moet het huidige AID interval het startmoment van een direct bovenstrooms AID interval bevatten. Het gaat dus om congestie waarvan het front het baanvak aan benedenstroomse zijde bereikt en ook terugslaat naar het bovenstroomse baanvak. In deze gevallen kan naast de AID intervallen van het baanvak ook bepaald worden op welk moment de AID status van eerste de benedenstroomse meetraai en daarna de bovenstroomse meetraai actief worden. Dit laatste is een interessant referentiepunt omdat dit het moment is dat het baanvak volledig gevuld is met congestie.
<i>Spits werkdagen</i>	Alle MTM AID intervallen die starten tussen 07:00 en 09:00 of 16:00 en 18:00 op werkdagen (smalle spits) worden gebruikt als referentie.
<i>Buiten spits</i>	Alle MTM AID intervallen die niet als "Spits werkdagen" zijn aangemerkt.
<i>Referentie interval korter dan 120 seconden</i>	Alle MTM AID intervallen korter dan 120 seconden. Deze categorie (en het complement) zijn opgenomen om het verband vast te stellen tussen "percentage niet gedetecteerd" en de duur van het MTM interval. De bijbehorende resultaten zijn alleen in de tabel opgenomen.
<i>Referentie interval korter dan 120 seconden</i>	Alle MTM AID intervallen korter dan 120 seconden.

10.6.3 Kolommen in de tabelpresentatie

De presentatie in tabelvorm bestaat uit de volgende kolommen:

<i>Categorie</i>	De verkeersafwikkelingscategorie waarvoor de huidige resultaten bevat.
<i>Variant</i>	De FCD variant waarover wordt gerapporteerd.
<i>Aantal intervallen</i>	Het aantal MTM AID intervallen dat behoort tot de huidige categorie.
<i>Reactietijd inschakelen ten opzichte van MTM (in seconden)</i>	Het gemiddelde verschil in inschakeltijdstip van FCD ten opzichte van MTM. Indien meerder FCD intervallen overlappen met een MTM interval dan wordt het vroegste overlappende FCD interval gebruikt in deze berekening.
<i>Standaardafwijking van de reactietijd inschakelen (in seconden)</i>	De standaardafwijking van het bovengenoemde verschil.
<i>Reactietijd uitschakelen ten opzichte van MTM (in seconden)</i>	Het gemiddelde verschil in uitschakeltijdstip van FCD ten opzichte van MTM. Indien meerder FCD intervallen overlappen met een MTM interval dan wordt het laatste overlappende FCD interval gebruikt in deze berekening.
<i>Standaardafwijking van de reactietijd uitschakelen (in seconden)</i>	De standaardafwijking van het bovengenoemde verschil.
<i>Intervalduur</i>	De gemiddelde duur van een MTM AID interval dat behoort tot de huidige verkeersafwikkelingscategorie
<i>Overlaptijd</i>	Het percentage van de intervalduur dat samenvalt met een FCD AID interval.
<i>Aantal pauzes</i>	Het gemiddeld aantal overlappende FCD AID intervallen -1
<i>Pauze duur</i>	De totale duur van alle pauzes tussen FCD AID intervallen opgeteld, gedeeld door het aantal intervallen
<i>Non detectie (%interval)</i>	Het percentage MTM geïndiceerde AID intervallen dat niet overlapt met enig FCD interval.
<i>Non detectie (%tijd)</i>	Het gewogen percentage MTM geïndiceerde AID intervallen dat niet overlapt met enig FCD interval, gewogen met de intervalduur.
<i>Vals alarm (%interval)</i>	Het percentage van FCD geïndiceerde AID intervallen dat niet overlapt met enig MTM interval.

Opmerking: Wanneer een FCD interval niet overlapt met enig MTM interval kan het niet geïndiceerd worden aan de hand van MTM attributen. De Vals alarm kans is daarom in de tabellen niet verder uitgesplitst en voor alle categorieën gelijk. In theorie

had dit overigens nog wel gekund voor de categorieën "spits" en "buiten spits"

Vals alarm Het gewogen percentage van FCD geïndiceerde AID
(%interval) intervallen dat niet overlapt met enig MTM interval, gewogen met de intervalduur.

10.6.4 Presentatie in grafiekvorm

Voor de gepresenteerde grafieken gelden de volgende bijzonderheden

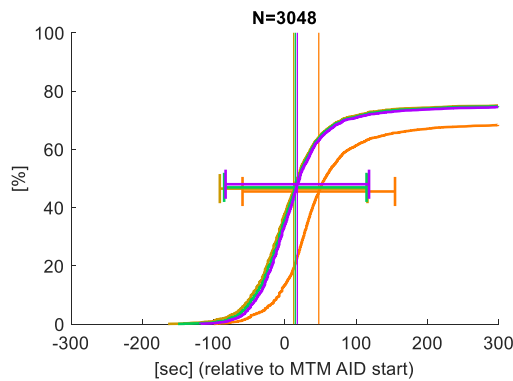
- De grafieken tonen steeds de cumulatieve verdeling van de reactietijd;
- De gemiddelde reactietijd kan worden afgelezen met behulp van de hiervoor geplotte verticale lijn;
- De standaardafwijking van de reactietijd is aangegeven door een horizontale balk die is geplot tussen tmean-standaard afwijking en tmean+standaard afwijking;
- De grafieken eindigen niet bij 100% maar bij 100% verminderd met het percentage niet gedetecteerde MTM AID events. Dit komt erop neer dat deze niet gedetecteerde events in de grafiek worden voorgesteld als events met een reactietijd groter dan 5 minuten.

10.6.5 Resultaten A1L in tabelvorm

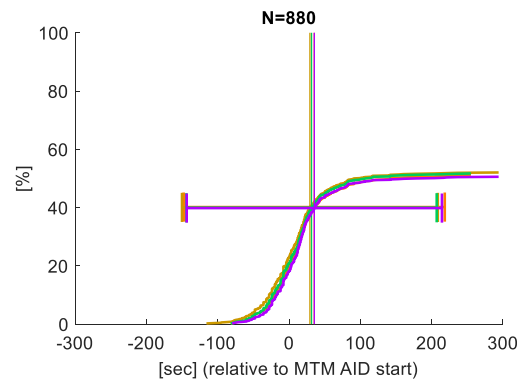
Categorie	Variant	Aantal inter-vallen	Detectie % interval (% tijd)	Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]		Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]		Interval duur [sec]	Overlap (%tijd)	Aantal pauzes	Pauze-duur [sec]	Non Detectie % interval (% tijd)	Interval duur [sec]	Vals Alarm % interval (% tijd)
Alle events	FCD-v2	3048	69.7(88.6)	47	107	-25	165	499	69.8	0.72	60	30.3(11.4)	148	3.0 (0.5)
	FCD-v3	3048	76.1(90.8)	12	104	-8	156	468	78.3	0.46	45	23.9(9.2)	152	5.1(0.9)
	FCD-v4	3048	75.8(90.4)	15	100	-18	151	468	75.9	0.63	52	24.2(9.6)	155	5.7(1.0)
	FCD-v6	3048	75.5(90.5)	17	101	-29	152	470	72.8	0.92	60	24.5(9.5)	153	7.1(1.1)
Lokaal incident	FCD-v2	880	52.3(68.0)	35	183	-41	284	330	62.9	0.32	27	47.7(32.0)	170	3.0 (0.5)
	FCD-v3	880	53.3(68.5)	29	179	-27	285	326	68.3	0.16	19	46.7(31.5)	171	5.1(0.9)
	FCD-v4	880	52.8(68.1)	31	176	-40	281	326	63.9	0.31	27	47.2(31.9)	172	5.7(1.0)
	FCD-v6	880	51.7(67.6)	35	179	-52	286	331	59.2	0.63	33	48.3(32.4)	170	7.1(1.1)
Filegolf	FCD-v2	1994	75.6(93.1)	53	75	-25	115	572	70.1	0.91	77	24.4(6.9)	131	3.0 (0.5)
	FCD-v3	1994	84.6(95.7)	12	73	-6	103	526	79.1	0.59	57	15.4(4.3)	129	5.1(0.9)
	FCD-v4	1994	84.4(95.4)	15	69	-16	97	526	76.8	0.77	64	15.6(4.6)	136	5.7(1.0)
	FCD-v6	1994	84.4(95.6)	17	69	-26	95	526	74.0	1.07	73	15.6(4.4)	132	7.1(1.1)
Doorlopende filegolf	FCD-v2	1032	92.6(96.7)	59	78	-32	128	686	70.7	1.15	97	7.4(3.3)	295	3.0 (0.5)
	FCD-v3	1032	94.5(97.6)	19	75	-12	117	679	79.3	0.84	79	5.5(2.4)	290	5.1(0.9)
	FCD-v4	1032	94.3(97.2)	20	70	-23	108	678	77.0	1.08	90	5.7(2.8)	321	5.7(1.0)
	FCD-v6	1032	94.5(97.4)	22	71	-34	106	678	74.4	1.44	100	5.5(2.6)	311	7.1(1.1)
Spits werkdagen (7:00-9:00 16:00-18:00)	FCD-v2	1836	72.9(90.9)	45	123	-26	186	479	68.9	0.76	61	27.1(9.1)	129	3.0 (0.5)
	FCD-v3	1837	79.2(92.8)	7	118	-8	175	451	78.0	0.48	47	20.8(7.2)	133	5.1(0.9)
	FCD-v4	1838	79.1(92.6)	9	114	-18	173	450	75.6	0.64	53	20.9(7.4)	137	5.7(1.0)
	FCD-v6	1838	78.7(92.5)	12	115	-27	173	452	72.7	0.97	61	21.3(7.5)	135	7.1(1.1)
Buiten spits	FCD-v2	1211	64.7(85.3)	52	72	-24	119	533	71.1	0.65	59	35.3(14.7)	169	3.0 (0.5)
	FCD-v3	1211	71.5(87.9)	20	73	-8	117	497	78.8	0.44	43	28.5(12.1)	172	5.1(0.9)
	FCD-v4	1210	70.9(87.4)	23	69	-19	104	499	76.2	0.61	51	29.1(12.6)	175	5.7(1.0)
	FCD-v6	1210	70.7(87.5)	26	70	-31	107	501	73.1	0.84	59	29.3(12.5)	172	7.1(1.1)
AID interval korter dan 120 sec	FCD-v2	1071	43.5(49.5)	6	35	-0	32	78	62.1	0.05	1	56.5(50.5)	61	3.0 (0.5)
	FCD-v3	1071	55.9(61.7)	-13	39	9	36	76	76.7	0.03	1	44.1(38.3)	59	5.1(0.9)
	FCD-v4	1072	55.2(60.8)	-9	36	1	33	75	70.9	0.07	1	44.8(39.2)	60	5.7(1.0)
	FCD-v6	1072	54.3(60.1)	-5	34	-7	32	76	62.2	0.18	3	45.7(39.9)	60	7.1(1.1)
AID interval langer dan 120 sec	FCD-v2	1974	83.9(91.1)	59	117	-32	185	618	70.1	0.91	77	16.1(8.9)	313	3.0 (0.5)
	FCD-v3	1974	87.1(92.7)	21	117	-13	180	605	78.4	0.61	61	12.9(7.3)	324	5.1(0.9)
	FCD-v4	1974	87.0(92.4)	23	113	-25	174	604	76.1	0.82	70	13.0(7.6)	334	5.7(1.0)
	FCD-v6	1974	87.0(92.5)	25	114	-36	174	604	73.3	1.17	79	13.0(7.5)	331	7.1(1.1)

bron: printTimeBasedMetrics

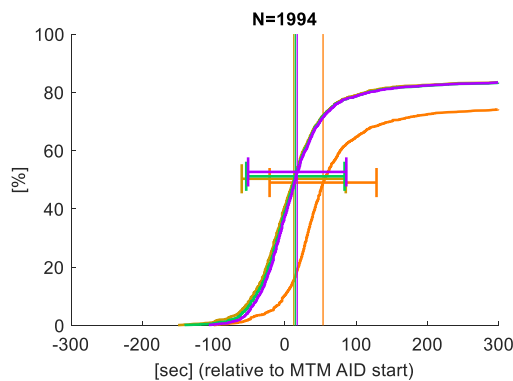
10.6.6 Resultaten A1L in grafiekvorm



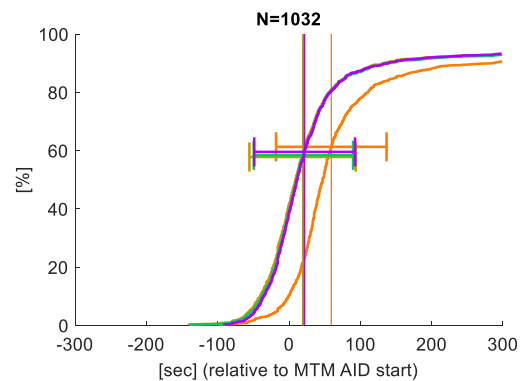
Alle events



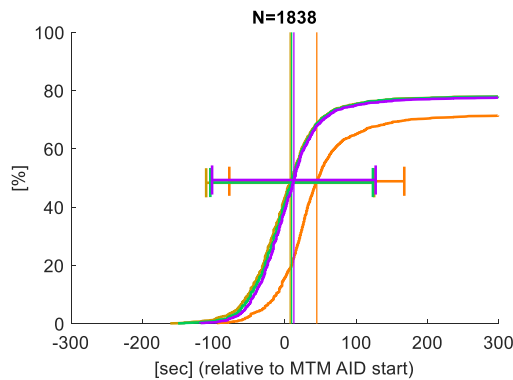
Lokale incidenten



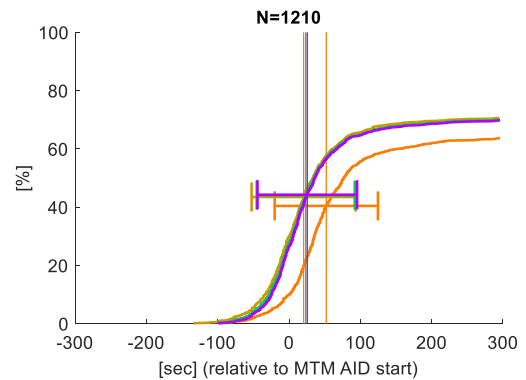
Filegolf



Doorlopende filegolf



Alle events in spits op werkdag
(7:00-9:00 en 16:00-18:00)



Alle events buiten spits

Toelichting bij grafieken:

- *S-curves*: cumulatieve verdeling van reactietijd relatief aan AID inschakel moment MTM
- *Vertikale lijn*: gemiddelde reactietijd relatief aan MTM
- *Horizontale balk*: 1x standaardafwijking van de reactietijd

Legenda :

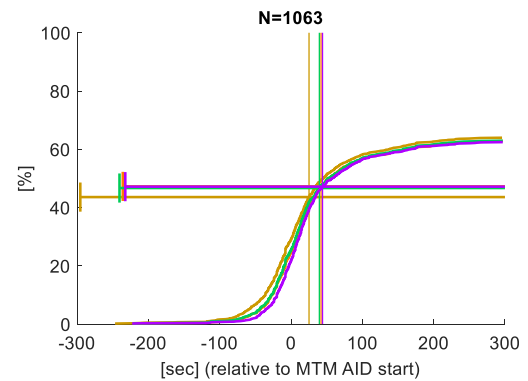
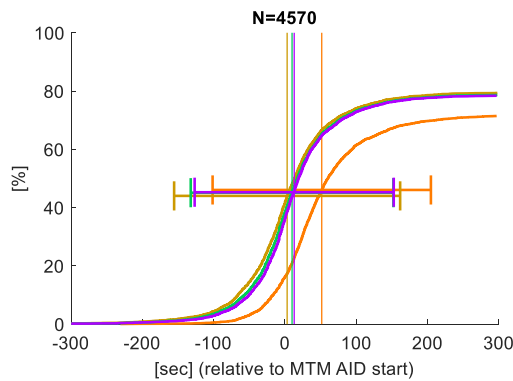
- Relative start (FCD-v2)
- Relative start (FCD-v3)
- Relative start (FCD-v4)
- Relative start (FCD-v6)

10.6.7 Resultaten A27L in tabelvorm

Categorie	Variant	Aantal inter-vallen	Detectie % interval (% tijd)	Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]		Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]		Interval duur [sec]	Overlap (%tijd)	Aantal pauzes	Pauze-duur [sec]	Non Detectie % interval (% tijd)	Interval duur [sec]	Vals Alarm % interval (% tijd)
Alle events	FCD-v2	4570	72.7(94.9)	52	153	-34	106	886	80.9	0.87	67	27.3(5.1)	126	3.7(0.8)
	FCD-v3	4570	80.0(96.2)	3	159	-6	99	816	89.3	0.38	32	20.0(3.8)	129	9.2(1.4)
	FCD-v4	4570	79.4(96.2)	10	142	-21	95	822	86.2	0.69	47	20.6(3.8)	126	9.8(1.6)
	FCD-v6	4570	79.1(96.1)	13	140	-35	94	824	82.8	1.22	66	20.9(3.9)	125	10.3(1.7)
Lokaal incident	FCD-v2	1063	64.2(85.9)	42	278	-50	132	593	72.2	0.70	51	35.8(14.1)	175	3.7(0.8)
	FCD-v3	1063	65.1(85.9)	25	321	-29	127	584	79.0	0.33	30	34.9(14.1)	179	9.2(1.4)
	FCD-v4	1063	64.3(86.0)	40	280	-48	131	592	73.1	0.67	48	35.7(14.0)	174	9.8(1.6)
	FCD-v6	1063	63.6(85.7)	44	277	-64	128	597	67.2	1.27	73	36.4(14.3)	174	10.3(1.7)
Filegolf	FCD-v2	3447	76.1(96.7)	54	98	-29	98	965	82.4	0.92	71	23.9(3.3)	105	3.7(0.8)
	FCD-v3	3452	85.3(98.2)	-3	83	0	90	873	91.0	0.40	32	14.7(1.8)	93	9.2(1.4)
	FCD-v4	3452	84.8(98.1)	3	80	-15	84	878	88.3	0.69	47	15.2(1.9)	93	9.8(1.6)
	FCD-v6	3452	84.6(98.2)	5	78	-28	82	880	85.3	1.21	64	15.4(1.8)	91	10.3(1.7)
Doorlopende filegolf	FCD-v2	1904	93.2(99.2)	58	87	-37	101	1247	84.3	1.14	87	6.8(0.8)	138	3.7(0.8)
	FCD-v3	1906	95.3(99.5)	2	82	-8	90	1222	92.2	0.52	42	4.7(0.5)	130	9.2(1.4)
	FCD-v4	1906	95.1(99.5)	7	80	-23	88	1225	89.9	0.90	60	4.9(0.5)	128	9.8(1.6)
	FCD-v6	1906	95.2(99.5)	9	77	-35	89	1223	87.2	1.58	83	4.8(0.5)	126	10.3(1.7)
Spits werkdagen (7:00-9:00 16:00-18:00)	FCD-v2	2744	73.1(93.9)	51	170	-32	89	769	77.3	0.98	76	26.9(6.1)	137	3.7(0.8)
	FCD-v3	2750	80.7(95.2)	2	189	-9	84	706	87.0	0.43	36	19.3(4.8)	148	9.2(1.4)
	FCD-v4	2749	80.0(95.2)	10	164	-23	86	711	83.3	0.76	53	20.0(4.8)	144	9.8(1.6)
	FCD-v6	2747	79.8(95.1)	13	161	-35	87	714	79.3	1.32	73	20.2(4.9)	144	10.3(1.7)
Buiten spits	FCD-v2	1823	72.1(96.1)	52	123	-36	128	1064	85.0	0.72	51	27.9(3.9)	110	3.7(0.8)
	FCD-v3	1817	78.9(97.3)	4	93	0	118	987	91.8	0.32	25	21.1(2.7)	102	9.2(1.4)
	FCD-v4	1818	78.4(97.3)	11	101	-18	108	992	89.4	0.58	37	21.6(2.7)	100	9.8(1.6)
	FCD-v6	1818	78.1(97.3)	13	100	-34	103	996	86.7	1.07	55	21.9(2.7)	100	10.3(1.7)
AID interval korter dan 120 sec	FCD-v2	1437	40.0(44.9)	6	38	-3	38	80	58.5	0.07	1	60.0(55.1)	66	3.7(0.8)
	FCD-v3	1437	55.2(59.6)	-22	56	11	54	77	74.2	0.06	1	44.8(40.4)	65	9.2(1.4)
	FCD-v4	1437	53.2(57.7)	-16	51	3	48	78	67.5	0.09	2	46.8(42.3)	65	9.8(1.6)
	FCD-v6	1437	52.1(56.9)	-10	51	-7	43	78	58.9	0.18	3	47.9(43.1)	64	10.3(1.7)
AID interval langer dan 120 sec	FCD-v2	3123	87.9(96.7)	61	166	-40	114	1055	81.3	1.04	80	12.1(3.3)	265	3.7(0.8)
	FCD-v3	3123	91.6(97.5)	10	176	-10	107	1021	89.6	0.48	40	8.4(2.5)	288	9.2(1.4)
	FCD-v4	3123	91.6(97.5)	17	157	-27	104	1021	86.6	0.85	59	8.4(2.5)	286	9.8(1.6)
	FCD-v6	3123	91.7(97.5)	19	154	-42	102	1020	83.3	1.49	82	8.3(2.5)	290	10.3(1.7)

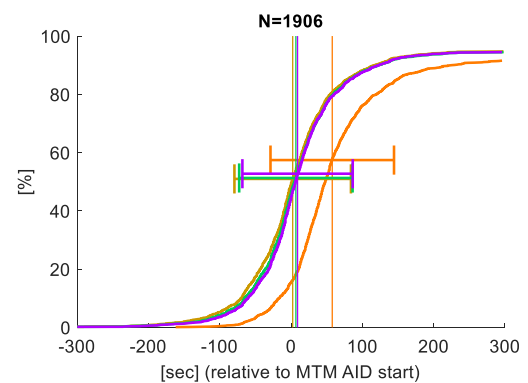
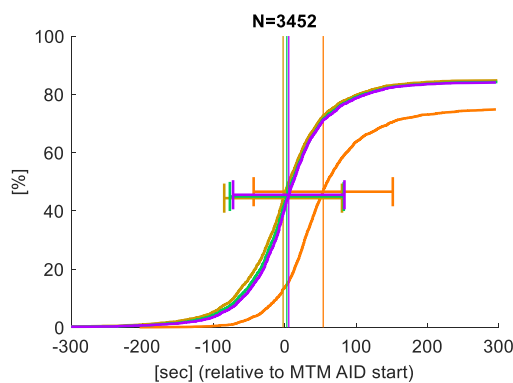
bron: printTimeBasedMetrics

10.6.8 Resultaten A27L grafiekvorm



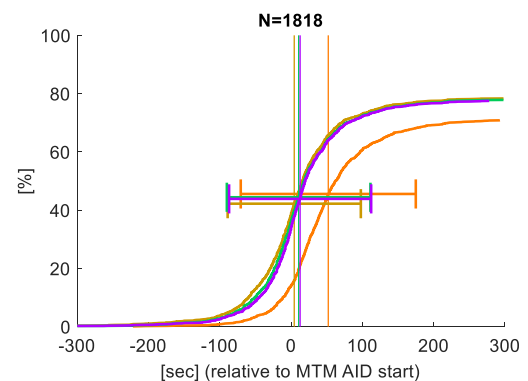
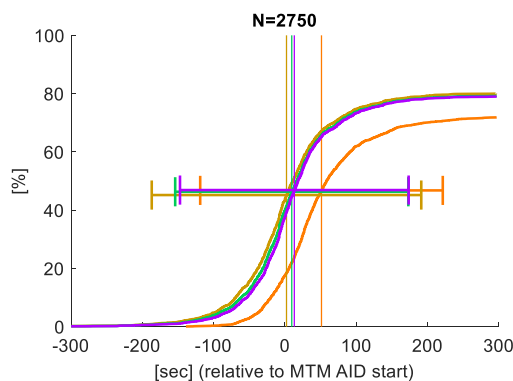
Alle events

Lokale incidenten



Filegolf

Doorlopende filegolf



Alle events in spits op werkdag
(7:00-9:00 en 16:00-18:00)

Alle events buiten spits

Toelichting bij grafieken:

- S-curves: cumulatieve verdeling van reactietijd relatief aan AID inschakel moment MTM
- Vertikale lijn: gemiddelde reactietijd relatief aan MTM
- Horizontale balk: 1x standaardafwijking van de reactietijd

Legenda :

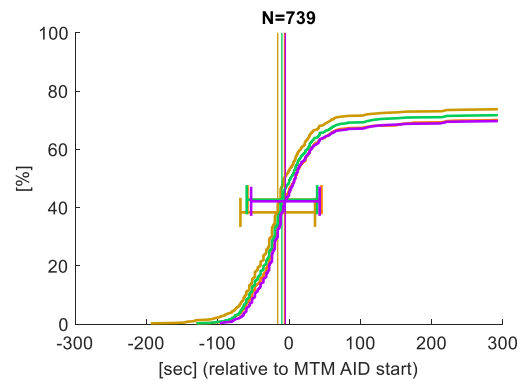
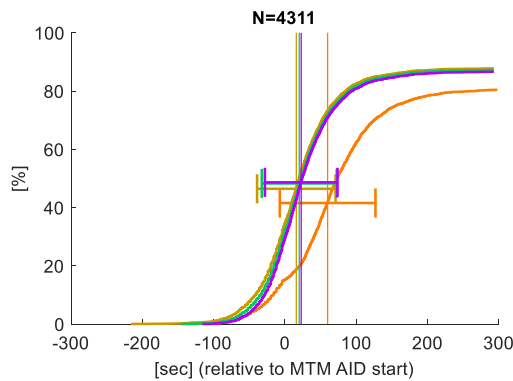
- Relative start (FCD-v2)
- Relative start (FCD-v3)
- Relative start (FCD-v4)
- Relative start (FCD-v6)

10.6.9 Resultaten A58L in tabelvorm

Categorie	Variant	Aantal inter- vallen	Detectie % interval (% tijd)	Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]		Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]		Interval duur [sec]	Overlap (%tijd)	Aantal pauzes	Pauze- duur [sec]	Non Detectie % interval (% tijd)	Interval duur [sec]	Vals Alarm % interval (% tijd)
Alle events	FCD-v2	4309	80.8(95.2)	60	67	11	49	421	79.7	0.15	9	19.2(4.8)	89	3.2(0.4)
	FCD-v3	4311	87.8(97.4)	16	55	25	52	396	90.5	0.06	3	12.2(2.6)	76	3.3(0.5)
	FCD-v4	4311	87.3(97.3)	20	53	12	49	398	88.7	0.10	5	12.7(2.7)	77	4.4(0.6)
	FCD-v6	4311	86.7(97.1)	23	51	-2	47	400	86.3	0.18	7	13.3(2.9)	77	6.0(16.8)
Lokaal incident	FCD-v2	739	70.1(83.6)	-7	52	0	47	175	79.4	0.12	6	29.9(16.4)	81	3.2(0.4)
	FCD-v3	739	73.7(85.9)	-16	52	16	56	171	85.8	0.05	2	26.3(14.1)	79	3.3(0.5)
	FCD-v4	739	71.7(84.8)	-10	49	0	48	174	80.5	0.12	5	28.3(15.2)	79	4.4(0.6)
	FCD-v6	739	69.7(83.7)	-5	48	-14	43	176	74.5	0.21	8	30.3(16.3)	79	6.0(16.8)
Filegolf	FCD-v2	3453	83.5(96.2)	71	62	13	49	463	79.9	0.14	9	16.5(3.8)	91	3.2(0.4)
	FCD-v3	3453	91.1(98.3)	22	53	27	51	434	90.8	0.06	3	8.9(1.7)	75	3.3(0.5)
	FCD-v4	3453	90.8(98.3)	25	51	14	49	435	89.2	0.09	5	9.2(1.7)	75	4.4(0.6)
	FCD-v6	3453	90.6(98.2)	27	49	1	47	436	87.2	0.16	7	9.4(1.8)	75	6.0(16.8)
Doorlopende filegolf	FCD-v2	2500	97.1(99.1)	75	63	14	50	512	80.9	0.15	10	2.9(0.9)	159	3.2(0.4)
	FCD-v3	2500	98.6(99.7)	24	55	28	52	507	91.5	0.06	3	1.4(0.3)	113	3.3(0.5)
	FCD-v4	2500	98.7(99.7)	28	53	14	51	507	90.0	0.10	5	1.3(0.3)	112	4.4(0.6)
	FCD-v6	2500	98.6(99.7)	29	51	-1	48	508	88.1	0.18	8	1.4(0.3)	110	6.0(16.8)
Spits werkdagen (7:00-9:00 16:00-18:00)	FCD-v2	3091	82.4(95.7)	58	65	11	48	421	80.2	0.16	9	17.6(4.3)	88	3.2(0.4)
	FCD-v3	3095	89.1(97.8)	14	53	25	50	398	91.1	0.06	3	10.9(2.2)	74	3.3(0.5)
	FCD-v4	3095	88.7(97.7)	18	50	12	48	399	89.1	0.11	5	11.3(2.3)	74	4.4(0.6)
	FCD-v6	3095	88.1(97.6)	21	49	-1	46	401	86.9	0.19	8	11.9(2.4)	75	6.0(16.8)
Buiten spits	FCD-v2	1215	76.8(93.8)	66	72	10	50	421	78.5	0.11	8	23.2(6.2)	92	3.2(0.4)
	FCD-v3	1213	84.7(96.4)	20	60	25	57	392	89.0	0.05	3	15.3(3.6)	81	3.3(0.5)
	FCD-v4	1213	83.8(96.2)	24	58	11	52	395	87.3	0.08	4	16.2(3.8)	82	4.4(0.6)
	FCD-v6	1215	83.0(96.0)	27	57	-4	48	398	84.8	0.14	7	17.0(4.0)	81	6.0(16.8)
AID interval korter dan 120 sec	FCD-v2	1245	46.9(52.9)	6	47	7	36	83	62.6	0.04	1	53.1(47.1)	65	3.2(0.4)
	FCD-v3	1245	64.2(70.6)	-8	43	17	42	81	77.6	0.02	1	35.8(29.4)	60	3.3(0.5)
	FCD-v4	1245	62.7(69.3)	-3	39	8	35	81	73.2	0.05	1	37.3(30.7)	61	4.4(0.6)
	FCD-v6	1245	61.0(67.8)	1	37	0	33	82	66.7	0.08	1	39.0(32.2)	61	6.0(16.8)
AID interval langer dan 120 sec	FCD-v2	3063	94.5(97.9)	71	65	12	51	489	80.3	0.17	11	5.5(2.1)	183	3.2(0.4)
	FCD-v3	3065	97.5(99.1)	22	56	27	54	481	91.1	0.07	3	2.5(0.9)	169	3.3(0.5)
	FCD-v4	3065	97.3(99.0)	26	54	13	52	481	89.3	0.11	6	2.7(1.0)	169	4.4(0.6)
	FCD-v6	3065	97.2(99.0)	28	52	-2	50	482	87.2	0.20	9	2.8(1.0)	167	6.0(16.8)

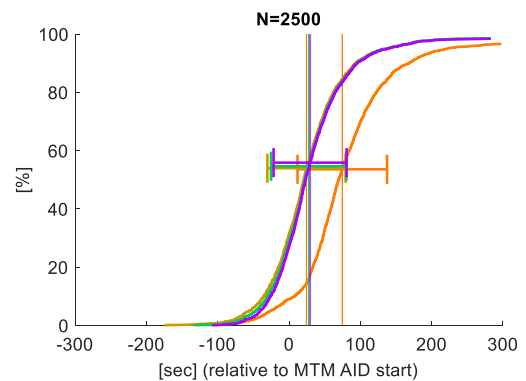
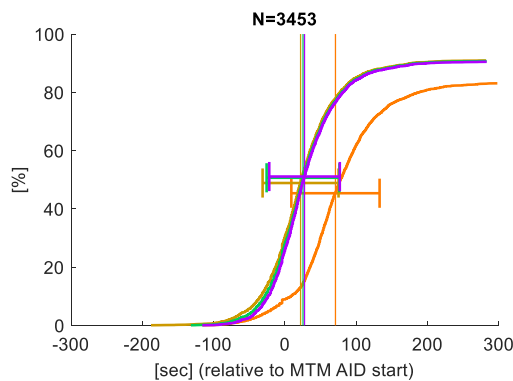
bron: printTimeBasedMetrics

10.6.10 Resultaten A58L grafiekvorm



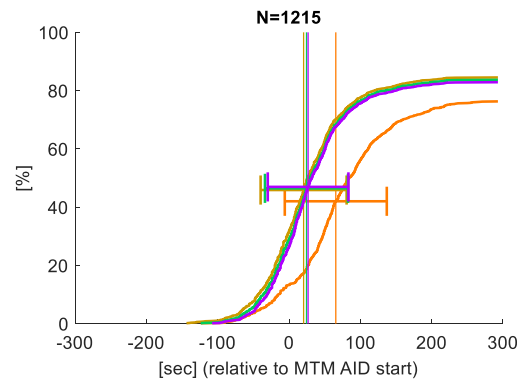
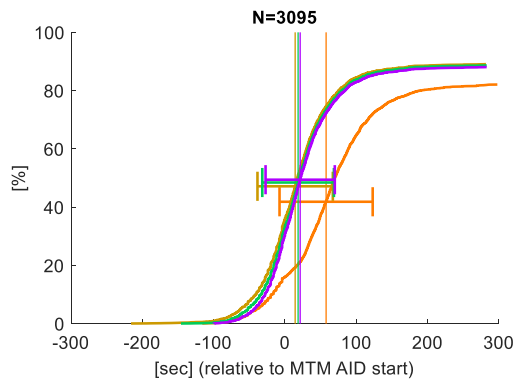
Alle events

Lokale incidenten



Filegolf

Doorlopende filegolf



Alle events in spits op werkdag
(7:00-9:00 en 16:00-18:00)

Alle events buiten spits

Toelichting bij grafieken:

- S-curves: cumulatieve verdeling van reactietijd relatief aan AID inschakel moment MTM
- Vertikale lijn: gemiddelde reactietijd relatief aan MTM
- Horizontale balk: 1x standaardafwijking van de reactietijd

Legenda :

- Relative start (FCD-v2)
- Relative start (FCD-v3)
- Relative start (FCD-v4)
- Relative start (FCD-v6)

10.7 Reactietijd tov inschakelmoment bovenstroomse meetraai

Ieder MTM baanvak is begrensd door twee meetraaien, één aan de benedenstroomse zijde en één aan de bovenstroomse zijde. Een baanvak krijgt een AID status op het moment dat op één van beide meetraaien een snelheidsonderschrijding wordt geconstateerd. Snelheidsonderschrijdingen van meetraaien worden niet apart gelogd, maar kunnen onder bepaalde omstandigheden wel worden afgeleid door de baanvak AID statuswaardes van een aantal naburige baanvakken te combineren. In sectie 7.7 is toegelicht hoe dit in zijn werk gaat.

Bij een ordentelijk opbouwende file bereikt congestie het baanvak eerst aan de benedenstroomse zijde en propageert dan stroomopwaarts. Onder bepaalde omstandigheden kunnen de momenten waarop snelheidsonderscheidingen worden geconstateerd bij de benedenstroomse en de bovenstroomse *meetraaien* apart worden gereconstrueerd.

Deze informatie kan vervolgens worden gebruikt als een extra referentiegegeven bij de beoordeling van de reactietijd van het FCD algoritme bij inschakelen. Ten opzichte van de situatie waarin alleen de AID status van het *baanvak* bekend is kunnen we nu de volgende extra indicatoren uitrekenen:

- *Propagatietijd*. De gemiddelde tijd die een filegolf nodig heeft om te propageren van de benedenstroomse meetraai naar de bovenstroomse meetraai;
- *Propagatiesnelheid*. De bijbehorende gemiddelde snelheid;
- *Secundaire reactietijd*. Het gemiddelde en de standaardafwijking van de reactietijd relatief aan het moment dat bij de bovenstroomse meetraai een snelheidsonderscheiding wordt gedetecteerd;
- *Secundaire reactietijdpercentiel*. De proportie van alle intervallen met een FCD inschakeling die ligt voor het moment dat bij de bovenstroomse meetraai een snelheidsonderschrijding wordt geconstateerd.

Anders dan in de vorige sectie worden deze uitkomsten niet voor alle FCD varianten berekend, maar alleen voor de voorkeursvariant FCD-v3. Ook kan geen onderscheid gemaakt worden tussen verkeersafwikkelingcategorieën. De AID status van meetraaien zijn namelijk alleen bekend voor een deelverzameling van de MTM AID intervallen die als "doorlopende filegolf" zijn geclassificeerd. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 14.

De data in Tabel 14 zijn vanwege de meetbaarheid verzameld voor een deelverzameling van de events die zijn geclassificeerd als "doorlopende filegolf", maar zouden ook moeten gelden voor congestie van het type "filegolf".

Tabel 14: *Standaard en extra indicatoren voor MTM intervallen waarvan het inschakelmoment van de bovenstroomse meetraai bekend is.*

Traject	A1L		A27L		A58L	
Variant	FCD-v3		FCD-v3		FCD-v3	
Aantal intervallen	806		1389		2063	
Detectie % interval (% tijd)	95.0(97.5)		97.0(99.6)		99.4(99.8)	
Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]	17	65	4	88	28	54
Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]	-3	86	-7	92	29	52
Intervalduur [sec]	643		1351		506	
Overlap (%tijd)	83.9		92.9		91.3	
Aantal pauzes	0.65		0.50		0.04	
Pauzeduur [sec]	52		39		2	
Non Detectie % interval (% tijd)	5.0(2.5)		3.0(0.4)		0.6(0.2)	
Intervalduur [sec]	313		193		162	
Vals Alarm % interval (% tijd)	5.1(0.9)		9.2(1.4)		3.3(0.5)	
Propagatietijd per portaal [sec]	108		135		121	
Propagatiesnelheid [km/h]	18.0		13.2		18.1	
Secundaire reactietijd gem/stdafw [sec]	-91	98	-130	146	-93	73
Secundair reactietijdpercentiel	92.6		90.4		92.5	

De verhouding tussen de reactietijd voor het inschakelen zoals berekend in de vorige secties en de propagatietijd geeft globaal aan hoe ver de congestie op het baanvak is teruggeslagen op het moment dat het baanvak van het FCD algoritme een AID status krijgt. Deze waarden bedragen 17/108 (A1L), 4/135 (A27L) en 28/121 (A58L). In het slechtste geval is dit gemiddeld ca 23%. Dit correspondeert met een afstand van ca 125 meter. Bij ongewijzigde toepassing is dit de (gemiddelde) afstand die bestuurders die het front van een doorlopende filegolf doorkruisen *minder* beschikbaar hebben op het moment dat zij een waarschuwing ontvangen.

Doordat de reactietijd een behoorlijke spreiding vertoont geldt dit ook voor deze berekende afstand. De invloed van deze spreiding komt tot uitdrukking in het zogenaamde secundaire reactiepercentiel. Hieruit kan worden afgeleid in hoeveel gevallen de AID status pas ontstaat nadat de congestie de bovenstroomse zijde van het baanvak al bereikt heeft. In dit geval komt de waarschuwing 1 portaal later dan bij het MTM algoritme. Deze proportie is voor alle trajecten minder dan 10%.

Op basis van deze uitkomsten tekent zich een toepassing af waarbij het FCD detectie algoritme wordt gecombineerd met een beeldstandstrategie waarin twee aspecten zijn aangepast.

- Het “vizier” van het FCD algoritme zou ca 125 meter in de stroomafwaartse richting kunnen worden uitgebreid. Hiermee wordt als het goed is de reactietijdbias opgeheven. Overigens resulteert dit ook in AID meldingen die minder specifiek zijn omdat ze betrekking hebben op een langer traject. Hierdoor zal de spreiding toenemen van de afstand (of tijd) tussen het moment van waarschuwen en de congestie waarvoor gewaarschuwd wordt. Ook neemt het aantal vals alarmen door deze maatregel toe omdat nu ook snelheidsonderschrijdingen kunnen worden gedetecteerd die het baanvak nooit zullen bereiken.
- Anderzijds zou een extra inleidende waarschuwing kunnen worden geplaatst. Dit is nodig om rekening te kunnen houden met de spreiding in de reactietijd van het FCD algoritme.

Voor congestie van het type “filegolf” zou deze aangepaste strategie redelijk moeten werken omdat ook de andere relevante parameters “vals alarm kans” en “nondetectie kans” voor dit afwikkelingstype acceptabel zijn. Op de A58 maken doorlopende filegolven de meerderheid (3453 van 4309) van de MTM intervallen uit.

Voor congestie van het type “lokaal incident” geldt bij de A58L een non-detectiekans van 26.3% van de MTM intervallen/14.1% van de MTM intervaltijd. Deze percentages worden door de aangepaste strategie naar verwachting niet wezenlijk beïnvloed.

10.8 Bespreking van de resultaten van de time-headway analyse

10.8.1 Prestaties in algemene zin

De belangrijkste kentallen die de time-headway analyse oplevert zijn de reactietijd en het percentage niet gedetecteerde MTM AID intervallen. De vals alarm kans is ook een belangrijk kental maar kan op basis van de huidige analyse niet worden uitgesplitst per categorie.

Reactietijd

Opvallend is dat variant 2 een duidelijke hogere reactietijd scoort dan de andere drie varianten. Als we variant 2 buiten beschouwing laten dan zijn de ranges waarin de gemiddelde reactietijd ligt 12-17 sec voor de A1L 3-13 seconden voor de A27L en 16-23 seconden voor de A58L. De ranges voor de standaardafwijkingen die hierbij horen zijn 100-101 voor de A1L, 140-159 voor de A27L, en 51-55 seconden voor de A58L.

Non detectie

Ook bij de non-detectie springt variant 2 er in negatieve zin uit met een circa 7% hogere non-detectie kans. De non detectie kans van de andere varianten ontloopt elkaar weinig, maar varieert wel sterk tussen de verschillende trajecten. Bij de A1L bedraagt deze circa 24%, bij de A27L 20.5% en bij de A58L 12.5%

Vals alarm kans

Bij de vals alarm kans valt op dat deze voor variant 6 duidelijk hoger is als bij de andere varianten en bij variant 2 juist duidelijk lager. Ook hier zijn de

verschillende tussen we verschillende trajecten wel weer groot. Variant 2 en 6 uitgezonderd is de vals alarm kans bij de A1L typisch 5.4%, bij de A27L 9.5% en bij de A58L 2.6%

Als we een keuze zouden moeten maken tussen de varianten dan zou variant 2 afvallen vanwege een hoge non-detectiekans en variant 6 vanwege een hoge vals alarm kans. Tussen variant 3 en 4 heeft variant 3 duidelijk de voorkeur. Voor alle drie trajecten scoort deze variant (lichtelijk) beter op de criteria reactietijd, vals alarm kans en non detectie.

10.8.2 Impact van congestietype op performance

In de tabellen zijn 8 categorieën van elkaar onderscheiden, in de grafieken 6. In het onderstaande bespreken we de verschillen tussen de verschillende categorieën.

Incident versus filegolf versus doorlopende filegolf

Het type congestie heeft een grote invloed op met name de non detectie kans en de reactietijd, maar niet altijd op dezelfde manier. Een incident is een gebeurtenis waarbij de bovenstroomse meetraai eerder activeert dan de benedenstroomse meetraai, met als veronderstelde oorzaak een incident in het interieur van het baanvak. De hypothese vooraf is dat FCD hier relatief goed kan scoren omdat de FCD waarnemingen niet tot de randen van het baanvak beperkt zijn, zoals bij MTM wel het geval is.

Voor de A58L lijkt deze hypothese ook op te gaan, de reactietijd van FCD is voor dit traject negatief voor alle varianten, wat wil zeggen dat FCD eerder actief wordt dan MTM. Voor de A1L en de A27L zien we echter het omgekeerde. In deze gevallen is de reactietijd voor FCD juist bovengemiddeld hoog. Dit tegen de intuïtie in omdat verondersteld wordt dat MTM juist in dit soort gevallen vertraagd reageert.

Wat ook opvalt is dat voor alle drie trajecten de non detectie kans van lokale incidenten bovengemiddeld hoog is: 57% bij de A1L, 35% bij de A27L en 27% bij de A58L.

Bij de ultieme tegenhanger van incidenten, de doorlopende filegolf, is de non detectie kans juist buitengewoon laag: 5.6% voor de A1L, 4.8% voor de A27L en 2.6% voor de A58L.

Een laatste observatie is dat variant 2 bij alle categorieën opvalt door een bovengemiddeld hoge reactietijd, behalve bij lokale incidenten. Dit doet vermoeden dat de andere varianten verder benedenstrooms "vooruit" kijken. Dit levert filegolven een voordeel op, maar niet bij incidenten.

Spits versus buiten spits

Het verschil tussen spits en niet-spits is zichtbaar, maar niet heel groot. Typisch neemt de reactietijd met 1 tot 13 seconde en de non detectie kans met 8 seconden (A1L), 1.7 seconden (A27L) en 5 seconden (A58L).

Korte versus lange AID intervallen

De lengte van een AID interval is een belangrijke verklarende variabele voor de non detectie kans. Deze kans neemt snel af naarmate de AID intervallen langer duren. Bij een vergelijking van alle AID intervallen korter dan 2 minuten en alle intervallen langer dan 2 minuten bedragen de afnames 30% (A1L), 27% (A27L) en 34% (A58L).

10.8.3 Hoofdpunten

Op basis van alle gegevens geeft variant 3 voor alle geanalyseerde trajecten de meest gunstige uitkomst. De belangrijkste kentallen voor deze variant zijn bij elkaar gebracht in Tabel 15.

De sleutelindicatoren zijn:

- De vals alarmkans. Dit is de kans dat een FCD interval overlapt met tenminste één MTM interval. Deze kans kan als percentage van het aantal FCD intervallen en als kans van de totale FCD interval duur worden uitgedrukt. Omdat vals alarm events vaak betrekking hebben op een geïsoleerd baanvak is voor de beoordeling van de effectiviteit vooral het tijdpercentage van belang. Uitgedrukt als percentage van de tijd is de vals alarmkans voor geen van de trajecten groter dan 1.4%. Binnen deze 1.4% zitten vervolgens ook nog een onbekend aantal gevallen die ten onrechte als vals alarm zijn aangemerkt, het betreft hier snelheidsonderschrijdingen die niet door MTM zijn opgemerkt. Alles bij elkaar kan de vals alarmkans als "goed" worden beoordeeld.
- De detectiekans. Dit is de kans dat een MTM interval wordt overlapt door 1 of meerdere FCD intervallen. Deze kans kan wederom als percentage van het aantal intervallen en als percentage van de totale tijd waarin MTM actief is worden uitgedrukt. Omdat de niet gedetecteerde MTM intervallen veelal voorkomen als onderdeel van een front van een filegolf lijkt vooral het interval percentage representatief voor de gebruikers ervaring. Dit percentage ligt bij zowel de A1L als de A27L boven de 20%. Bij de A58L ligt dit met 12.2% van de intervallen aanmerkelijk lager. Kort door de bocht betekent dit dat FCD 20% of 12 % effectief is ten opzichte van MTM. De experimenten tonen aan dat vooral de verkeersafwikkelingcategorieën die zijn aangemerkt als "lokaal incident" bijdragen aan het percentage nondetectie. Het betreft hier AID meldingen die getriggerd worden door een snelheidsonderschrijding bij de bovenstroomse meetraai zonder dat hieraan een snelheidsonderschrijding bij de benedenstroomse meetraai aan vooraf is gegaan. De bijbehorende aanname is dat hier sprake is van een incident in het interieur van het baanvak dat (met enige vertraging) wordt geconstateerd. Het gevonden hoge non-detectie percentage bij deze condities is strijdig met de hypothese vooraf dat FCD juist voor dit type incidenten bij uitstek geschikt is vanwege de mogelijkheid om op elk 50 meter segment data in te winnen. Ten behoeve van een praktijktoepassing is het wenselijk maatregelen te nemen die de detectiekans verder vergroten.
- *De reactietijd bij inschakelen.* Dit is de gemiddelde tijd tussen het moment dat MTM AID inschakelt en het moment dat het eerste overlappende FCD interval inschakelt. Als FCD eerder inschakelt is de

reactietijd dus negatief. De gemiddelde reactietijd varieert tussen de 3 en 16 seconden hetgeen acceptabel is. Door het FCD algoritme verder stroomafwaarts te laten kijken zou in theorie mogelijk moeten zijn om de gemiddelde reactietijd op 0 seconden in te regelen (ten koste van een grotere spreiding en vals alarm kans). De gemiddelde reactietijd bij incidenten is negatief, dit is conform de hypothese vooraf dat FCD incidenten in het interieur kan detecteren voordat deze zichtbaar worden bij de bovenstroomse meetraai;

- *De spreiding van de reactietijd.* Bij de A1L en de A27L is sprake van een behoorlijke spreiding in de reactietijd. Dit vertaalt zich in een minder consistente gebruikerservaring. Ten behoeve van een praktijktoepassing zijn maatregelen gewenst die de spreiding in de reactietijd verkleinen. In zekere opzicht is de spreiding in de reactietijd een nog belangrijkere indicator dan de reactietijd zelf omdat de reactietijd uiteindelijk "weggeregeld" kan worden door het vizier van de FCD verder stroomafwaarts te leggen. Voor het verkleinen van de *spreiding* in de reactietijd zijn dergelijke maatregelen niet beschikbaar.

Tabel 15: Kentallen voor de FCD voorkeursvariant, over alle verkeersafwikkelingscategorieën samen

	Traject	A1L		A27L		A58L	
	Variant	FCD-v3		FCD-v3		FCD-v3	
Alle Events	Aantal intervallen	3048		4570		4311	
	Detectie % interval (% tijd)	76.1(90.8)		80(96.2)		87.8(97.4)	
	Reactietijd Inschakelen gem/stdafw [sec]	12	104	3	159	16	55
	Reactietijd Uitschakelen gem/stdafw [sec]	-8	156	-6	99	25	52
	Intervalduur [sec]	468		816		396	
	Overlap (%tijd)	78.3		89.3		90.5	
	Aantal pauzes	0.46		0.38		0.06	
	Pauzeduur [sec]	45		21		3	
	Non Detectie % interval (% tijd)	23.9(9.2)		20(3.8)		12.2(2.6)	
	Intervalduur [sec]	152		129		76	
	Vals Alarm % interval (% tijd)	5.1(0.9)		9.2(1.4)		3.3(0.5)	
Alleen filegolf	Aantal intervallen	806		1389		2063	
	Propagatietijd per portaal [sec]	108		135		121	
	Propagatiesnelheid [km/h]	18.0		13.2		18.1	
	Secundaire reactietijd gem/stdafw [sec]	-91	98	-130	146	-93	73
	Secundair reactietijdpercentiel	92.6		90.4		92.5	

11 Aantal FCD waarnemingen en penetratiegraad

11.1 Werkwijze

Door de leverancier BeMobile zijn spreadsheets beschikbaar gesteld met daarin informatie over het aantal waarnemingen per locatie en uur. Deze data zijn beschikbaar voor de trajecten A1L, A27L en A58L, en voor een werkdag (dinsdag 15/11/2016) en een weekenddag (zondag 13/11/2016). De tijdstempels in de aangeleverde files zijn UTC, deze zijn omgerekend naar lokale Nederlandse tijd, zodat de data overlappen met de Nederlandse kalenderdata 13, 14, 15 en 16 november.

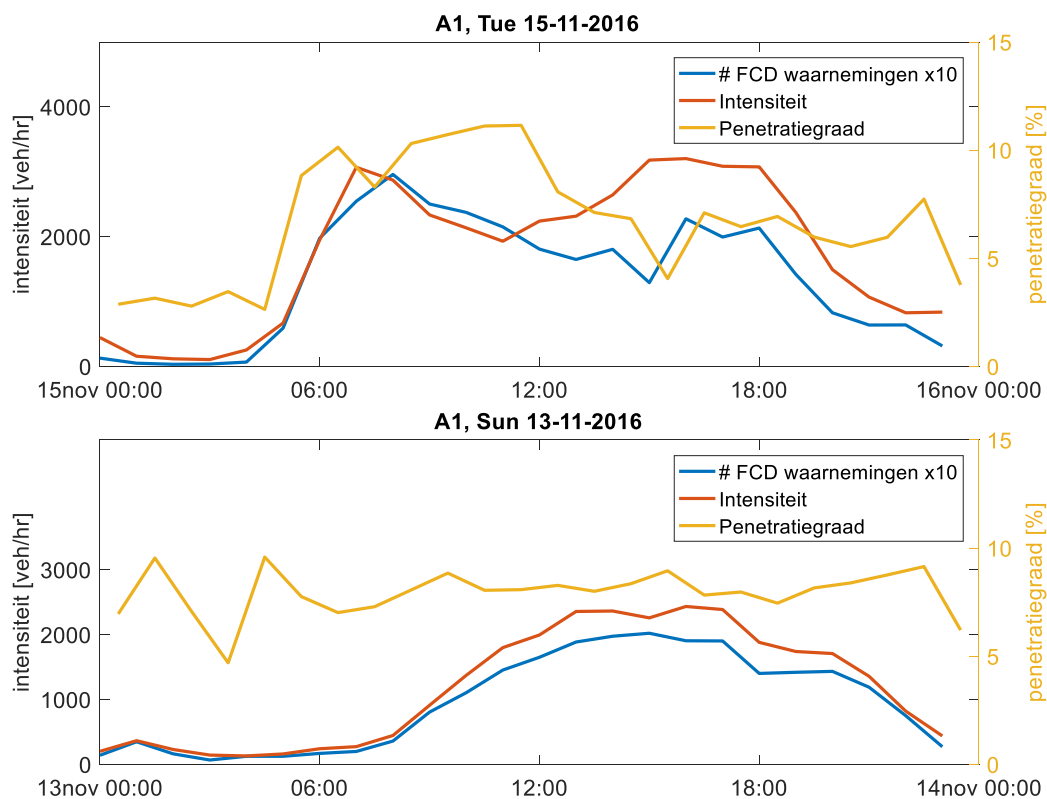
Van deze kalenderdata zijn de RWS 1 minuutloggings van Monica (ADY files) opgehaald. Deze files bevatten (onder andere) intensiteitswaarnemingen per strook. Deze waarnemingen zijn eerst geaggregeerd naar rijbaan en vervolgens naar uren. Vervolgens zijn de BeMobile locaties gekoppeld aan de posities waarover in de ADY files wordt gerapporteerd. Hierbij is een koppeling waarbij de posities niet meer dan 10 meter verschillen als acceptabel beschouwd. Op deze manier konden 238 van de 252 FCD locaties worden gekoppeld. De overige locaties zijn buiten beschouwing gelaten.

Op deze manier is brontabel aangemaakt met de kolommen: traject, hectometerpositie, datum (UTC), uur (lokale tijd), aantal FCD waarnemingen, en tot slot intensiteit volgens Monica. Deze tabel is gebruikt om per traject en datum een grafiek te plotten die voor elk uur van de dag het aantal FCD waarnemingen, de intensiteit en de daaruit volgende penetratiegraad toont. Deze grafieken worden in de volgende sectie zonder verder commentaar getoond.

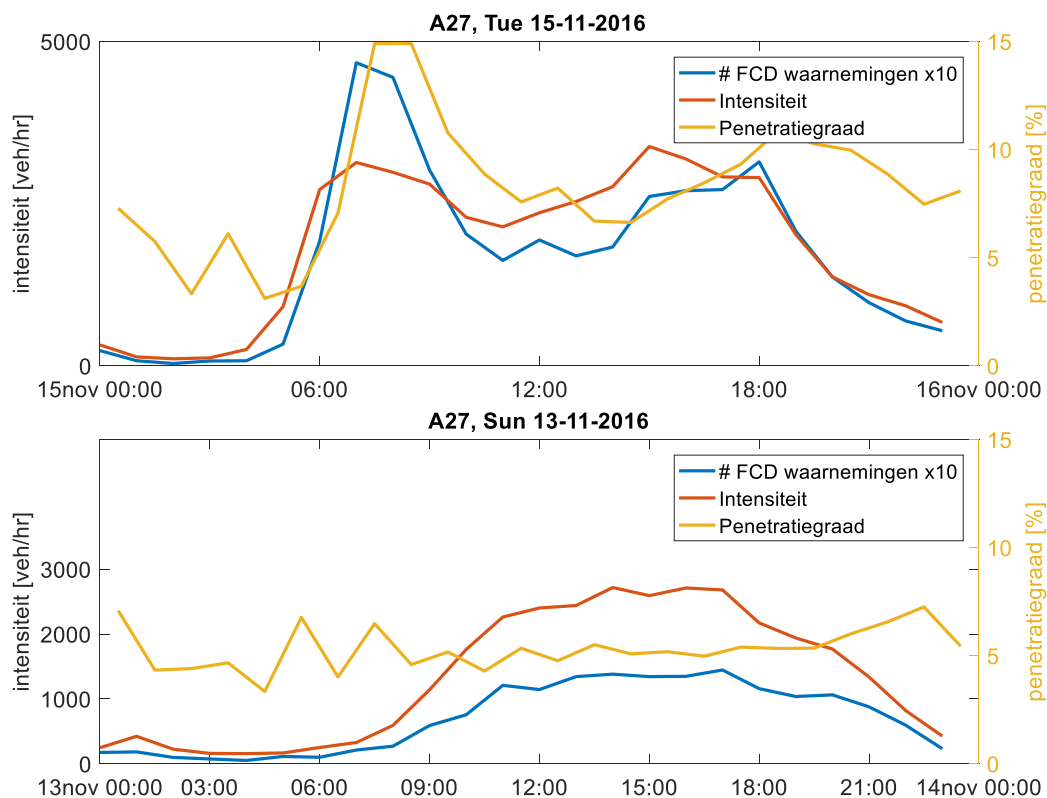
Noot: De tijdstempels van de brondata starten bij 01:00 lokale tijd en lopen door tot 01:00 de dag erna. In de grafieken is dit laatste uur dat overloopt in de dag erna ingevoegd aan het begin.

11.2 Penetratiegraad per traject, dagtype en uur van de dag

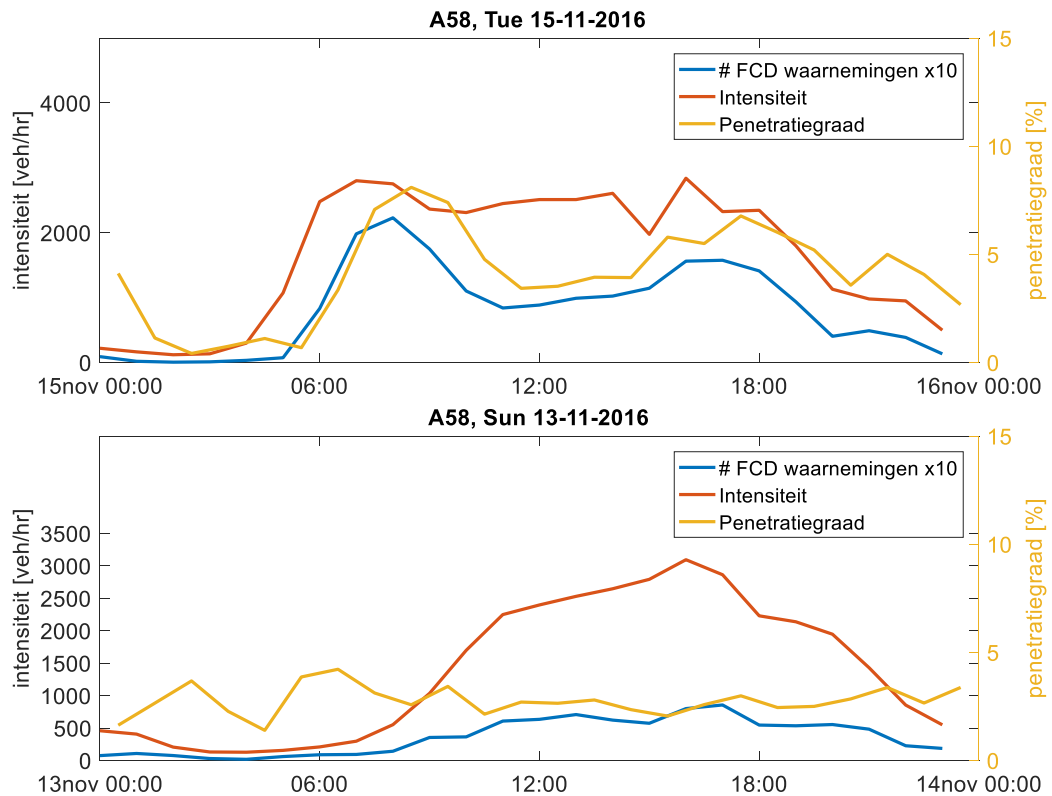
11.2.1 Resultaten A1L



11.2.2 Resultaten A27L



11.2.3 Resultaten A58L



11.3 Absolute aantallen FCD waarnemingen

11.3.1 Afleiding van de vereiste FCD waarnemingsintensiteit

Een FCD detectiemethode reageert op een incident na het beschikbaar komen van k waarnemingen. Hoeveel waarnemingen precies nodig zijn voordat een AID status wordt afgegeven hangt af van de details van het algoritme, maar vermoedelijk worden tenminste 2 waarnemingen gebruikt om vals alarmen uit te sluiten.

Een ondergrens voor de gemiddelde reactietijd van een FCD algoritme kan worden berekend als de verwachting van de tijd die nodig is om deze k waarnemingen te verzamelen. Deze verwachting kan als volgt worden benaderd:

-a-

De gebeurtenis:

"de k^e waarneming komt beschikbaar in seconde n "

staat gelijk aan de combinatie van de twee gebeurtenissen:

"er zijn $k-1$ waarnemingen beschikbaar in seconde 1 tm $n-1$ "

"er is 1 waarneming beschikbaar in seconde s "

-b-

Deze kansen laten zich berekenen als:

$$\binom{n-1}{k-1} p^{k-1} (1-p)^{n-k} \quad \text{en} \quad p$$

met p de kans op een waarneming in een willekeurige seconde (dus bijvoorbeeld: 1/60 bij een gemiddelde van 1 waarneming per minuut). De benadering bestaat eruit dat we de kans op meerdere waarnemingen in een seconde als 0 beschouwen.

-c-

De verwachtingswaarde van het aantal seconden die nodig zijn om deze k waarnemingen te verzamelen laat zich nu berekenen als:

$$p^k \cdot \sum_{n=k}^{\infty} n \cdot \binom{n-1}{k-1} (1-p)^{n-k}$$

Uitdrukking -c- makkelijk numeriek evalueren, bijvoorbeeld met het volgende script:

```
k=2;
numVehiclePerMinute=1;
prob_vehicle_per_second=numVehiclePerMinute/60;
mean_value=0;
for n=k:10000
    probn=...
        nchoosek(n-1,k-1)*...
        prob_vehicle_per_second^(k)*...
        (1-prob_vehicle_per_second)^(n-k);
    mean_value=mean_value+n*probn;
end
```

De uitkomst hiervan blijkt gelijk te zijn aan:

$$60 \text{ sec} \cdot k / \# \text{aantal waarnemingen per minuut}$$

Dus bijvoorbeeld 120 seconden bij 1 waarneming per minuut en 2 benodigde waarnemingen.

11.3.2 **Gevolg voor de huidige toepassing**

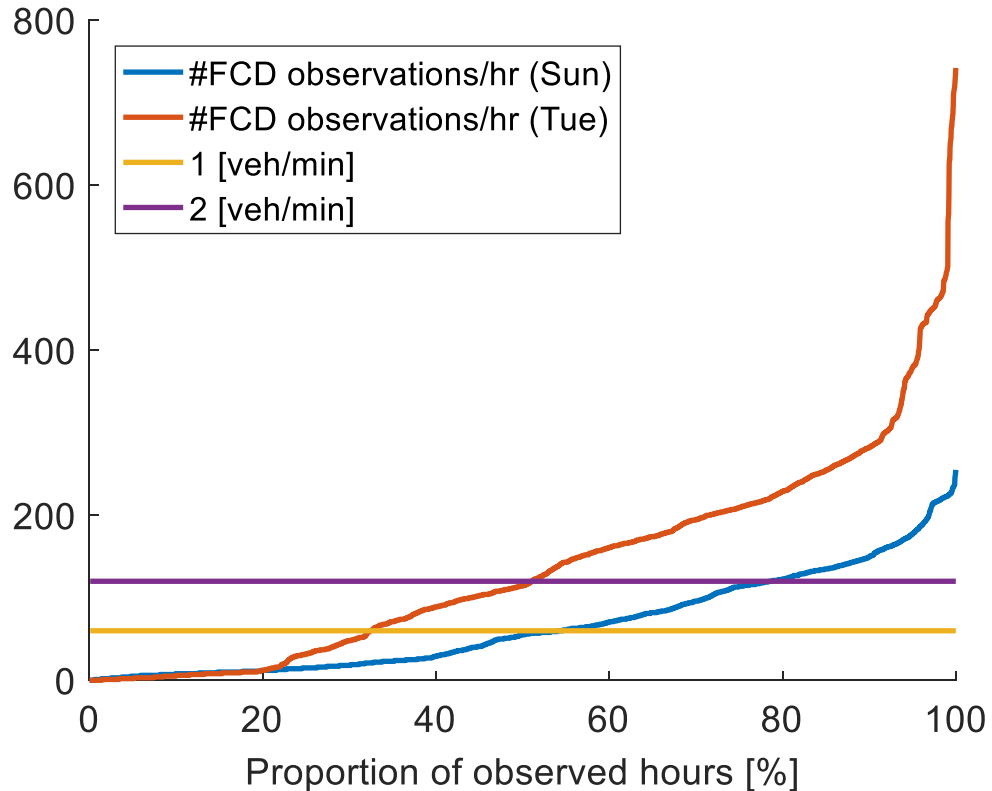
Het gevolg van de bovenstaande theorie voor de huidige toepassing (en vele andere FCD toepassingen) is dat niet de penetratiegraad maar het absoluut aantal waarnemingen de belangrijkste succesfactor is.

Als we bijvoorbeeld een gemiddelde responstijd van 120 seconden hanteren als uiterste acceptabele waarde voor een signaleringstoepassing, dan voldoen uren met minder dan 60 waargenomen voertuigen per uur niet aan het criterium. Bij een maximum geaccepteerde gemiddelde responstijd van 60 seconden voldoen alleen de uren met meer dan 120 waarnemingen.

In Figuur 34 wordt de cumulatieve verdeling van het aantal FCD waarnemingen per uur getoond (gecombineerd over alle trajecten). Uit de figuur blijkt dat op de beschouwde werkdag circa 70 procent van de tijd het gemiddelde aantal waarnemingen per minuut groter is dan 1. Op een typische zondag daalt dit percentage naar 50%.

Als we het criterium strenger stellen en gemiddelde 2 FCD waarnemingen per minuut eisen dan voldoen op de werkdag 50% van de uren en op de zondag 25% van de uren.

De praktische impact van het een en ander val vermoedelijk mee. De AID meldingen die MTM genereert vallen voor het overgrote deel binnen de drukste uren van de dag.



Figuur 34: Cumulatieve verdeling van het aantal FCD waarnemingen in een uur (alle trajecten gecombineerd).

11.4 Hoofdpunten

- Uitgaande van Poisson verdeelde waarnemingstijdstippen is de te verwachten tijd benodigd voor het verzamelen van k FCD waarnemingen gelijk aan k/n minuut, met n het gemiddeld aantal waarnemingen per minuut;
- Bij een gemiddelde responsetijd van 120 seconden als uiterste acceptabele waarde, en minimaal 2 benodigde FCD waarnemingen voor het afgeven van een AID status moet het uurgemiddelde aantal FCD waarnemingen hoger dan 60 zijn om deze responsetijd te halen;
- Op een (voorbeeld) werk-etmaal voldoen 70% van de uren aan dit criterium. Op een zondag is dit 50%;
- Om een gemiddelde responsetijd van 60 seconden te halen bij verder gelijke aannames moet het uurgemiddelde aantal FCD waarnemingen hoger dan 120 zijn;
- Op een (voorbeeld) werk-etmaal voldoen 50% van de uren aan dit criterium. Op een voorbeeld zondag is dit 25%;
- Buiten deze uren is FCD als databron wel inzetbaar maar zal de gemiddelde responsetijd hoger zijn dan 2 respectievelijk 1 minuut.

12 Beoordeling van de beschikbaarheid

Een van de onderzoeksvragen is wat de beschikbaarheid is van het FCD systeem dat in de huidige studie wordt beoordeeld. Dit hoofdstuk gaat op deze vraag in.

12.1 Veronderstelde oorzaken en aard van storingen

Het FCD systeem bestaat uit een centraal systeem ondersteund door meerdere deelsystemen. Deze deelsystemen kunnen onderdeel zijn van een parallelle verwerkingsstructuur die noodzakelijk is om alle benodigde rekentaken uit te kunnen voeren, maar kunnen ook fysiek op verschillende plaatsen aanwezig zijn bijvoorbeeld doordat gebruik wordt gemaakt van verschillende toeleveranciers of omdat per gebied een apart inwinsysteem is geconfigureerd.

Ieder deelsysteem, maar ook de communicatie tussen deelsystemen is kwetsbaar voor storingen. Hierdoor kan een gedeelte van het systeem of het gehele systeem tijdelijk uitvallen.

12.2 Zelfdiagnose binnen MTM

Binnen het ontwerp van MTM systeem is het concept van graceful degradation ver doorgevoerd. Verschillende onderdelen van het systeem zoals communicatie, stroomvoorziening en zelfs de lampen in de portalen worden constant gemonitord en als een component faalt worden maatregelen genomen die moeten voorkomen dat er een onveilige situatie ontstaat.

Ieder portaal heeft een eigen noodstroombatterij die goed is voor circa 4 uur autonomie. Als de stroom en/of de communicatie met de centrale (TOP) uitvalt kan het portaal blijven functioneren op basis van lokaal ingewonnen data. Daarbij worden de laatste geziene afkruisingen gehandhaafd en blijft de AID functie reageren op het verkeer ter plekke. Uiteraard vervallen wel de functies die vanuit de TOP worden aangestuurd, zoals nieuwe afkruisingen of inleidende beeldstanden.

12.3 Beschikbaarheid gezien vanuit het perspectief van de afnemer

Het FCD systeem beslaat een bepaalde regio en is uit te splitsen naar een verzameling locaties die worden bepaald door de portalen die in de studie betrokken zijn. De beschikbaarheid kan worden bepaald per locatie apart en wordt vervolgens geaggregeerd naar het gehele studiegebied. Het vaststellen van de beschikbaarheid van het systeem voor een bepaalde locatie is in feite alleen mogelijk indien het systeem deze beschikbaarheid zelf bevestigt.

De veronderstelling hierbij is dat de logfile van de FCD data vergelijkbaar is aan die van MTM. In dit geval worden alleen mutaties in de beeldstand gelogd. Als er lange tijd geen meldingen in de logfile staan, dan is er volgens de geldende interpretatie geen sprake van uitval maar zijn er simpelweg geen mutaties te melden.

12.4 Monitoring beschikbaarheid FCD

Om toch zicht te krijgen op de mate van uitval zou de logfile een periodieke melding moeten bevatten die de status van het systeem weergeeft. De afwezigheid van een dergelijke melding is dan een indicatie dat het systeem niet beschikbaar is. Tijdens de demo is dit geïmplementeerd door het systeem elke minuut een zogenaamd "HEARTBEAT" record te laten wegschrijven. De aanwezigheid van het record garandeert dat de hoofdcomponent van het systeem online is. In twee opeenvolgende HEARTBEAT records een onderling tijdverschil van meer dan 70 seconden hebben wordt het meerdere beschouwd als een periode waarin het systeem niet beschikbaar is geweest.

12.5 Resultaten

De testfase van de praktijkproef heeft gelopen van 6 dec 16:00 tot 20 dec 23:30 (20699 minuten). Tijdens deze periode is de beschikbaarheid 100% geweest. Dit wil zeggen dat er nooit een pauze tussen twee HEARTBEAT records is geweest die langer heeft geduurd dan 70 seconden. In deze periode zijn er evenmin meldingen van de leverancier geweest van andere technische problemen.

De conclusie mag dus zijn dat het systeem 100% beschikbaar is geweest.

In de aanloop naar de testfase is het een aantal malen voorgekomen dat het systeem geen AID meldingen genereerde maar wel HEARTBEAT records. In deze gevallen bleek soms een interne feed uitgevallen te zijn.

De zelfdiagnose eigenschap van het systeem strekt zich op dit moment klaarblijkelijk niet uit tot alle toeleverende deelsystemen. Bij een toepassing in de praktijk vereist dit aspect nog extra aandacht.

13 Beantwoording van de onderzoeksvragen

De voorgaande hoofdstukken zijn in de meeste gevallen al afgesloten met een lijst hoofdpunten, een samenvatting of conclusies. Deze komen in compacte vorm weer terug in de management summary. Dit hoofdstuk richt zich expliciet op de vragen van de opdrachtgever zoals geformuleerd in sectie 2.2. Desgewenst kan het huidige hoofdstuk ook gelezen worden als een (ingevulde) checklist die controleert of alle vragen aan bod gekomen zijn.

De onderstaande lijst behandelt puntsgewijs de onderzoeksvragen uit sectie 2.2.

- Is de levering van FCD over een langere periode voldoende betrouwbaar om het snelwegsignaleringsysteem (MTM) te voeden
Uit de beoordeling van de beschikbaarheid (hoofdstuk 12) is gebleken dat tijdens de praktijkproef de technische beschikbaarheid 100% was gedurende een periode van ruim 2 weken.
- Is de actualiteit van de FCD zodoende dat inderdaad real-time aansturing van MTM kan worden gegarandeerd
Hier is niet een heel duidelijk antwoord op. Als naar het algemene beeld wordt gekeken dan blijken de periodes waarin MTM en FCD overlappen heel goed met elkaar te corresponderen. Als in detail naar het inschakelmoment wordt dan komt dit gemiddeld goed overeen, maar is wel sprake van 60 tot 160 seconden. Ook komt het bij kortere MTM intervallen relatief vaak voor dat er geen corresponderend FCD interval gevonden wordt.
- Zou in spitsperiodes de weergave van de beeldstanden op de signaalgevers vanuit voeding met FCD hetzelfde qua boodschap en tijdigheid zijn als vanuit de voeding met lusdetectiedata
In grote lijnen wel. Vanuit het perspectief van een weggebruiker zal het verschil tussen FCD en MTM in de spits vermoedelijk nauwelijks worden opgemerkt.
- Is FCD voldoende bruikbaar op rustige momenten (weinig auto's dus weinig "gegevens" op de weg)
Op grond van de beschikbare gegevens over het aantal FCD waarnemingen is het antwoord op deze vraag: "in de eerste paar minuten na een incident (zie hoofdstuk 11) niet". In de beschikbare MTM log data komen deze situaties overigens ook nauwelijks voor.
- Is FCD voldoende bruikbaar in bijzondere omstandigheden, denk aan wegwerkzaamheden en incidenten
Er is bij het onderzoek alleen een onderscheid tussen verkeersafwikkelingscategorie "lokaal incident" en "filegolf". Een lokaal incident treedt op aan de kop van een file. Uit de resultaten bleek dat op basis van FCD filegolven veel nauwkeuriger worden gevolgd dan incidenten. Dit is gedeeltelijk, maar niet volledig, te verklaren door het feit dat de duur van een incident een dominante parameter is in de detectie ervan.

- Zijn situationele variabelen (locatiespecifiek (verschillende wegvakken), weersomstandigheden,) onderscheidend waar het gaat om de betrouwbaarheid van FCD data t.o.v. lusdata?

Er is geen apart onderzoek gedaan naar de invloed van weersomstandigheden. Het studiegebied bestaat uit een drietal trajecten. De resultaten per traject verschillen behoorlijk, dit heeft vermoedelijk vooral te maken met het verkeersbeeld dat op het ene traject chaotischer is dan op het andere. In de voorbereidende fase van de praktijkproef is ook gebleken dat op specifieke locaties extra veel valse detecties of juist ontbrekende detecties zijn opgetreden. Dit is door aanpassingen of inregeling van het algoritme grotendeels ondervangen.

14 Bijlage : Analysesoftware voor vergelijking MTM en FCD logfile

Voor de inspectie en analyse van de resultaten zijn softwaremodules ontwikkeld. De functie van deze modules is de volgende:

- Visualiseer de resultaten van FCD en MTM gebaseerde algoritmes;
- Analyseer deze resultaten door op basis van de ruwe data een aantal indicatoren uit te rekenen;
- Presenteer deze indicatoren in makkelijk doorzoekbare tabellen en in grafiekvorm.

14.1 Visualisatie van logfile resultaten

Na interpretatie van de logfiles zijn per methode en per locatie de AID intervallen bekend. Een AID-interval wordt gekenmerkt door:

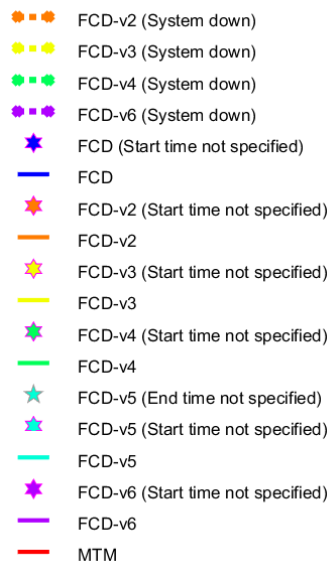
- de detectiemethode;
- de locatie;
- het begintijdstip;
- het eindtijdstip.

Alle AID intervallen worden samen in één figuur getoond op de volgende wijze:

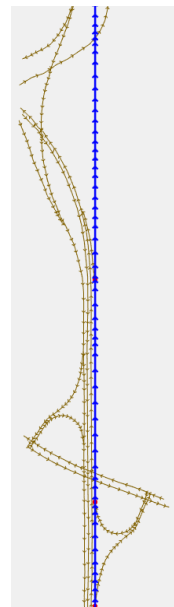
- De detectiemethode wordt door middel van een kleur aangegeven (zie Figuur 36). Ook worden de verschillende methodes iets verschoven ten opzichte van elkaar getekend zodat de lijnen niet over elkaar heen vallen. In de legenda kan geselecteerd worden welke varianten wel en niet zichtbaar zijn;
- De locatie bestaat uit de hectometerpositie en wordt op de y-as afgebeeld. Parallel aan de y-as wordt een thematische kaart weergegeven (Figuur 37) waarop de locatie van toe- en afritten, parallelwegen en dergelijke zichtbaar is;
- Boven de grafiek is een statusbalk weergegeven waarin de periodes worden weergegeven waarin systemen off line zijn geweest;
- Op het centrale figuur kan worden ingezoomd tot elk gewenst detail nivo.



Figuur 35: *Inspectie AID events*



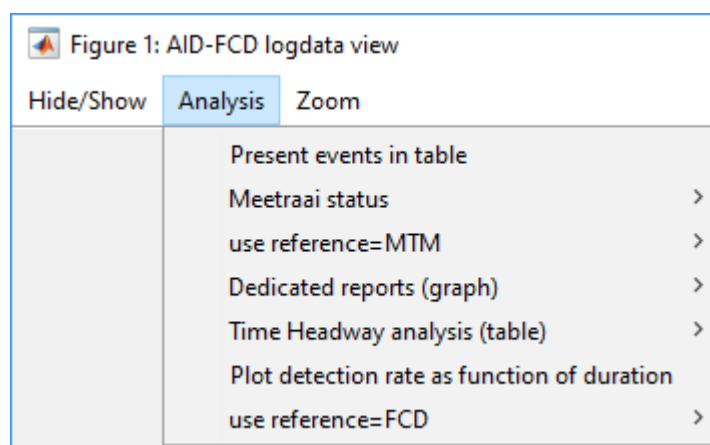
Figuur 36: *Interactieve legenda*



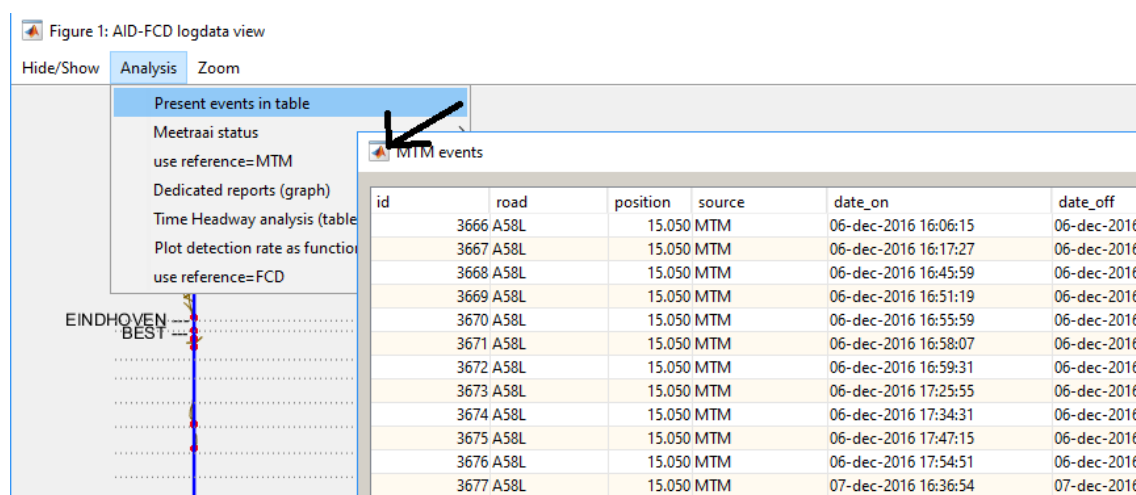
Figuur 37: *Thematische kaart met dashboard perspectief*

14.2 Analyse menu

Door middel van menu's kunnen verschillende analyses op de getoond data gestart worden. Het menu bestaat uit 7 submenus:



14.2.1 Present events in table



Dit menu toont de MTM event in tabel vorm. In de tabel kunnen met een filter items worden geselecteerd. De geselecteerde items worden in het hoofdscherm met zwarte balkjes gemarkeerd.

De tabel heeft de volgende kolommen:

Kolom	Inhoud
id:	een uniek ID van het MTM event dat ook in ander analyses terugkomt
road, position:	een unieke identificatie van de locatie
source	altijd "MTM" voor de huidige tabel
date-on,date-off:	Het begin- en eindtijdstip van dit interval
duration:	de duur van het interval in secondes
posnr:	een unieke volgnummer voor de baanvaklocatie binnen de huidige dataset, oplopend in de rijrichting
hasUpstreamNeighbour:	true indien binnen 900 meter een bovenstrooms baanvak begint
hasDownstreamNeighbour:	true indien binnen 900 meter een benedenstroomse baanvak begint
downStreamDistance:	lengte van het baanvak
AIDtype:	Verkeersafwikkelingstype. Mogelijke waarden:

	"filegolf", "incident" of "unknown"
AIDnext:	Informatie over hoe de file vanaf het huidige baanvak trugslaat naar het bovenstroomse baanvak. Mogelijke waardes "filegolf", "resolve" of "unknown"
initialOff:	Indien ingevuld. De duur dat de bovenstroomse meetraai van het baanvak gegarandeerd de AID status "uit" heeft.

14.2.2 Meetraai status

Meetraai status	Meetraai status afleiden uit baanvak status
use reference=MTM	Meetraai status niet meer tonen

Met het menu "Meetraai status" kan een functie worden gestart die uit de meetraai status afleid uit de baanvak status. Deze status wordt vervolgens gevisualiseerd in het hoofdscherm met rode balken (meetraai zeker aan) en rode balken (meetraai zeker uit).

14.2.3 Event based statistics

use reference=MTM	Present event based statistics
Dedicated reports (graph)	Present daily statistics
Time Headway analysis (table)	Present statistics for visible locs and period
Plot detection rate as function of duration	Plot P(false positive) against P(false negative)
use reference=FCD	Plot Relative begin and end of AID period for visible locs and period

De event based statistics vormen de grondstof voor de berekening van betekenisvolle indicatoren. Een event bestaat uit een FCD-interval en een overlappend MTM-interval, indien er tenminste sprake is van overlap. In het andere geval worden lege waardes ingevuld bij de FCD of MTM velden.

event_start:	Het aanvangstijdstip van het gedefinieerde event.
interval_start:	Begin FCD AID interval
interval_end:	Einde FCD AID interval
ref_interval_start:	Begin overlappend MTM interval
ref_interval_end:	Einde overlappend MTM interval
premature_overlap:	Lengte van het FCD interval dat gerekend wordt tot de voortijdige alarmering
early_overlap:	Lengte van het FCD interval dat gerekend wordt als vroegtijdig, maar adequate alarmering
true_overlap:	Lengte van het daadwerkelijke overlap tussen FCD en MTM voor het huidige event
late_overlap:	de duur dat FCD nog "aan" blijft nadat FCD "uit" gaat
no_overlap:	Alleen >0 indien een interval "FCD aan" in het geheel niet overlapt met een periode "MTM aan"
absent_overlap:	Alleen >0 indien een interval "MTM aan" in het geheel niet overlapt met een periode "FCD aan"

delta_start:	Het tijdstip dat FCD "aan" gaat ten opzicht van het tijdstip dat MTM "aan" gaat (in secondes)
delta_end:	Het tijdstip dat FCD "uit" gaat ten opzicht van het tijdstip dat MTM "uit" gaat (in secondes)
position:	De Hm Positie waarover gerapporteerd wordt
source:	De variantnaam voor FCD
refsource:	De referentie set (altijd MTM)
rank:	Indien een MTM event overlapt met meerdere FCD events wordt voor ieder overlap een record aangemaakt. Het attribuut "rank" fungeert als volgnummer.
isfirst:	Dit attribuut wordt gebruikt om het vroegste overlap te selecteren (equivalent aan rank=1)
islast:	Dit attribuut wordt gebruikt om het laatste overlap te identificeren
id_source:	Unieke ID van het FCD interval
id_ref:	Unieke ID van het MTM interval
overige attributen:	De attributen die samenhangen met id_ref

De analyse set voor de A1L bestaat uit 34554 events, die voor de A27L uit 66758 en die voor de A58L uit 34185 events. Deze events hebben betrekking op de periode vanaf avondspits 6 december tot en met de avondspits van 22 december 2016 en betreffen 6 methode varianten en 1 referentiemethode. Na filtering op een specifieke methodevariant blijft typisch 1/6 deel van de events over. Op basis van deze event-verzameling worden de onderstaande indicatoren berekend.

14.2.4 *Dayly statistics*

De event based statistics kunnen worden geaggregeerd over periode en locaties. Op deze manier ontstaat een gemiddeld beeld. In het overzicht "Dayly statistics" wordt deze aggregatie per dag uitgevoerd. Per methode variant en dag worden de volgende indicatoren berekend:

aid_on:	De totale duur in secondes dat de FCD methode de status "aan" heeft, onder te verdelen in de volgende totalen:	
	premature_overlap:	te vroeg aan
	early_overlap:	vroeg, maar niet te vroeg aan
	true_overlap:	daadwerkelijk overlap met referentie
	late_overlap:	te laat uitgeschakeld
ref_aid_on:	no_overlap:	in het geheel geen overlap met referentie
	De totale duur in secondes dat de referentiemethode (MTM) de status "aan" heeft, onder te verdelen in de volgende totalen:	
	true_overlap:	(zie hierboven)

	absent_overlap:	De periode dat MTM aan is maar FCD niet. Ook wel aangeduid als "False Negative".
just_alarm:	De som van de periodes die worden aangemerkt als "terechte" AID melding. Hieronder vallen:	
	early_overlap:	(zie boven)
	true_overlap:	
false_alarm:	De som van de periodes die worden aangemerkt als onterechte AID melding. Hieronder vallen:	
	premature_overlap:	(zie boven)
	late_overlap:	
	no_overlap:	
prop_just_alarm:	De proportie van "aid_on" die bestaat uit "just_alarm"	
prop_false_alarm:	De proportie van "aid_on" die bestaat uit "false_alarm"	
prop_missing_alarm:	De proportie van "ref_aid_on" die bestaat uit "absent_overlap" (ook wel aangeduid false negative)	
delta_start:	Het gemiddelde tijdstip van aanschakelen van de methode "fcd" ten opzichte van de methode "mtm". Deze indicator heeft alleen betrekking op de deelverzameling van events waarvoor er sprake is van enig overlap (dus prop_just_alarm>0)	
delta_end:	analoog aan "delta_start", maar nu voor uitschakeltijdstip.	

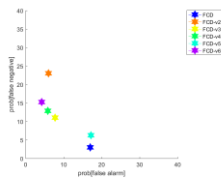
14.2.5 **Statistics for visible area**

Het is ook mogelijk om een aantal dagen samen te nemen en een deelverzameling van de locaties te beschouwen. Dit gebeurt in het overzicht "Statistics for visible area". Dit overzicht aggregeert alle events die door de gebruiker zichtbaar zijn gemaakt door in te zoom op een deel van het traject en de tijd as. Het overzicht bevat slechts 6 regels, één regel per methode variant. De indicatoren zijn dezelfde als in het overzicht "daily statistics".

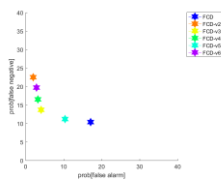
14.2.6 **Plot kansen op false positives and false negative**

Uit het overzicht "Statistics for visible area" zijn de resultaat variabelen "prop false alarm" en "prop false negative" af te lezen. Deze twee uitkomsten zijn de dominante indicatoren voor de beoordeling van de performance. In het ideale geval zijn beide indicatoren gelijk aan 0. In dit geval zou het moment van aanschakelen van FCD nooit meer dan 60 seconden voor het moment van MTM mogen liggen en moeten de FCD meldingen de MTM volledig overlappen.

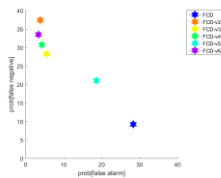
Het onderstaande figuur toont de uitkomst voor het traject A58L



Figuur 38: *Kans "ten onrechte uit" uitgezet tegen kan "ten onrechte aan". Traject A58L, gehele studieperiode.*



Figuur 39: *Kans "ten onrechte uit" uitgezet tegen kan "ten onrechte aan". Traject A27L, gehele studieperiode.*

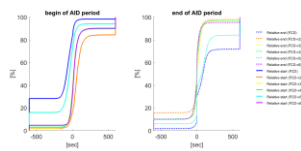


Figuur 40: *Kans "ten onrechte uit" uitgezet tegen kan "ten onrechte aan". Traject A1L, gehele studieperiode.*

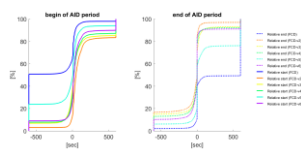
14.2.7 Plot relatief tijdstip van start en einde

Op basis van de individuele events zoals geproduceerd bij "event based statistics" kan de cumulatieve verdeling worden geplot tussen het moment van inschakelen van FCD en het moment van inschakelen van de referentiemethode.

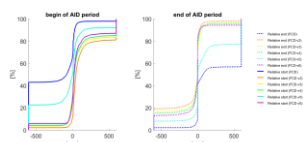
FCD inschakelingen die niet overlappen met een MTM inschakeling worden hierbij weergegeven als een inschakeling 600 seconden te vroeg. Inschakelingen van MTM die niet zijn te matchen aan een FCD inschakeling worden beschouwd als een inschakeling 600 seconden te laat. Derhalve zijn de vals alarm kansen ter linkerzijde van de grafiek af te lezen en de "ten onrechte uit" kansen ter rechterzijde.



Figuur 41: *Cumulatieve verdeling van in- en uitschakeltijdstip. A58L.*



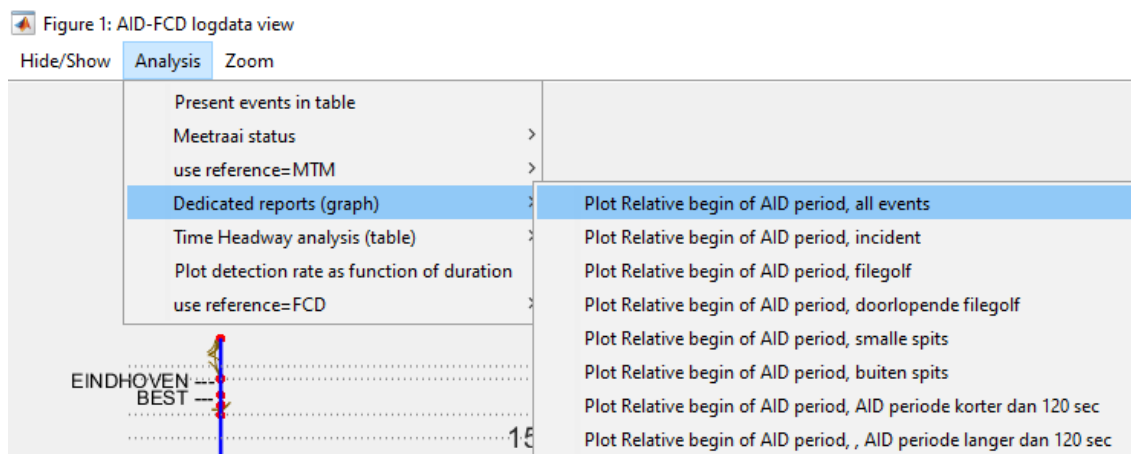
Figuur 42: *Cumulatieve verdeling van in- en uitschakeltijdstip. A27L.*



Figuur 43: Cumulatieve verdeling van in- en uitschakeltijdstip. A1L.

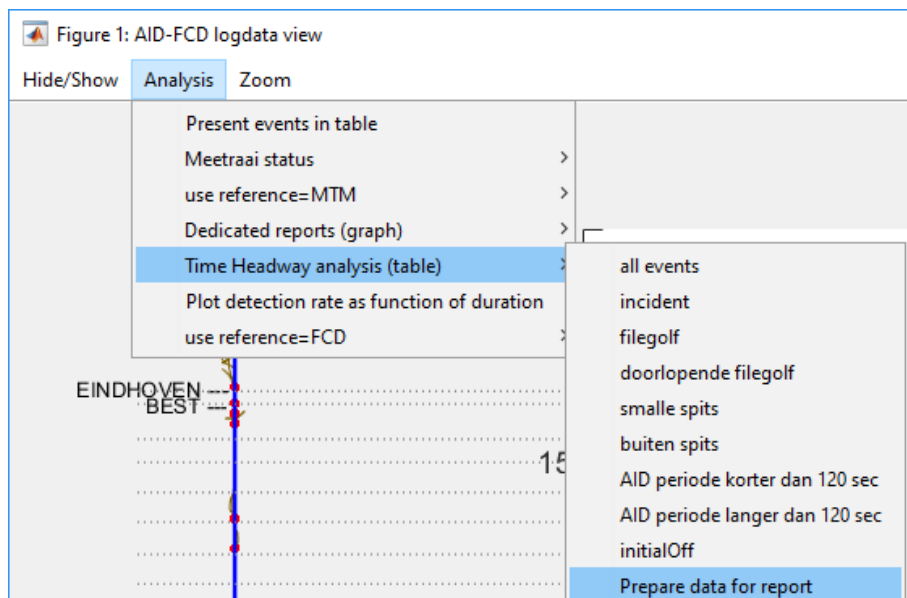
14.2.8 Dedicated reports (graph)

Deze menus worden gebruikt om de grafieken in 10.6.4, 10.6.6 en 10.6.8 te reproduceren.



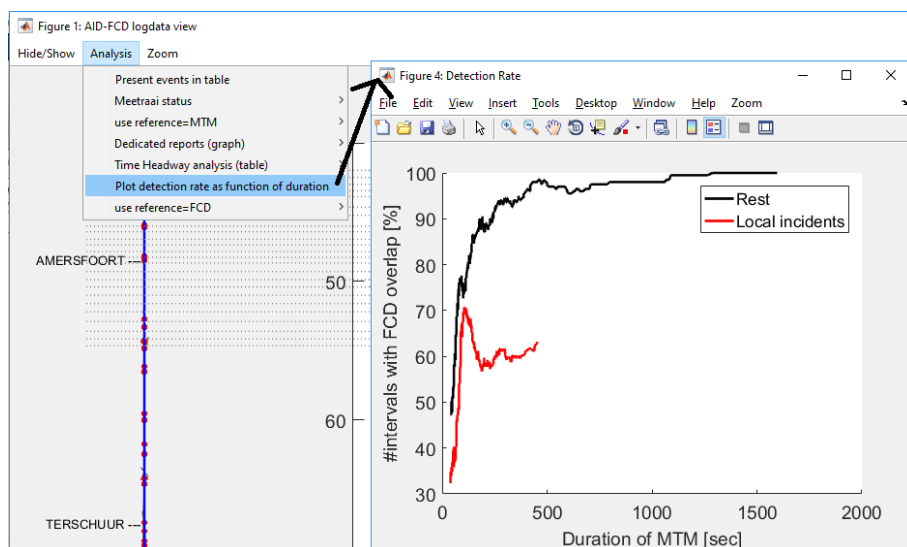
14.2.9 Time headway analysis (table)

Deze menus worden gebruikt om de tabellen in hoofdstuk 10 te reproduceren.



14.2.10 *Plot detection rate as function of duration*

Deze menu optie is gebruikt om de data voor 8.5 te reproduceren.



14.2.11 *Use reference=FCD*

Deze menus werken analoog aan het menu "Use reference=MTM", maar nu wordt de methode "FCD" als referentie ingesteld.

