

Modelit
Elisabethdreef 5
4101 KN Culemborg



info@modelit.nl
www.modelit.nl

Evaluatie Proeftraject iWKS

Datum 9 september 2020

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Incidenten en filevorming	1
1.2	Doel van de evaluatie	2
1.3	Inhoud van dit rapport	2
2	Incident	3
2.1	Het risico van incidenten	3
2.2	Wanneer waarschuwen voor een incident	3
2.3	Theoretische incidentcontour en AID bepaling	4
2.3.1	In car alertering	4
2.3.2	Road side based alertering	5
2.4	AID in de praktijk: MTM	5
3	Beschrijving van de onderzochte varianten	7
3.1	MTM	7
3.2	GPS gebaseerde methodevarianten	8
3.2.1	Beschikbare data	8
3.2.2	Verwerkingsstappen	8
3.2.3	Werking	9
3.2.4	Vorm van het nabijheidsgebied	12
3.2.5	Schokgolf coördinaten	13
3.2.6	Ellipsvormig nabijheidsgebied	14
3.2.7	Parameters en naamgeving van de methode	15
3.2.8	Bepaling AID voor een verkeersbaan	16
3.3	Door BeMobile aangeleverde AID's: methode "FCD"	16
4	Gebruikte data	20
4.1	Trajecten	20
4.2	Bepaling uit te sluiten periodes	20
5	Referentiemethode	21
5.1	Functie van een referentiemethode	21
5.2	Beschikbare databronnen	21
5.3	Overwegingen met betrekking tot databronnen	22
5.4	Combinatie van referentiemethodes	23
5.5	Bepaling te combineren GPS variant	23
5.5.1	Basisvorm nabijheidsgebied	23
5.5.2	Te variëren parameters	24
5.5.3	Beoordelingswijze, indicatoren	25
5.5.4	Resultaten	26
5.5.5	Selectie	28
6	Resultaten	29
6.1	Resultaten voor A9 rechts	29
6.1.1	Grafische weergave van de resultaten	29
6.1.2	Interpretatiewijze van de grafische resultaten	30
6.1.3	Beoordeling grafische resultaten	31
6.1.4	Resultaten A9R in getallen	32
6.1.5	Gevoeligheid mbt gebruikte referentie	36
6.1.6	Algemeen oordeel naar aanleiding van de resultaten A9R	37

6.2	Resultaten voor A9 Links	38
6.2.1	Grafische weergave van de resultaten	38
6.2.2	Resultaten A9L in getallen	38
6.2.3	Gevoeligheid mbt gebruikte referentie	40
6.2.4	Algemeen oordeel naar aanleiding van de resultaten A9R	41
7	Uitsplitsing per locatie voor de A9R	42
7.1	Aanleiding	42
7.2	Te vergelijken varianten	42
7.3	Indicatorwaardes in tabelvorm	42
7.4	Probleemtraject.....	43
7.5	MTM configuratie ter hoogte van probleemtraject	44
7.6	Hypothese: stilstaand verkeer op rijbaan B	45
7.7	Tijd- weg weergave rondom locatie A9R 58460 in de spits	46
7.8	Verkeersbeeld tijdens spitsperiode.....	48
7.9	Bevindingen	50
8	Samenvatting en conclusies.....	52
8.1	Doel.....	52
8.2	Data	52
8.3	Raamwerk	52
8.4	Varianten	53
8.5	Beoordelingswijze.....	53
8.6	Voorkeursvariant	54
8.7	Voorbehoud	54
8.8	Mogelijke verfijningen en aanvullend onderzoek	54
9	Bronverwijzingen	56
10	Bijlage: MSI locaties	57
10.1	HM posities van portalen	57
10.2	MTM Configuraties	58
10.2.1	Parameters	58
10.2.2	MTM Configuratie A9 Rechts.....	59
10.2.3	MTM Configuratie A9 Links	62
10.3	Portalen ingetekend op de kaart	63
11	Bijlage: Bepaling uit te sluiten periodes	68
12	Bijlage: bepaling AID intervallen uit AID logging	70

1 Inleiding

In het kader van het project iWKS onderzoekt Rijkswaterstaat de mogelijkheid om gebruik te maken van Floating Car Data ten behoeve van filestaartbeveiliging op Nederlandse snelwegen.

In Nederland is de filestaartbeveiliging geeffectueerd door matrixborden boven de weg die worden aangestuurd door een systeem met de naam Motorway Traffic Managent (MTM). In een eerder project is al ervaring opgedaan door MTM beeldstanden te genereren op basis van FCD data en deze te vergelijken met MTM beeldstanden zoals gegenereerd door de RWS systemen. De verkeerskundige evaluatie van dit project is destijds door Modelit uitgevoerd, zie *Zijpp (2017)*.

In het eerdere project werd zoveel mogelijk voldaan aan de eisen van een productieomgeving door de beeldstanden real-time te bepalen en beschikbaar te maken in de verkeerscentrale.

Het huidige project "Pilot met Floating Car Data ten behoeve van Automatische Incident Detectie van Rijkswaterstaat" beoogt in technisch opzicht een stap verder te zetten door een aantal fysieke wegkantsystemen langs de weg te installeren en deze aan te sturen met FCD gebaseerde beeldstanden. Op tenminste één van deze wegkantsystemen zijn ook de matrix signaalgevers aangesloten, zodat ook deze hardware getest wordt. De matrix borden worden evenwel nog niet aan de weggebruikers getoond.

In het project wordt gebruik gemaakt van een nieuwe generatie "intelligente" wegkantsystemen (iWKS). In tegenstelling tot de traditionele MTM systemen kan de functie van deze iWKS systemen worden gewijzigd door het aanpassen van de software die erop draait.

1.1 Incidenten en filevorming

In de verkeerskundige context wordt met "incident" een situatie op een autosnelweg bedoeld waarbij een doorstroming ernstig gehinderd wordt. Dit kan komen door een fysieke blokkade of door filevorming of door een combinatie van beide.

Alhoewel er in het spraakgebruik onderscheid is te maken tussen incident als oorzaak van filevorming en de file zelf, is dit onderscheid op systeemniveau minder van belang. De essentie is dat er situaties zijn waarbij de maximum veilige rijnsnelheid drastisch beperkt is en dat het noodzakelijk is het achteropkomende verkeer hiervoor te waarschuwen.

Als we in dit rapport spreken van Automatische Incident Detectie (AID) dan wordt de detectie van zowel incidenten als filevorming bedoeld.

In de praktijk komt AID bijna altijd neer op de automatische detectie van langzaam rijdend verkeer. Ook in dit rapport is dit het geval. Dit komt omdat snelheidsmetingen over het algemeen de enige beschikbare bron van waarnemingen is die duidelijk samenhangt met de aanwezigheid van incidenten en filevorming. Het is echter goed om in het achterhoofd te

houden dat ook andere detectietechnieken zoals videoanalyse of data van “connected cars” kunnen worden ingezet voor het zelfde doel.

1.2 Doel van de evaluatie

De huidige studie onderzoekt hoe effectief de incidentstatus op autosnelwegen kan worden bepaald op basis van floating car data.

Het oorspronkelijke plan was om de evaluatie uit te voeren op basis van de uitkomsten van een volledig operationeel algoritme. Dat wil zeggen: een algoritme dat hardware aanstuurt die fysiek aanwezig is langs de A9. Doordat de implementatie ernstige vertraging heeft opgelopen is dit binnen het huidige project niet mogelijk gebleken.

Daarom is uitgeweken naar een alternatief waarbij de algoritmes binnen een ontwikkelomgeving zijn geïmplementeerd en vervolgens zijn worden beoordeeld.

1.3 Inhoud van dit rapport

- Hoofdstuk 2 gaat in op de definitie van een incident en incidentlocatie en beschrijft hoe het MTM systeem hiermee omgaat;
- Hoofdstuk 3 beschrijft welke methodes voor AID onderzocht worden;
- Hoofdstuk 4 beschrijft met de manier waarop een referentie is bepaald waarmee alle methodevarianten kunnen worden vergeleken;
- Hoofdstuk 5 gaat in op het studiegebied en de beschikbare data voor de studie;
- Hoofdstuk 6 presenteert alle indicatorwaardes in geaggregeerde vorm;
- Hoofdstuk 6.2.3 onderzoekt een aantal indicatorwaardes in groter detail door ze uit te splitsen naar plaats en in te zoomen op specifieke spitsperiodes;
- Hoofdstuk 8 bevat de conclusies;
- De overige hoofdstukken bevatten bijlages die in gaan op de exacte ligging van de onderstations, de details van de MTM configuratie, de selectie van uit te sluiten periodes en de methode die is gebruikt om AID intervallen af te leiden uit MTM logfiles.

2 Incident

Zoals in de inleiding al is aangegeven is een incident een situatie op een autosnelweg waarbij de doorstroming ernstig gehinderd wordt. De oorzaak van een incident is ofwel een blokkade ter plekke (wrakstukken op de weg na een ongeval, afgevalen lading, stilgevalen voertuigen), slechte zicht- of rijcondities (extreme mist, gladheid, bermbrand) ofwel filevorming ten gevolge van ontoereikende verwerkingscapaciteit bij grote verkeersdrukke.

Waar precies de grens tussen wel- en geen incident moeten worden gelegd is enigszins arbitrair, maar in de praktijk wordt het optreden van snelheden onder 35 km/h gezien als de start van een incident. Volgens de gangbare definitie duurt dit incident voort totdat al het verkeer dat de incidentlocatie passeert weer doorrijdt met een snelheid van ten minste 50 km/h.

Stroomopwaarts van een incident ontstaat vrijwel altijd een wachtrij die we kennen als file. Indien de verwerkingscapaciteit tijdelijk is beperkt door een uitzonderlijke omstandigheid zoals een ongeval dan noemen we de file die daar het gevolg van is een incidentfile. Indien de verwerkingscapaciteit in stand blijft, maar de verkeersvraag simpelweg groter is dan spreken we van een capaciteitsfile.

In uitzonderlijk situaties kunnen lage snelheden ook bij afwezigheid van files voorkomen. Bijvoorbeeld bij een gedeeltelijke blokkade van de weg die voldoende restcapaciteit overlaat voor de verkeersvraag van dat moment, zodat geen file ontstaat. Denk bijvoorbeeld aan een ongeval dat niet alle stroken blokkeert. Juist dit type situaties is overigens erg riskant.

2.1 Het risico van incidenten

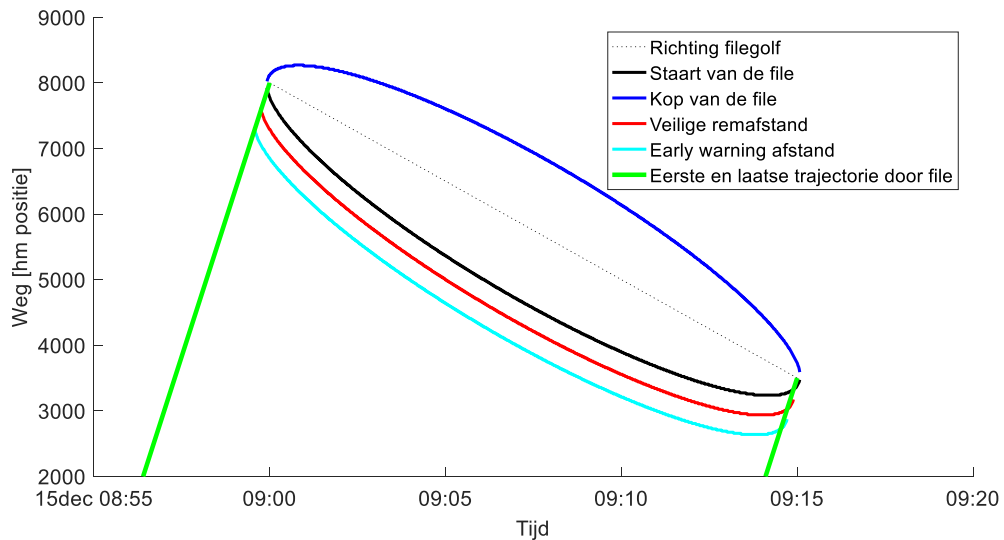
Een incident op een autosnelweg is een situatie met stilstaand of langzaam rijdend verkeer. Achteropkomend verkeer kan hierdoor verrast worden waardoor gevaarlijke situaties of erger kunnen ontstaan. De belangrijkste functie van Automatische Incident Detectie (AID) is dan ook om het achteropkomend verkeer tijdig te waarschuwen zodat bestuurders de snelheid kunnen aanpassen of op zijn minst alerter zullen reageren.

2.2 Wanneer waarschuwen voor een incident

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 1 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. Dit is ook de uiterste plaats (als functie van de tijd) waarop de bestuurder gewaarschuwd

moet zijn. De lichtblauwe lijn licht iets bovenstrooms hiervan en geeft de een geschikte plaats voor een eerste waarschuwing aan.

Rijkswaterstaat hanteert zelf het begrip "waarschuwingsafstand". Dit is de afstand tussen de het eerste matrixbord met de melding *70* (70 met flashers) en de locatie waar langzaam verkeer wordt waargenomen.



Figuur 1: Schematisch voorbeeld van een filegolf

2.3 Theoretische incidentcontour en AID bepaling

In Figuur 1 wordt een incident voorgesteld als een oppervlakte die wordt begrensd "incidentcontour" die in dit geval bestaat uit de zwarte en blauwe lijn. In een simpele voorstelling van zaken kan men deze contour afleiden uit de lokale snelheid waarvan dan moet worden verondersteld dat deze voor elke combinatie van tijd en plaats bekend is. De contour wordt dan bijvoorbeeld gevormd door de punten waarop de snelheid precies 35 km/h is.

Strikt genomen is de snelheid echter een eigenschap van voertuigen die samen de verkeerstroom vormen en is deze dus alleen beschikbaar op locaties waar ook echt een voertuig aanwezig is. Op ander locaties kan de snelheid hooguit door interpolatie bepaald worden.

Daarom kunnen we wellicht beter spreken van de "maximum veilige snelheid". Alhoewel dit ook een abstractie is, kan dit begrip worden ingevuld voor alle combinaties van tijd en plaats.

2.3.1 In car alertering

Indien er een manier zou zijn om bestuurders op een willekeurige plaats te waarschuwen voor benedenstroomse incidenten, dan kan de meest

geschikte combinatie van tijd en deze tijd en plaats direct uit Figuur 1 worden afgeleid.

2.3.2 Road side based alertering

In de huidige praktijk worden matrixborden op portalen gebruikt voor de filestaartbeveiliging. Deze portalen zijn op strategische plaatsen neergezet, maar omdat deze locaties vast en de locaties waar filevorming optreedt niet zal de afstand tussen de locatie waarop het verkeer wordt gewaarschuwd en de locatie van het incident in de praktijk fluctueren.

2.4 AID in de praktijk: MTM

In het geval van MTM wordt de incidentconditie lokaal vastgesteld op een dwarsdoorsnede van de weg. Deze dwarsdoorsnede wordt een detectieraai genoemd. Er wordt een detectieraai gebonden AID melding geïnitieerd als op ten minste één rijstrook die onderdeel uitmaakt van de detectieraai het moving average van de waargenomen snelheden onder een vooraf ingestelde onderdrempel zakt. Deze onderdrempel is in de meeste gevallen 35 km/h.

Deze AID melding wordt pas weer opgeheven wanneer het moving average van de waargenomen snelheden voor alle rijstroken binnen de detectieraai weer is toegenomen boven de bovendrempel, die meestal is ingesteld op 50 km/h.

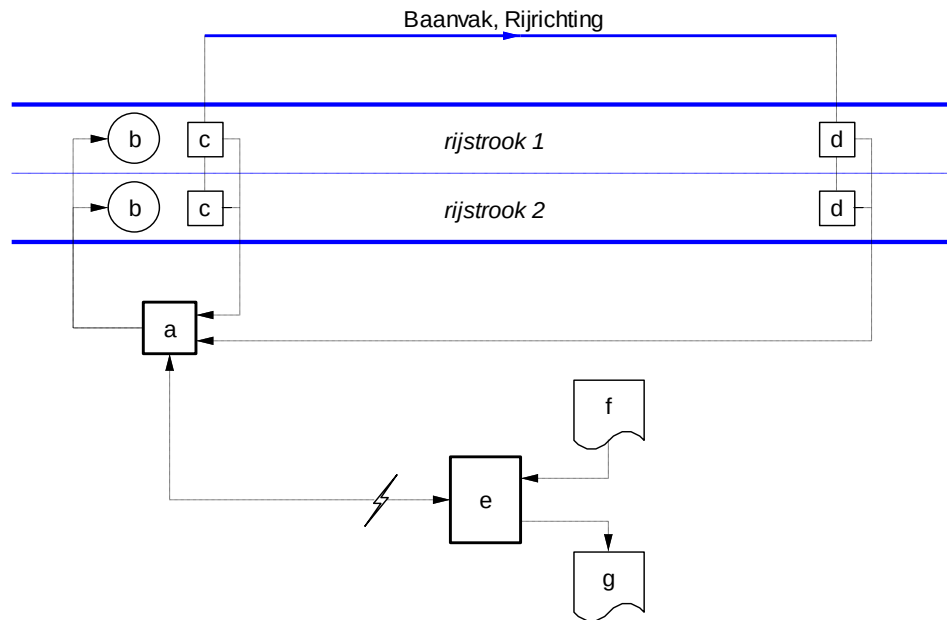
Het verschil tussen onder- en bovendrempel zorgt ervoor dat periodes met- en zonder AID elkaar niet te snel opvolgen.

Verwijzend naar Figuur 2: Een ondertstation (a) stuurt matrixsignaalgevers (MSI's) (b) aan op basis van gegevens afkomstig uit lusdetectoren (c) ter hoogte van de MSI's 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 standaardsituatie (ook wel standaard areaal genoemd) zijn er twee detectieraaien (c) en (d) bepalend voor de beeldstand zoals getoond op de signaalgevers (b). Als de situatie erom vraagt kunnen echter ook extra detectieraaien 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): Onderstation
- (b): Matrixsignaalgevers gemonteerd op portaal boven weg
- (c): Detectielussen op detectieraai ter hoogte van portaal
- (d): Detectielussen van benedenstroomse detectieraai
- (e): TOP (Transactie Oriënted Processor)
- (f): MTM configuratiefile
- (g): MTM logfile

Figuur 2: *Elementen betrokken bij MTM*

3 Beschrijving van de onderzochte varianten

Dit hoofdstuk beschrijft alle algoritmevarianten die in de huidige studie worden onderzocht.

3.1 MTM

De werking van MTM is gedetailleerd beschreven in *Zijpp (2017)* (hoofdstuk 4). In datzelfde rapport is beargumenteerd dat de evaluatie van systemen die MTM kunnen aansturen zich zou moeten toespitsen op de zogenaamde AID intervallen. Deze lijn passen we ook in de huidige studie toe. Ook de visualisatie en analyse software die in de eerdere studie is gebruikt is in de huidige studie als uitgangspunt gebruikt. De variant "MTM" wordt in de huidige studie op dezelfde manier bepaald als in de eerdere studie.

AID intervallen in MTM: beknopte uitleg

AID intervallen hebben betrekking op een verkeersbaan die (over het algemeen) is ingesloten door twee *detectieraaian*. Iedere detectieraaian is opgebouwd uit een aantal stroken. Als op één van deze stroken het moving average van de snelheid van de passerende voertuigen daalt onder de onderdrempel (configureerbaar, maar meestal 35 km/h) krijgt de hele detectieraaian de status "AID AAN". Deze status wordt pas gewijzigd in "AID UIT" op het moment dat het verkeer op alle stroken van de detectieraaian weer doorrijdt met een snelheid boven de bovendrempel (configureerbaar, maar meestal 50 km/h). De AID status van de ingesloten *verkeersbaan* wordt volgens de volgende beslistabel bepaald:

Tabel 1: *Beslistabel AID status voor MTM standaard areaal*

AID status detectieraaian bovenstrooms	AID status detectieraaian benedenstrooms	AID status ingesloten verkeersbaan
uit	uit	uit
uit	aan	aan
aan	aan	aan
aan	uit	aan

Eigenschappen van MTM: onterechte en gemiste detecties

Een typische eigenschap van het MTM systeem is dat 100% van het passerende verkeer wordt waargenomen. Deze waarneming beperkt zich doorgaans tot slechts twee locaties: de boven- en benedenstroomse begrenzungen van de beschouwde verkeersbaan. In uitzonderlijke gevallen wordt slechts één detectieraaian of juist een extra tussenliggende detectieraaian gebruikt.

De werking van het MTM systeem sluit onterechte AID's nagenoeg uit omdat een AID alleen optreedt als er daadwerkelijk langzaam verkeer binnen de beschouwde verkeersbaan wordt waargenomen. Daarom zouden alleen foute snelheidswaarnemingen een onterechte AID kunnen veroorzaken. De gebruikte techniek voor het waarnemen van snelheden binnen MTM is echter dermate robuust dat dergelijke waarnemingen nagenoeg niet optreden.

Een beperking van MTM is dat incidenten binnen een beschouwde verkeersbaan pas worden waargenomen wanneer het incidentgebied zich heeft uitgebreid tot één van de detectieraaian van de verkeersbaan. Als er sprake is van een terugslaan is dit geen probleem omdat de filegolf dan als eerste de benedenstroomse detectierai van de verkeersbaan bereikt en dus onmiddellijk wordt gedetecteerd. Als er echter *binnen* de verkeersbaan een incident ontstaat, dan wordt dit pas gedetecteerd op het moment dat het incident is teruggeslagen naar de bovenstroomse detectierai van de verkeersbaan. Uitgaande van een typische afstand van 500 meter tussen detectieraaian en een snelheid van filegolven van 18 km/uur is het slechtste scenario in dit geval een detectievertraging van 0.5/18 uur oftewel 100 seconden.

3.2 GPS gebaseerde methodevarianten

3.2.1 Beschikbare data

De "ruwe" GPS data bestaan uit een groot aantal records die er (in XML vorm) als volgt uitzien:

```
<posities>
  <voertuig_id>
    <uuid>421896d9-dfa2-4a69-a423-df06e6fb6454</uuid>
  </voertuig_id>
  <positie>
    <ts_positie>2019-06-23T21:27:54Z</ts_positie>
    <longitude>4.704952367987262</longitude>
    <latitude>52.50657378273463</latitude>
    <snelheid>94</snelheid>
    <heading>207</heading>
  </positie>
</posities>
```

In dit geval geldt de uuid als een (tijdelijk) unieke identificatie van een voertuig. Het tijdstempel, de positie, de snelheid en de heading zijn rechtstreeks afkomstig van het device dat data deelt met BeMobile. Alhoewel de uuid

3.2.2 Verwerkingsstappen

De stappen die nodig zijn om deze data te vertalen naar AID's zijn:

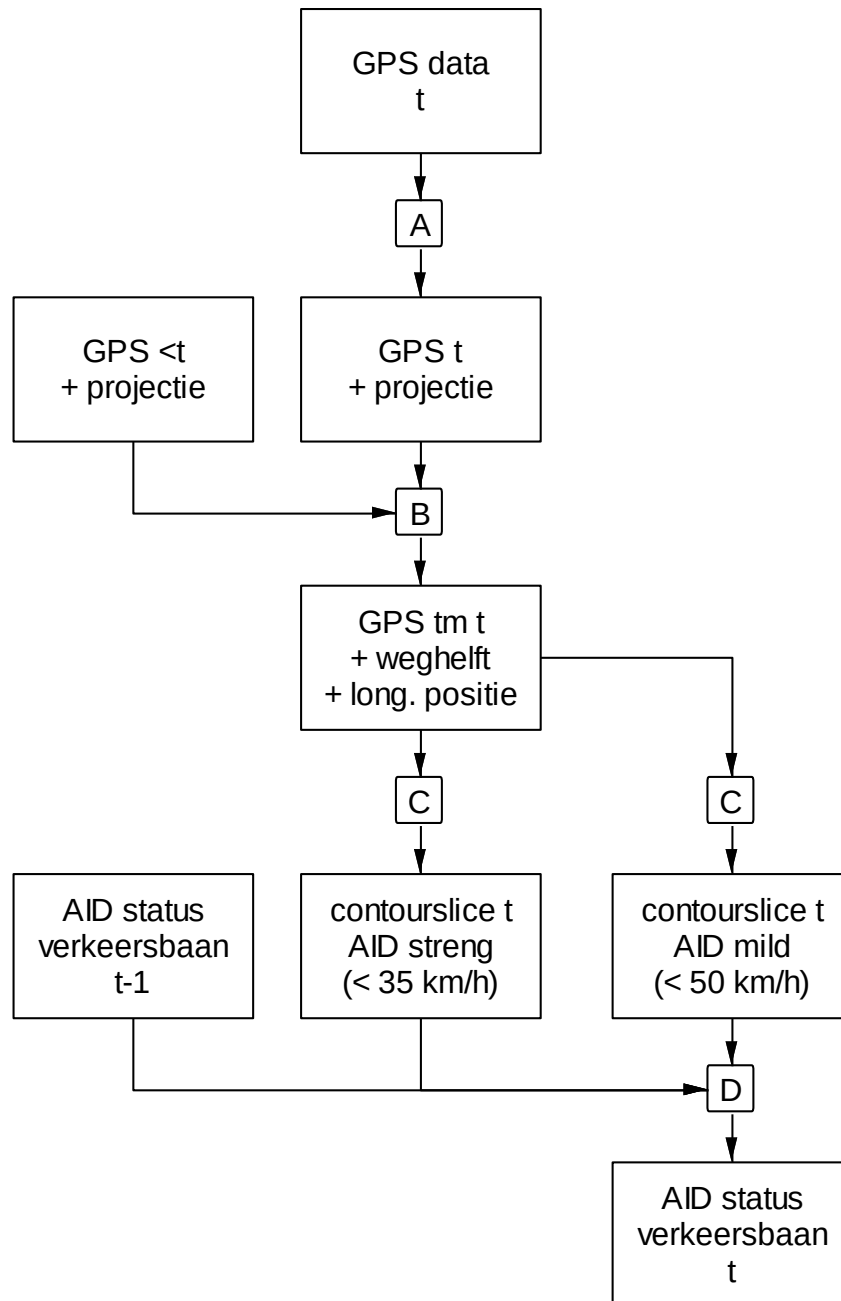
- Het koppelen van de waarnemingen aan een specifiek traject;
- Het koppelen van iedere waarneming aan een longitudinale positie binnen het traject;
- Het bepalen of er al dan niet sprake is van een incident op een specifieke locatie;
- Het bepalen of er sprake is van een incident binnen een bepaalde verkeersbaan.

Deze stappen zijn in detail en inclusief broncode uitgewerkt in *Zijpp (2019a)* en *Zijpp (2019b)*. In deze documenten zijn de methodes niet alleen uitgewerkt, maar is de implementatie ook geoptimaliseerd naar snelheid.

3.2.3 *Werking*

De werking van het algoritme is weergegeven in Figuur 3. De bepaling van de AID status voor een verkeersbaan verloopt via een aantal tussenstappen die in Figuur 3 zijn aangegeven als stap A tot en met E.

Het werkingsprincipe van het algoritme wordt hier alleen kort uitgelegd. Daarbij wordt gestart vanaf het punt dat alle GPS waarnemingen reeds gekoppeld zijn aan een longitudinale positie langs de beschouwde route. De volgende stap is om te bepalen of er op enig moment en op een bepaald punt op deze route sprake is van een incident.



Figuur 3: Berekening van de AID status op een verkeersbaan op het huidige moment (t), via tussenstappen A tm E.

Stap	Beschrijving
A	Alle GPS datapunten die <i>op moment t</i> beschikbaar komen worden geprojecteerd op zowel de rechter- als linker baan. Voor beide projecties wordt de projectiefout en de longitude van het geprojecteerde punt berekend.
B	Alle geprojecteerde datapunten die <i>tot en met het moment t</i> beschikbaar zijn worden gezamenlijk beschouwd. Hierbij worden de datapunten met dezelfde uuid bij elkaar gezocht en op tijdstip gesorteerd (voor zover nodig). Op basis van de tijdstempels, longitudes en projectiefouten worden de datapunten toegekend aan ofwel de linker- ofwel de rechterbaan.
C	Deze stap gebeurt afzonderlijk voor de drempelwaarde "35 km/h" (streng) en "50 km/h" (mild) en afzonderlijk voor de weghelften "links" en "rechts". Voor longitude kan in principe een incident status (streng of mild) worden bepaald, maar omwille van de benodigde rekentijd volstaan we met het uitrekenen van de lokale AID status voor longitudes die een veelvoud van 10 meter zijn. Zie de ook de onderstaande toelichting.
D	De manier waarop de AID status voor een verkeersbaan wordt berekend voor tijdstip t hangt af van de AID status op dezelfde verkeersbaan op moment $t-1$. Mogelijkheid 1: de eerdere AID status is "incident". In dit geval blijft de AID status in periode t "incident" als tenminste op één van de longitudes in de scope van de verkeersbaan de lokale AID status op tijdstip t "incident" is volgens het criterium "mild" Mogelijkheid 2: de eerdere AID status is "geen incident". In dit geval blijft de AID status in periode t "geen incident" tenzij er op één of meer longitudes in de scope van de verkeersbaan de lokale AID status "incident" is volgens het criterium "streng".

Verdere toelichting bij onderdeel C:

De onderstaande passage is grotendeels overgenomen uit *Zijpp (2019a)*.

Begin citaat:

Het criterium voor een voor een incident op tijdstip t en locatie x is dat er in de nabijheid hiervan ten minste N verschillende voertuigen met een lage snelheid zijn waargenomen. Deze definitie moet worden aangevuld met:

- Welke waarde van N wordt gebruikt?;
- Welke snelheden gelden als "lage snelheid"?;
- Wat is nabij (in tijd en plaats)?.

De eerste twee parameters zijn instelbaar. N moet ten minste 2 zijn om er voor te zorgen dat een incidentmelding op ten minste 2 verschillende voertuigen is gebaseerd. Hoe hoger de waarde van N hoe kleiner de kans op

een vals alarm maar hoe groter ook de responsetijd. Als N bijvoorbeeld gelijk is aan 3 bij een penetratiegraad probes/totaal van 5%, dan zijn er gemiddeld 60 ($=3/.05$) langzame voertuigpassages nodig om een incident te detecteren. Het hangt er dan van af of het incident zich op een enkele strook of over de volledige rijbaan afspeelt, in dat laatste geval is het getal van 60 betrokken voertuigen in kortere tijd bereikt. Indien het incident zich op één strook afspeelt dan is een grove schatting van de gemiddelde responsetijd 60 maal de gemiddelde volgtijd. Dit loopt al snel op tot 2 minuten. De conclusie is dat extra robuustheid voor valse alarmen een hoge prijs kent in de vorm van extra responsetijd en dat het daarom voor de hand ligt om in eerste instantie uit te gaan van $N=2$.

De waarde "lage snelheid" wordt naar analogie van het huidige MTM systeem gesteld op 35 km/h.

De "nabijheidseis" ligt complexer. In de meest eenvoudige aanpak kiest men voor een nabijheidsgebied in de vorm van de rechthoek $[t-\Delta t, t]$, $[x-\Delta x, x+\Delta x]$, met Δt het tijdverschil, bijvoorbeeld 30 seconden, Δx het positieverschil, bijvoorbeeld 100 meter. Als binnen dit gebied ten minste N voertuigen met een lage snelheid worden waargenomen stelt men dan dat er op locatie x op het tijdstip t sprake is van een incident. De kans op een "vals" signaal is min of meer proportioneel aan de oppervlakte van het nabijheidsgebied.

Einde citaat

3.2.4 Vorm van het nabijheidsgebied

Als de AID conditie moet worden vastgesteld voor een combinatie van tijdstip- en plaats moet noodzakelijkerwijs een ruimte-tijd contour rondom dit punt worden beschouwd omdat de kans op een waarneming op exact de beschouwde tijd- en plaats nihil is.

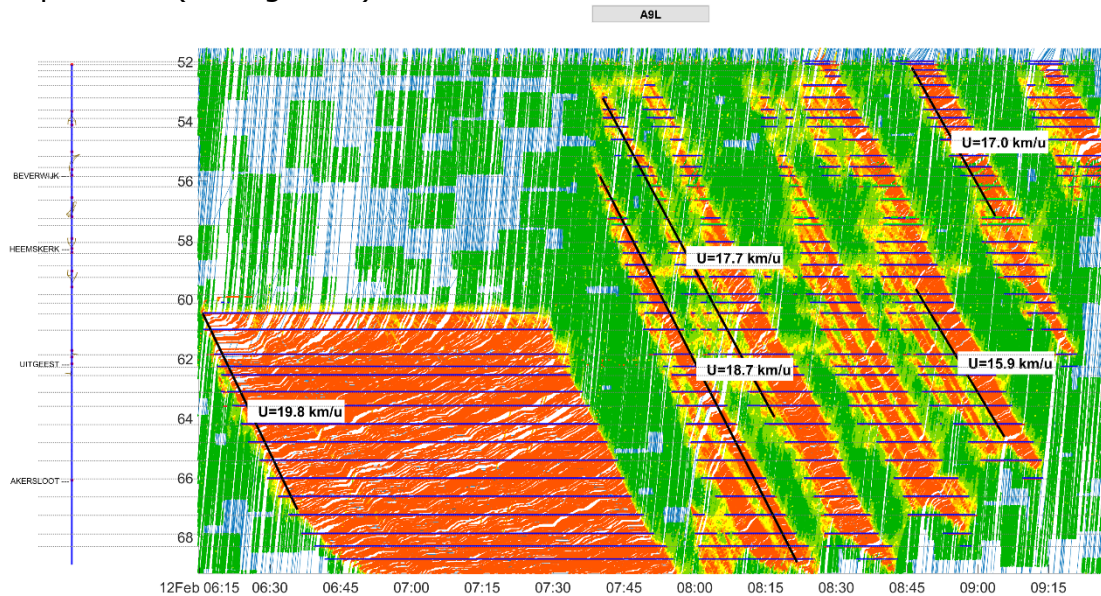
Hoe groter deze contour echter is, hoe groter ook de kans op een vals alarm. De belangrijkste factor hierbij is dat naarmate de contour groter wordt de kans ook toeneemt dat deze overlapt met een incidentgebied zonder dat de centroide van de contour zelf deel uit maakt van dit gebied. Een bijkomende factor is dat ongeacht de aanwezigheid van een incident er altijd een klein percentage van de voertuigen lage snelheden kan rapporteren, bijvoorbeeld door slecht werkende GPS devices of foutief gematchte voertuigen.

Hoe kleiner de afstand tussen waarneming en het beschouwde punt hoe hoger de relevantie van de waarneming. Een nabijheidsgebied heeft wiskundig gezien de optimale vorm indien de randpunten van dit gebied allemaal dezelfde relevantie voor het beschouwde punt hebben.

We willen het nabijheidsgebied zo kiezen dat bij een gelijke oppervlakte de "zeggingskracht" van het gebied voor het punt (x, t) wordt gemaximaliseerd. Met andere woorden: als (x, t) een incidentlocatie is dan willen we dat het nabijheidsgebied de punten bevat die de grootste kans bieden om een

langzaam voertuig waar te nemen, zodat (x,t) ook daadwerkelijk als incidentlocatie kan worden aangewezen.

Als (x,t) een incidentlocatie is dan is de kans groot dat de nabij gelegen punten van (x,t) ook incident locaties zijn. Verder is bekend dat incidenten zich vaak als filegolven met een typische snelheid van -18 km/uur verplaatsen (zie Figuur 4).



Figuur 4: Filegolven op de A9 Links in de ochtendspits

Dit geeft aanleiding om het begrip “nabij gelegen” kritisch te bezien. Een eenvoudige afstandsmaat berekent de afstand tussen twee punten (x_1, t_1) en (x_2, t_2) op basis van het absolute verschillen $|x_1 - x_2|$ en $|t_1 - t_2|$, bijvoorbeeld als:

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + \beta \cdot (t_1 - t_2)^2}$$

De parameter β is hier toegevoegd omdat x en t ongelijksoortige grootheden zijn met ieder hun eigen eenheid. Als we op basis van deze afstandsmaat een nabijheidsgebied zouden kiezen dat alle punten bevat die volgens deze maat binnen een bepaalde afstand van (x,t) liggen dan heeft het nabijheidsgebied de vorm van een ellips met een horizontale en verticale as.

In congestiegebieden bewegen de gebieden van constante snelheid met de schokgolf mee. Met andere woorden: in de richting van de schokgolf zijn de snelheden homogener dan in enige andere richting. In wiskundige bewoording: de gradiënt van het snelheidsveld $u(x,t)$ staat dwars op de richting van de schokgolf.

3.2.5 Schokgolf coördinaten

Met deze wetenschap ontbinden we het verschil van de twee punten (x_1, t_1) en (x_2, t_2) in een component dwars op de richting van de schokgolf ($x'_1 - x'_2$) en een component in de richting van de schokgolf ($t'_1 - t'_2$). De afstand berekenen we vervolgens op dezelfde manier als in een “normaal”

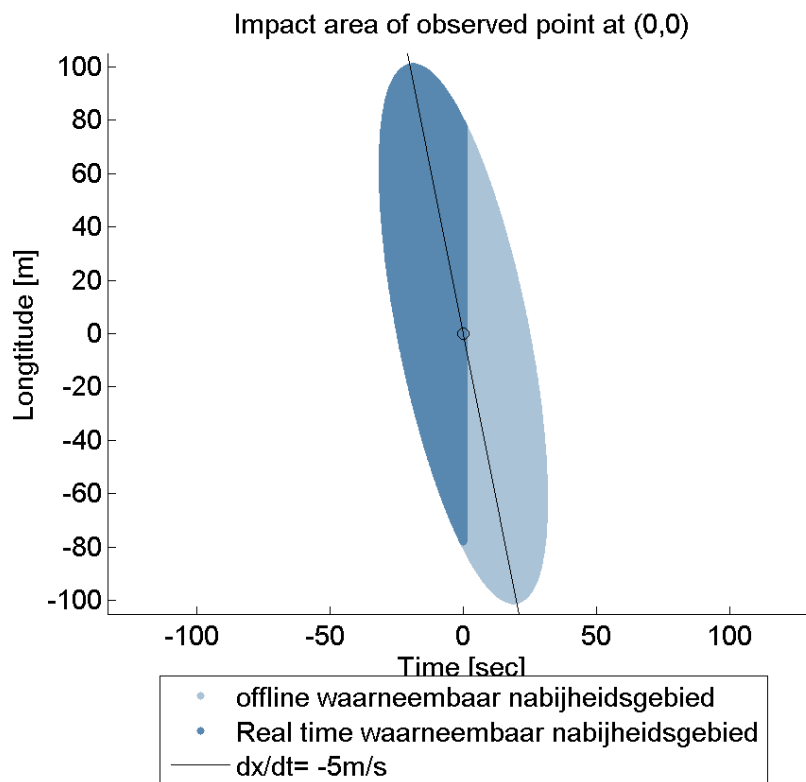
cartesisch coördinatenstelsel. Een nabijheidsgebied bevat alle punten met een afstand tot het punt (x,t) kleiner dan de ingestelde waarde.

De afzonderlijke componenten in het schokgolf-coördinaten stelsel wordt berekend met de volgende transformatie:

$$\begin{bmatrix} x' \\ t' \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1 + u_{cong}^2}} \begin{bmatrix} 1 & -u_{cong} \\ u_{cong} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ t \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2.6 Ellipsvormig nabijheidsgebied

Het resultaat is een ellipsvormig nabijheidsgebied. De ellips is symmetrisch rondom een hoofdas met een hellingshoek van -18 km/uur, zie Figuur 5. Het getoonde nabijheidsgebied in dit figuur bevat punten die zowel eerder als later in de tijd liggen dan tijdstip t . Wanneer de methode offline wordt toegepast (bijvoorbeeld voor het bepalen van een referentie) is dit geen bezwaar, maar in een real-time toepassing kunnen alleen datapunten worden gebruikt die eerder in de tijd liggen dan tijdstip t . Het nabijheidsgebied is in dit geval beperkt tot het gebied links van de lijn $t=0$ in Figuur 5.



Figuur 5: Nabijheidsgebied in de vorm van een ellips.

3.2.7 **Parameters en naamgeving van de methode**

De methode die op deze manier is geconstrueerd heeft een aantal parameters, waarvan we er binnen de huidige studie slechts 4 variëren:

- De manier van toepassen van het algoritme: off-line (OL) of real-time (RT);
- Het aantal langzame voertuigen (N) dat zich in de ellips moet bevinden voordat een AID wordt afgegeven. We experimenteren met de waardes 2 en 3;
- Het tijdsverloop (T) tussen het "vroegste" punt in de ellips en het zwaartepunt. We experimenteren met 30, 45 en 60 seconden;
- De afstand (A) tussen het meest benedenstroomse punt in de ellips en het zwaartepunt. We experimenteren met 100 en 200 meter;
- De vooruitkijkafstand (L) die wordt gebruikt bij de bepaling van de AID status voor een traject.

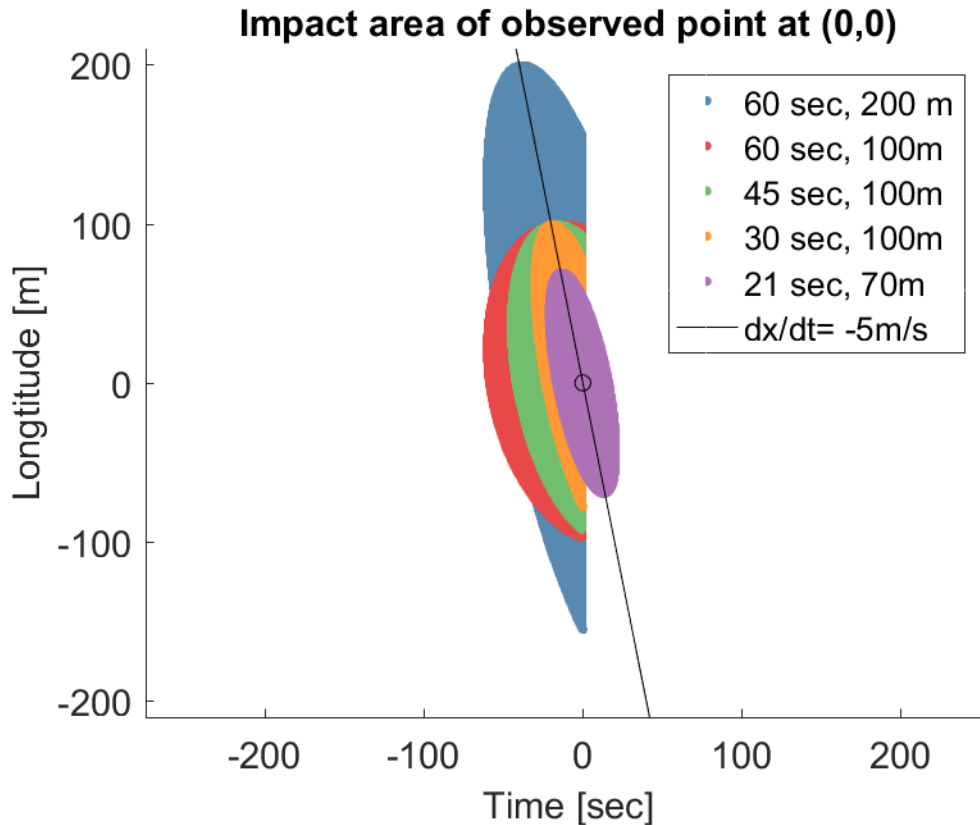
De naamgeving van iedere variant is gebaseerd op de gebruikte parameters. De onderstaande 9 varianten worden geëvalueerd:

Tabel 2: Toegepaste varianten

Variant	Toepassing	N	T (sec)	A (m)	L(m)
GPS(OL,N=3,15s/50m,<400)	Off Line	3	15	50	400
GPS(RT,N=2,30s/100m,<400)	Real Time	2	30	100	400
GPS(RT,N=2,21s/70m,<400)	Real Time	2	45	100	400
GPS(RT,N=2,30s/100m,<300)	Real Time	2	60	100	300
GPS(RT,N=2,30s/100m,<500)	Real Time	2	60	200	500
GPS(RT,N=2,45s/100m,<500)	Real Time	3	60	100	500
GPS(RT,N=2,60s/100m,<500)	Real Time	3	60	200	500
GPS(RT,N=3,60s/100m,<500)	Real Time	3	60	100	500
GPS(RT,N=3,60s/200m,<500)	Real Time	3	60	200	500

De variant "GPS(RT,N=2,30s/100m,<400)" beschouwen we als de basisvariant, de andere realtime GPS varianten verschillen op 1 of meer eigenschappen. Dit is aangegeven door de betreffende eigenschap in groen weer te geven.

De 9 bovenstaande varianten gebruiken in totaal 5 verschillende nabijheidsgebieden, zie Figuur 6.



Figuur 6: Nabijheidsgebieden voor alle varianten

3.2.8 Bepaling AID voor een verkeersbaan

In de voorgaande stappen is de AID voor een specifieke longitude op een bepaald tijdstip bepaald. De laatste stap is om de AID voor een hele verkeersbaan te bepalen op hetzelfde tijdstip. Hiervoor wordt de volgende afleidingsregel gebruikt:

“Voor een verkeersbaan geldt een AID als en alleen als er voor ten minste één locatie binnen de verkeersbaan een AID geldt”.

De lengte van de beschouwde verkeersbaan noemen we de voortuitkijkafstand.

3.3 Door BeMobile aangeleverde AID's: methode “FCD”

Het betreft hier AID's die door BeMobile worden aangeleverd aan RWS. RWS logt deze bestanden in logfiles. Zodra deze file groter wordt dan ca 10 kB wordt deze bewaard en wordt een nieuwe logfile geopend voor het wegschrijven.

Aan het einde van iedere dag worden deze logfiles gezipd en geüpload naar een server van Modelit. op deze manier zijn de aangeleverde AID's gearchiveerd vanaf december 2018.

De logfiles bevatten 3 type gegevens:

Circa eens per 5 seconde: Heartbeat berichten

Dit zijn berichten die worden gebruikt om te controleren of de service van BeMobile nog actief is. Een heartbeat bericht ziet er als volgt uit:

```
<fcd_aid_trigger xmlns="http://fcd.vko.cdm.hwn.rws.nl/1.1">
  <meta>
    <bericht_id>
      <uuid>5afdf02-a190-4176-a1ec-1d121d8f8d3a</uuid>
    </bericht_id>
    <bericht_aanmaak>2019-12-14T22:50:53Z</bericht_aanmaak>
  </meta>
  <dt_aid_trigger>2019-12-14T22:50:53Z</dt_aid_trigger>
  <bericht_type>heartbeat</bericht_type>
</fcd_aid_trigger>
```

De blauw gearceerde tekst wordt bij het parsen van de logfiles opgeslagen.

Circa eens per twee minuten: Snapshot

Een snapshot bevat de status van alle raailocaties, ongeacht of er wat gewijzigd is sinds het vorige bericht.

```
<fcd_aid_trigger xmlns="http://fcd.vko.cdm.hwn.rws.nl/1.1">
  <meta>
    <bericht_id>
      <uuid>b92db009-68eb-4b32-9a54-6b3854413247</uuid>
    </bericht_id>
    <bericht_aanmaak>2019-12-20T08:13:21Z</bericht_aanmaak>
  </meta>
  <dt_aid_trigger>2019-12-20T08:13:21Z</dt_aid_trigger>
  <bericht_type>snapshot</bericht_type>
  <aid_trigger>
    <ts_aid>2019-12-19T08:33:51Z</ts_aid>
    <aid_gebied_id>
      <uuid>eac6cfla-96bb-42b0-8053-1cb886465d6d</uuid>
    </aid_gebied_id>
    <aid>false</aid>
  </aid_trigger>
  <aid_trigger>
    <ts_aid>2019-12-17T16:41:02Z</ts_aid>
    <aid_gebied_id>
      <uuid>a33ea2bb-4958-40ba-806d-7ec80275a8ff</uuid>
    </aid_gebied_id>
    <aid>false</aid>
  </aid_trigger>
</fcd_aid_trigger>
```

Bij iedere tussentijdse wijziging: een incremental bericht

Een incremental bericht geeft alleen de status door voor locaties met een wijziging. Een voorbeeld:

```
<fcd_aid_trigger xmlns="http://fcd.vko.cdm.hwn.rws.nl/1.1">
  <meta>
    <bericht_id>
      <uuid>6332476e-19a8-40ef-960c-5ade41eda893</uuid>
    </bericht_id>
    <bericht_aanmaak>2019-12-16T05:29:57Z</bericht_aanmaak>
  </meta>
  <dt_aid_trigger>2019-12-16T05:29:57Z</dt_aid_trigger>
  <bericht_type>incremental</bericht_type>
</fcd_aid_trigger>
```

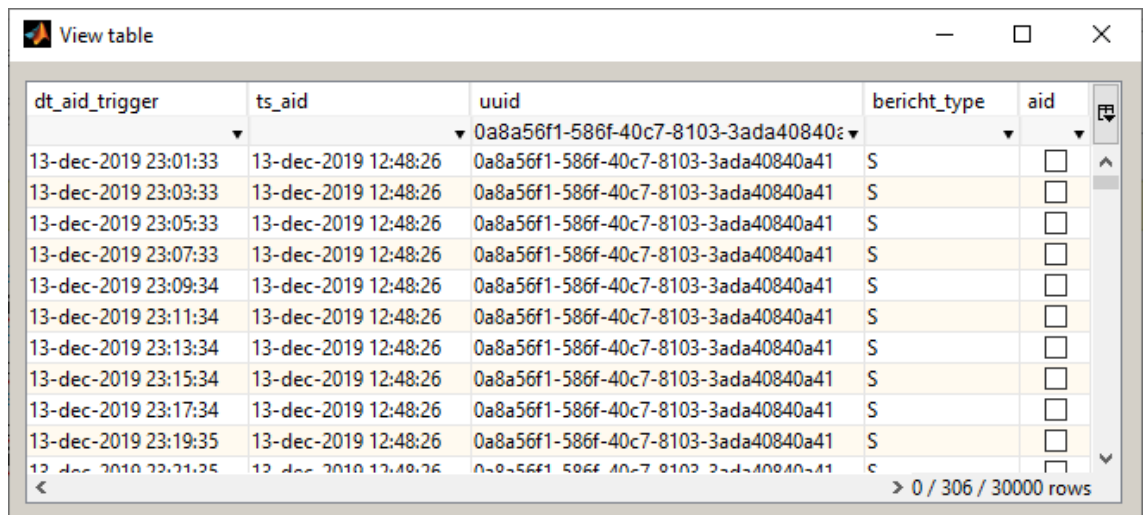
```

<aid_trigger>
  <ts_aid>2019-12-16T05:29:56Z</ts_aid>
  <aid_gebied_id>
    <uuid>9a0d018d-4243-44a3-ad38-456aadcc3b03</uuid>
  </aid_gebied_id>
  <aid>true</aid>
</aid_trigger>
</fcd_aid_trigger>

```

Verwerking in daytables

Om de BeMobile AID berichten verder te kunnen bewerken worden ze per dag binair opgeslagen in een zogenaamde daytable. Het onderstaande figuur toont een typisch voorbeeld van een dergelijke tabel. De figuur maakt vooral duidelijk wat de interpretatie van het tijdstempel "dt_aid_trigger" en het tijdstempel "ts_aid" moet zijn. Het eerste is het tijdstempel van het bericht, het tweede is het tijdstip waarop de AID status van de betreffende locatie voor het laatst gewijzigd is.



dt_aid_trigger	ts_aid	uuid	bericht_type	aid
13-dec-2019 23:01:33	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:03:33	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:05:33	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:07:33	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:09:34	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:11:34	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:13:34	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:15:34	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:17:34	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐
13-dec-2019 23:19:35	13-dec-2019 12:48:26	0a8a56f1-586f-40c7-8103-3ada40840a41	S	☐

De lijst met statusmeldingen wordt ontdebeld door de unieke combinaties van uuid en ts_aid te bepalen. Deze records markeren het begin- en einde van wat zal worden beschouwd als de BeMobile AID periodes. Deze worden in de vergelijkingstabellen aangeduid als de methode "FCD".

Opmerking mbt nauwkeurigheid tijdstempels

De variabele `ts_aid` wordt als bron gebruikt voor het begin- en einde van de AID periodes. Hierin zit een kleine onnauwkeurigheid, want eigenlijk moet het eerste moment gebruikt worden dat de informatie met tijdstempel `ts_aid` bij RWS beschikbaar komt. Deze informatie is geen onderdeel van het beschikbare XML bericht maar zou eventueel kunnen worden gelezen uit de regels die in de logfile voorafgaan aan het XML bericht. Hier is echter in de huidige analyse van afgezien. De impact hiervan wordt op basis van enkele inspecties niet groter dan een seconde geschat.

Een iets eenvoudigere verbetering zou zijn om in de analyse `ts_aid` te vervangen door het tijdstempel "bericht aanmaak" van het eerste bericht waarin de rijdstempel voorkomt.

```
INFO 2019-12-20T10:24:19,350 [ActiveMQ Session Task-10928][[]] hwn-vko-fcd-
app - RX: fcd_aid_trigger (msgId=4574a107-c0e4-4320-9657-467d6fcb389d | )
DEBUG 2019-12-20T10:24:19,350 [ActiveMQ Session Task-10928][[]] hwn-vko-fcd-
app - RX: <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
```

```
<fcd_aid_trigger xmlns="http://fcd.vko.cdm.hwn.rws.nl/1.1">
  <meta>
    <bericht_id>
      <uuid>4574a107-c0e4-4320-9657-467d6fcb389d</uuid>
    </bericht_id>
    <bericht_aanmaak>2019-12-20T09:24:19Z</bericht_aanmaak>
  </meta>
  <dt_aid_trigger>2019-12-20T09:24:19Z</dt_aid_trigger>
  <bericht_type>heartbeat</bericht_type>
</fcd_aid_trigger>
```

4 Gebruikte data

4.1 Trajecten

De trajecten die worden beschouwd lopen over de A9 Rechts van km 52.000 tot en met km 68.680 en op de A9 Links van km 68.325 tot en met km 52.300.

Het traject op de A9Rechts start bij het uitrijden de Wijkertunnel

Het traject op de A9Links eindigt enkele honderden meters voor het inrijden van de Wijkertunnel

De datalevering van BeMobile bevat nog de locaties 52.100 en 52.000 op de A9L, maar deze zijn buitenbeschouwing gelaten omdat deze locatie onbetrouwbare data lijken te produceren.

Voor deze trajecten zijn ruwe GPS data, BeMobile AID data en MTM logfiles beschikbaar vanaf 27 augustus doorlopend tot en met nu. Als einddatum voor de analyse is 14 december gekozen.

Een detail beschrijving van het studie gebied, inclusief projecties van de onderstations op de kaart en gedetailleerde beschrijving van de MTM configuratie is te vinden in bijlage 10.

4.2 Bepaling uit te sluiten periodes

Niet voor de hele periode 27 augustus – 14 december zijn bruikbare data beschikbaar. Daarom zijn bepaalde periodes buiten de analyse gehouden. Zie bijlage 11 voor een overzicht.

5 Referentiemethode

5.1 Functie van een referentiemethode

In hoofdstuk 3 zijn alle te beschouwen methodevarianten beschreven. Om deze varianten te beoordelen, of op zijn minst met elkaar te vergelijken is een referentie nodig. Deze referentie dient bij voorkeur te bestaan uit directe waarnemingen en niet beïnvloed te zijn door (model)aannames. In het andere geval bestaat het gevaar dat een vergelijking met de referentie vooral test in hoeverre de kandidaatmethode aansluit bij de aannames die aan de referentiemethode ten grondslag liggen en in minder mate hoe goed of slecht de methode in absolute zin presteert.

De term “ground truth” (in Nederlands: fundamentele waarheid) is gereserveerd voor een referentiemethode die volledig is gebaseerd op directe waarnemingen van het beschouwde fenomeen. Uit hoofdstuk 2 en sectie 2.3 in het bijzonder blijkt wel dat het bepalen van een ground truth voor de incidentconditie in de strikte zin bijzonder lastig is, al was het alleen maar vanwege het feit dat de definitie van “incident” al niet triviaal is. In sectie 2.3 wordt deze definitie bijvoorbeeld opgehangen aan het begrip “reductie van veilige rijnsnelheid”.

5.2 Beschikbare databronnen

Samenvattend beperkt de databeschikbaarheid zich tot gerealiseerde intensiteiten en snelheden per strook (uit wegkantsensoren) en voertuigtrajectoriën (uit GPS logging).

De volgende databronnen zijn beschikbaar:

- *MTM AID triggers*: Dit is een logging van de AID's die (mede) ten grondslag liggen aan bovenstaande MTM beeldstanden. Net als de MTM beeldstanden zijn deze vastgelegd bij iedere mutatie en per OS met een resolutie van 1 seconde. Op een OS zijn meestal meerdere detectieraaian aangesloten. Aan de logregels is echter niet te zien welke detectierai ten grondslag ligt aan de AID. In situaties zoals bij een weefvak of een benedenstroomse divergentie is de AID gesplitst in meerdere verkeersstromen. De AID is dan bijvoorbeeld “50:70”;
- *MTM beeldstanden*: Dit is een logging van de exacte beeldstand die boven de weg te zien is geweest. Deze zijn vastgelegd per onderstation (OS). De logfile bevat een logregel voor iedere wijziging in de beeldstand. In de logregel is de tijd (met een nauwkeurigheid van 1 seconde), OS locatie en de nieuwe beeldstand vastgelegd. De beeldstand wordt afgeleid uit de AID's van de detectieraaian die zijn aangesloten op het OS en de status van stroomafwaartse onderstations. Zie sectie 2.4 voor uitleg over de werking van MTM;
- *GPS trajectoriedata*: Dit zijn tijdreeksen van voertuigposities die per seconde worden vastgelegd. In de beschikbare datasets worden devices zoals smartphones geïdentificeerd aan de hand van een hashcode. Deze hashcode is gedurende een aantal uren uniek gekoppeld aan een device. Uit de hashcode zijn overigens geen persoonsgegevens af te leiden, en zelfs als dit wel het geval zou zijn (bijvoorbeeld door GPS en

camerabeelden te combineren) dan is er geen informatie beschikbaar over posities van het device buiten de A9 corridor. De waarnemingen zijn beperkt tot devices waarop de Flitsmeister App is ingeschakeld.

- *IVP data*: IVP staat voor Individuele Voertuig Passage. Een aantal onderstations op de A9 zijn gedupliceerd door een Intelligent Wegkant Station (IWKS). Deze IWKS-en zijn aangesloten op dezelfde detectieraaian als de normale onderstations, maar gebruiken modernere hardware en daarop afgestemde software. Deze IWKS-en hebben een (geïmproviseerde) mogelijkheid om IVP data te loggen van alle detectieraaian die erop aangesloten zijn. Op deze manier zijn op de A9 rechts de gegevens van 24 stroken verdeeld over 9 raaien beschikbaar en op de A9 links de gegevens van 27 stroken verdeeld over eveneens 9 raaien (peildatum 14 juli 2020).

Er zijn nog andere waarneemtechnieken van incidenten denkbaar, maar deze zijn onbereikbaar voor het huidige onderzoek. Zie het onderstaande kader.

Meeromvattende waarnemingssystemen zijn gerealiseerd in zogenaamde Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) zoals autopilot van Tesla en vergelijkbare systemen van andere partijen (zie <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>).

Deze systemen zijn al in staat om gevaarlijke situaties te herkennen en daar naar te handelen op basis van gecombineerde radar, camera en ultrasoon detectie (zie https://www.tesla.com/nl_NL/autopilot).

De logica die deze systemen toepassen is overigens (net als bij een menselijke bestuurder) niet expliciet, maar het gevolg van het trainen van een neurale netwerk aan de hand van een (zeer) groot aantal praktijksituaties.

De bijbehorende informatie is echter voor de gemiddelde onderzoeker niet beschikbaar en ook al zouden autofabrikanten deze informatie wel delen, dan betreft het uiteraard slechts een klein deel van de vloot.

5.3 Overwegingen met betrekking tot databronnen

In een voorgaande studie (Zijpp, 2017) zijn de MTM AID triggers als referentie gebruikt.

Het voordeel van MTM AID triggers is dat bij deze monitoring methode al het verkeer dat de detectieraaai of –raaien passeert wordt waargenomen. Valse alarmen zijn bovendien nagenoeg uitgesloten omdat een AID trigger inhoudt dat het moving average van daadwerkelijk waargenomen snelheden onder de ingestelde drempel is gezakt. Het nadeel is dat langzaam rijdend verkeer tussen de detectieraaian in op deze manier niet onmiddellijk wordt waargenomen.

Zolang MTM AID triggers beschikbaar zijn voegt het gebruik van MTM beeldstanden geen informatie toe over de aanwezigheid van een incident op de verkeersbaan die door het OS bewaakt wordt. De beeldstand houdt wel rekening met incidenten op benedenstroomse verkeersbanen, maar deze

informatie kan ook apart en met meer precisie worden afgeleid uit de AID status van het benedenstroomse OS.

IVP data kunnen eventueel wel informatie toevoegen omdat IVP data zijn terug te voeren op een enkele detectierai (of zelfs strook). In het geval van meerdere detectieraiën per onderstation is uit MTM triggers niet altijd te herleiden op welke detectierai het incident is waargenomen. Bovendien bieden IVP data betere mogelijkheden om de ernst van een incident af te lezen dan AID triggers, omdat nu ook de snelheid en de intensiteit kan worden afgelezen. Het nadeel van de IVP data in de huidige context is dat deze op slechts een beperkt aantal plaatsen beschikbaar zijn en dat de technische betrouwbaarheid nog niet op een acceptabel peil was (anno 1/1/2020) . Hierdoor zijn de IVP data slecht toepasbaar op de beschouwde periode augustus-december 2019.

De GPS data tenslotte zijn in zekere zin complementair aan de MTM AID's omdat deze weliswaar betrekking hebben op alleen de voertuigen met een Flitsmeister device aan boord, maar vervolgens wel het gehele wegvak afdekken.

5.4 Combinatie van referentiemethodes

Door MTM AID triggers en GPS data te combineren ontstaat een nieuwe referentiemethode die de voordelen van beide combineert:

- instantane detectie van incidenten op de begrenzingen van de te bewaken verkeersbaan;
- detectie van incidenten op overige locaties, mits voldoende waargenomen voertuigen aanwezig.

De manier waarop beide methoden worden gecombineerd is door de uitvoer van de gecombineerde methode te definiëren als de *vereniging* van de MTM AID intervallen en de GPS gebaseerde intervallen. Met andere woorden: de gecombineerde methode genereert een AID als tenminste één van de samenstellende methodes een AID genereert.

5.5 Bepaling te combineren GPS variant

Er dient nog te worden bepaald met welke GPS variant de MTM AID triggers moeten worden gecombineerd om de meest bruikbare referentie methode te verkrijgen.

5.5.1 Basisvorm nabijheidsgebied

Een evaluatie wordt offline uitgevoerd. Vooral bij het verwerken van een steekproef van GPS data is dit een groot voordeel omdat hier de datapunten relatief schaars (kunnen) zijn. Als de AID conditie moet worden vastgesteld voor een combinatie van tijdstip en plaats (ook wel ruimtetijdpositie genoemd) moet noodzakelijkerwijs een ruimte-tijd contour rondom dit punt worden beschouwd omdat de kans op een waarneming op exact de beschouwde ruimtetijdpositie nihil is. In dit geval is het een groot voordeel als deze contour ook punten mag bevatten uit de nabije toekomst.

In sectie 3.2 is beredeneerd dat het nabijheidsgebied ellipsvormig is en een hoofdas heeft waarvan de hellingshoek overeenkomt met de snelheid van de filegolf ter plekke. Anders dan bij een realtime toepassing is het bij een offline toepassing om te werken met een “volledige” ellips zoals in variant en OL_2_21_70 uit sectie 3.2.7. Maar deze methode is een tamelijk willekeurige variant. In het onderstaande zetten we een 8-tal varianten op een rij om na te gaan op welke wijze de verschillende eigenschappen van de referentie methode de resultaten beïnvloeden.

5.5.2 ***Te variëren parameters***

We variëren daarbij de volgende eigenschappen, zie ook Tabel 3:

- *Afmetingen nabijheidsgebied.* Deze afmetingen worden gevarieerd door gelijktijdig de breedte (in secondes) en de hoogte (in meters) te wijzigen. De vorm van het nabijheidsgebied blijft dus gelijk in alle varianten. In de eerste subvariant zijn breedte en hoogte gelijk aan 21 secondes / 70 meter; in de tweede subvariant zijn breedte en hoogte gelijk aan 15 secondes / 50 meter.
- *Vooruitkijkafstand.* Anders dan bij MTM is de lengte van de bewaakte verkeersbaan zoals bedoeld in stap D in sectie 3.2.3 bij een GPS gebaseerde methode vrij te kiezen. We beschouwen twee subvarianten. Subvariant 1: vooruitkijkafstand is 500 meter. Subvariant 2: vooruitkijkafstand is 400 meter. Ter vergelijking: in bijlage 10 wordt de MTM configuratie nader bestudeerd. Hieruit blijkt dat de impliciete vooruitkijkafstand van het MTM sterk varieert maar gemiddeld 378meter bedraagt op de A9 rechts en 350 meter op de A9 links. Zie ook Figuur 21 (blz 61) en Figuur 22 (blz 63);
- *Aantal vereiste langzame voertuigen benodigd voor een AID.* Het minimum is N=2 (subvariant 1). Een variant daarop is N=3 (subvariant 2).

Tabel 3: Inhoud van 8 offline varianten

Eigenschap	Waardes in subvariant	Visualisatiemethode (*)
Afmetingen nabijheidsgebied	grote nabijheidsgebied (21s/70m)	groene marker
	klein nabijheidsgebied (15s/50m)	blauwe marker
Vooruitkijkafstand	500 meter	geen rand om marker
	400 meter	zwarte rand om marker
Vereist aantal voertuigen voor AID	2	ronde marker
	3	vierkante marker

(*): zie Figuur 8 en Figuur 9

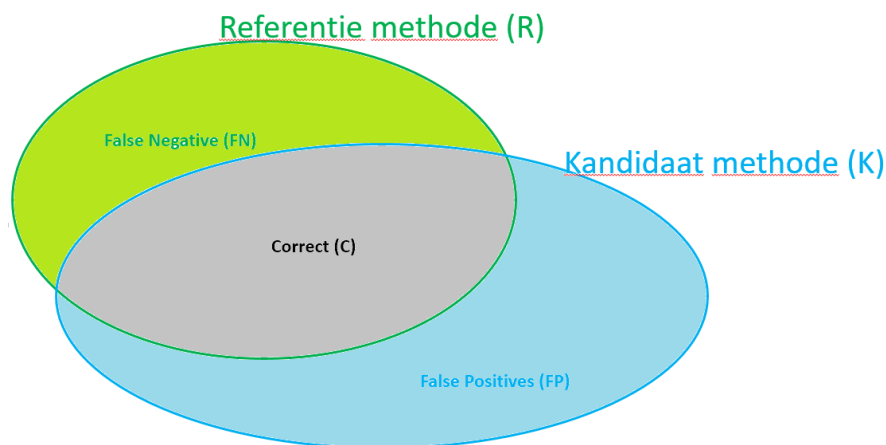
Door alle subvarianten te combineren ontstaan in totaal 8 te beoordelen varianten.

5.5.3 Beoordelingswijze, indicatoren

We gaan na in hoeverre de uitkomsten van deze varianten overlappen met die van MTM. Dit doen we door de detecties in te delen in:

- *Correcte detecties*: zowel referentiemethode als kandidaat methode genereren een AID;
- *false negatives*: referentiemethode genereert een AID maar de kandidaatmethode niet;
- *False positives*: referentiemethode genereert geen AID maar kandidaatmethode wel.

Figuur 7 geeft deze mogelijkheden schematisch weer. Als indicatoren gebruiken we de *kans* op een false positive, te berekenen als het totaal aantal onterechte AID's gedeeld door het totaal aantal AID's van een kandidaat methode ($=FP/K$ in Figuur 7); en de kans op een false negative, te berekenen als het totaal aantal niet gerepliceerde AID's gedeeld door het totaal aantal AID's van de referentiemethode ($=FN/R$ in Figuur 7).



Figuur 7: *Indeling van detecties in correct, false negative en false positive (schematische weergave)*

Uiteraard is het wenselijk om zowel het aantal False Negatives als het aantal false positive laag te houden. Als methodes op basis van deze twee eigenschappen worden gerangschikt dan zou dit in theorie kunnen door de onderstaande kostenfunctie te minimaliseren:

$$FN \times \text{<kosten per false negative>} + FP \times \text{<kosten per false positive>}$$

De genoemde "kosten" zijn echter niet te kwantificeren, waardoor deze benadering nauwelijks bruikbaar is

Een ander houvast is dat het huidige MTM een totale AID duur heeft die kennelijk als acceptabel wordt beschouwd, want het MTM systeem wordt al jaren toegepast. Een vervangend systeem zou bij voorkeur een vergelijkbare totale AID duur hebben. In Figuur 7 correspondeert de AID duur van de referentiemethode met de oppervlakte "C+FN" en de AID duur

van de kandidaat methode met "C+FP". Hieruit volgt dat de kandidaat- en referentiemethode dezelfde totale AID duur hebben als geldt "FP=FN".

Merk op dat voor de kansen op een false negative en false positive geldt:

$$\text{prob}[FN] = FN/(FN+C) \text{ en } \text{prob}[FP] = FP/(FP+C)$$

Daarom impliceert FN=FP ook $\text{prob}[FN] = \text{prob}[FP]$

5.5.4 Resultaten

De resultaten zijn berekend voor de A9 Rechts- en Links voor de volledige studieperiode (zie hoofdstuk 4) en weergegeven in Figuur 8 en Figuur 9.

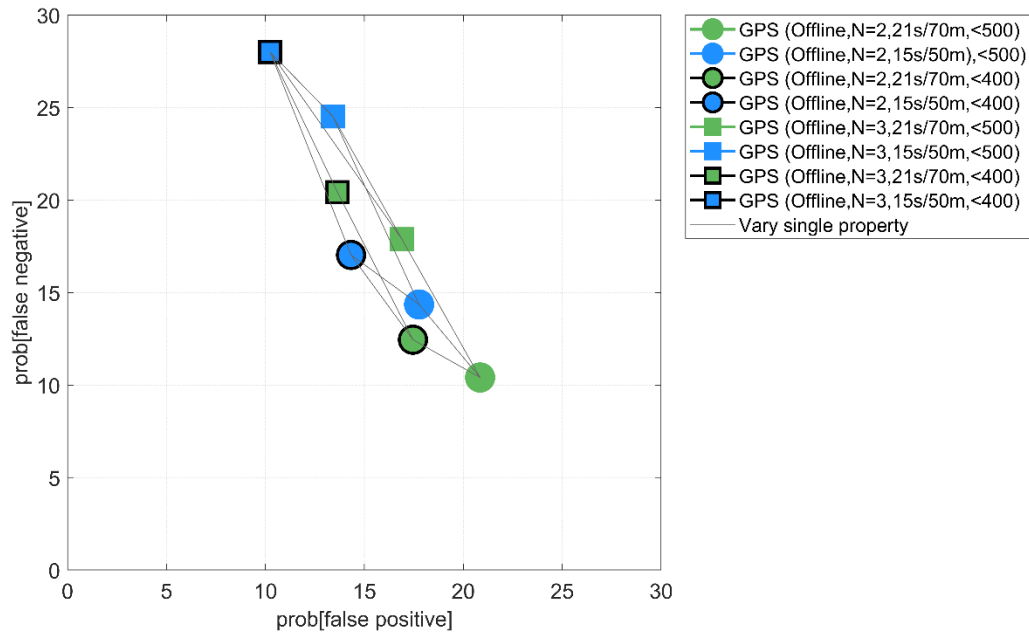
Op de A9 links is de overeenkomst tussen de offline GPS methodes en MTM opvallend beter dan op die op de A9 Rechts. Over de oorzaak hiervan kan alleen worden gespeculeerd. Een mogelijke verklaring is dat de A9 Links uitmondt in de Wijkertunnel die als bottleneck fungeert, terwijl de A9 Rechts vertrekt bij de Wijkertunnel die hier als doseerventiel fungeert. In de visualisaties van het verkeersbeeld is duidelijk te zien dat op de A9 links een groot deel van de congesties bestaat uit filegolven in de ochtendspits die benedenstrooms starten bij de Wijkertunnel. Op de A9 Rechts is het beeld geheel anders. De congestie treedt vooral op in de avondspits en is meer verspreid.

De verschillen zijn overigens niet uit de gemiddelde AID duur te verklaren. Op de A9 Links zijn in de onderzoeksperiode en alle beschouwde locaties samen door MTM 5035 AID intervallen gedetecteerd met een totale duur van 2.007.468 secondes (gemiddelde AID duur 399 s). Op de A9 Links waren dit er 3787 met een totale duur van 1.633.399 secondes (gemiddelde AID duur 431 s).

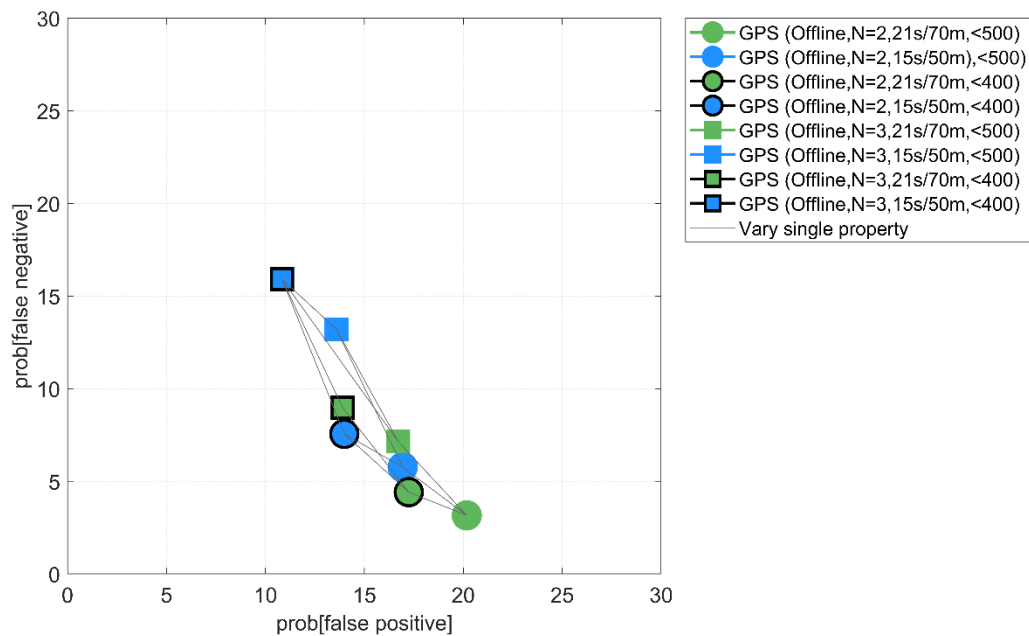
Het een en ander is echter wel een aanwijzing dat de aanwezigheid van filegolven een lagere proportie false negatives voor GPS gebaseerde oplossingen in de hand werkt. Met andere woorden: de filegolven worden relatief succesvol gedetecteerd via de GPS methode.

Afgezien van de tussen A9 Rechts en A9 Links hebben de varianten ten opzichte van elkaar min of meer dezelfde ligging.

De transitie van "vooruitkijkafstand=500 meter" naar "vooruitkijkafstand=400 meter" (toevoegen zwarte rand) is steeds relatief gunstig in de zin dat dit een sterke daling van de proportie false positive oplevert bij een geringe stijging van de proportie false negative. De transitie van het aantal vereiste langzame voertuigen voor een AID van 2 naar 3 (cirkel naar vierkant) is een relatief ongunstige strategie. Deze levert een sterke stijging van het aantal false negatives op bij een geringe daling van het aantal false positives. De transitie van het oppervlakte van het nabijheidsgebied van groot naar klein (groen naar blauw) zit daar qua rendement tussenin.



Figuur 8: False negative versus false positive voor 8 off-line varianten toegepast op de A9 Rechts. Tabel 3 beschrijft de inhoud van de varianten. De lijnconnectoren verbinden varianten die slechts voor wat betreft één eigenschap van elkaar verschillen. Analysecode #IW400



Figuur 9: Idem voor de A9 Links.

5.5.5 **Selectie**

We zijn op zoek naar een methode die een gewogen som van false negatives en false positives minimaliseert. Op grond van dit principe vallen 4 van de 8 varianten af. De varianten die overblijven zijn:

- T=21, N=2, L=500 (groene ronde marker)
- T=21, N=2, L=400 (groenzwarte ronde marker)
- T=15, N=2, L=400 (blauwzwarte ronde marker)
- T=15, N=3, L=400 (blauwzwarte vierkante marker)

Er is in sectie 5.5.3 al opgemerkt dat bij een vervangende methode voor MTM de proportie false negatives en de proportie false positives elkaar in evenwicht moeten houden om uit te komen op een methode met dezelfde totale AID duur als MTM.

In het huidige geval zijn we op zoek naar een variant die zal worden gecombineerd met MTM. De gecombineerde methode zal per definitie een langere totale AID duur hebben dan MTM. Daarom zou de keuze moeten vallen op een variant waarvoor het aantal false negatives het aantal false positives overstijgt.

Op de A9 Rechts vallen hierdoor de varianten "T=21, N=2, L=500" en "T=21, N=2, L=400" af. Op de A9 Links valt ook de variant "T=15, N=2, L=400" op basis van dezelfde overweging af.

Uit praktische overwegingen kiezen we voor een enkele referentiemethode voor de A9 Links- en Rechts.

Van de twee te overwegen varianten kiezen we uiteindelijk de meest conservatieve versie (T=15, N=3, L=400). Ten opzichte van MTM genereert deze versie relatief weinig extra AID's, maar vooral vanwege de eis "N=3" kunnen we er op vertrouwen dat deze extra AID's voor het overgrote deel wel terecht zijn.

De uiterste begrenzing van het nabijheidsgebied van deze variant ligt 15 secondes voorbij het focus punt. Dit kan er voor zorgen dat de methode maximaal 15 seconden te vroeg inschakelt. De "latency" is in dit geval dus negatief. Op analoge wijze kan een latency van maximaal 15 seconden ontstaan bij het uitschakelen.

6 Resultaten

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten apart voor de trajecten A9 Rechts en A9 Links.

6.1 Resultaten voor A9 rechts

6.1.1 Grafische weergave van de resultaten

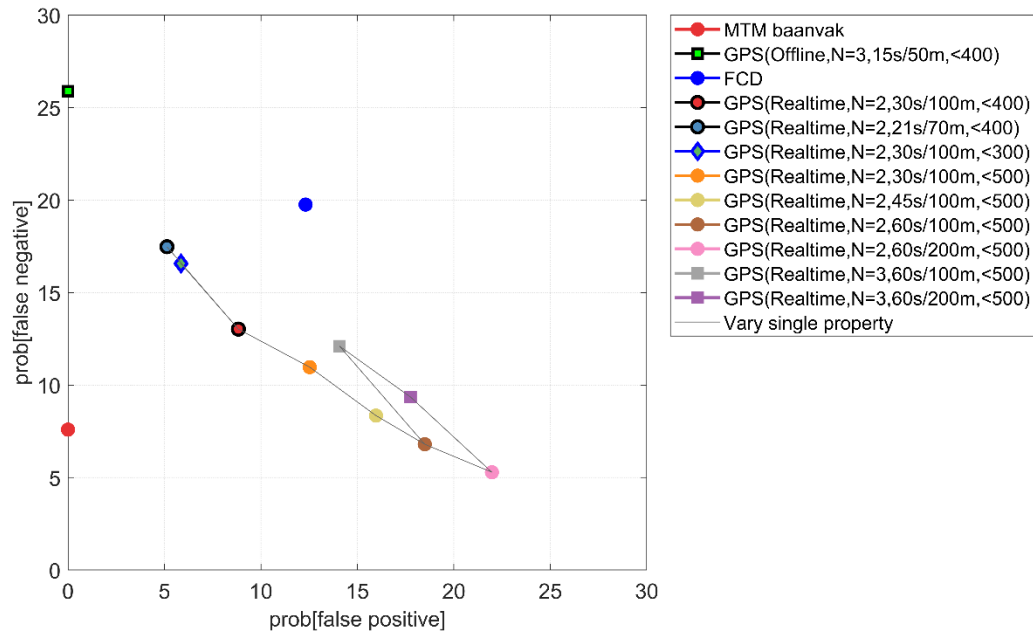
Figuur 10 toont de ultieme samenvatting van de resultaten voor het traject A9 Rechts. Op de x-as is de kans op een (ten opzichte van de referentie methode, zie sectie 5.5.5) onterechte detectie uitgezet (false positive) en op de y-as de kans op een gemiste detectie (false negative). In het ideale geval zijn beide kansen 0, wat alleen gebeurt als de uitkomsten van de kandidaatmethode identiek zijn aan de uitkomsten van de referentiemethode.

De kansen die in de figuur op de x-as worden weergegeven zijn berekend door de duur van de onterechte detectie te delen door de totale detectieduur. De kansen die in de figuur op de y-as worden weergegeven zijn berekend door de duur van de gemiste detectie te delen door de totale detectieduur van de referentiemethode.

In beide gevallen wordt getotaliseerd over de periode van 27 augustus 2019 tot en met 14 december (voor zover daarvoor data beschikbaar zijn) en over de locaties die door zowel de kandidaat- en referentie methode worden afgedekt. Het kenmerk van de dataset is A9R_20191214_(0827).

Zoals beschreven in hoofdstuk 5 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** sectie 5.4) is de referentiemethode een combinatie van de methodes "MTM" en de offline GPS methode met $N=3$, $dt=15$ secondes, $dx=50$ meter en een vooruitkijkafstand van 400 meter. Deze twee methodes zijn in de overzichten ook opgenomen als aparte varianten. Onterechte detecties komen hierdoor per definitie voor deze twee varianten niet voor. Vandaar dat de bijbehorende punten op de y-as liggen.

De GPS offline methode heeft een hoog percentage false negatives. Dit volgt uit het feit dat dat deze methode streng is ingesteld, met een klein nabijheidsgebied, de eis van 3 langzame voertuigen en een vooruitkijkafstand tot 400 meter. Meer dan 25% van de tijd dat de combinatie MTM en GPS offline actief is deze offline methode niet actief. Voor MTM is het vergelijkbare getal 8%. Bij benadering is de totale AID duur in de referentievariant ten opzichte van MTM toegenomen met 8%.



Figuur 10: *Kans op gemiste detectie uitgezet tegen kans op onterechte detectie. A9 Rechts. Tussen varianten die slechts met één eigenschappen van elkaar afwijken is steeds een lijn getrokken. Analysecode #IW450*

6.1.2 Interpretatiewijze van de grafische resultaten

Bij de interpretatie van de resultaten uit Figuur 10 moeten de waarden voor "false_positive" en "false_negative" in samenhang beoordeeld worden. Een logische vraag zou zijn of er een manier is om beide grootheden af te beelden op een enkele nutscore.

Sectie 5.5.3 ging al op deze vraag in. Een simpel antwoord op deze vraag is echter niet mogelijk want voor een eenduidig antwoorde moeten de gegeneraliseerde kosten bepaald worden per minuut false negative en per minuut false positive. Beide percentages werken op een ondoorzichtige wijze door in de primaire doelstellingen van AID, te weten het bevorderen van de veiligheid en het verminderen van voertuigverliesuren door het vermijden van ongeval-gerelateerde blokkades. Een hoge uitkomst op de as false positives zorgt op korte termijn voor het onnodig opleggen van snelheidslimieten en op de langere termijn voor negatie van deze limieten. Een hoge uitkomst op de as false negative zorgt op de korte termijn voor een extra risico op ongevallen.

De uiteindelijke afweging is daarom welk percentage false negatives we bereid zijn te accepteren teneinde het aantal false positives te beperken tot een niveau dat de geloofwaardigheid van de opgelegde snelheidslimieten voldoende in tact laat. Hierbij moet nog bedacht worden dat de referentiemethode zelf ook nog een onbekend aantal false positives bevat ten opzichte een "echte" ground truth.

Een ander houvast is dat als voor een variant het percentage false positive en false negative elkaar in evenwicht houden, de totale AID duur van de variant gelijk is aan die van de referentie. In het huidige geval bestaat de referentie uit een combinatie van MTM en een GPS offline methode, waardoor de totale AID duur van deze referentie hoger is dan die van MTM. Om uit te komen in de buurt van de AID duur van MTM moet het percentage false negative verminderd met het percentage false positive van de kandidaatmethode bij benadering gelijk zijn aan het percentage false negative van de MTM methode (voor de A9 Rechts ca 8%)

We komen weer terug op de vraag in de eerste alinea van deze sectie. Bij het combineren van de twee eigenschappen "false negatives" en "false positives" tot een enkele nutscore gaat onvermijdelijk informatie verloren, maar het is wel een hulpmiddel om in Figuur 10 de lijnen van "gelijk nut" in te tekenen en de verschillende varianten te ordenen in volgorde van geschiktheid. De eenvoudigste manier hiervoor is om de nutsfunctie te koppelen aan de gewogen som van beide eigenschappen. De lijnen van gelijk nut worden dan rechte lijnen met een nog te bepalen, maar in iedere geval negatieve richtingscoëfficiënt. De manier om deze coëfficiënt te bepalen is om in het x-y vlak twee punten van "gelijk nut" aan te wijzen.

6.1.3 **Beoordeling grafische resultaten**

De punten in Figuur 10 zijn in 4 clusters in te delen

- *Cluster 1.* De MTM variant, bestaande uit een enkel punt;
- *Cluster 2.* De GPS real time varianten met N=2. Deze liggen op een min of meer vloeiende lijn;
- *Cluster 3.* De GPS real time varianten met N=3 (2 punten);
- *Cluster 4:* De BeMobile variant (1 punt)

De MTM variant maakt deel uit van de referentie en werkt daar dominant in door. Het is daarom niet verrassend dat deze variant duidelijk dichterbij de oorsprong ligt dan de varianten uit de andere clusters.

Indien MTM niet beschikbaar zou zijn dan zouden alle varianten uit cluster 2 onder bepaalde omstandigheden optimaal kunnen zijn, afhankelijk van het percentage false positives acceptabel is. Als we ons op het standpunt stellen dat de totale AID duur van de kandidaatmethode niet te veel mag afwijken van het in de praktijk toegepaste MTM systeem, dan is de variant met N=2, T=30s, dX=100m en vooruitkijkafstand=400m het meest geschikt.

Varianten uit cluster 3 en 4 zijn volgens de grafische beoordelingsmethode onder geen enkele omstandigheid optimaal.

Wat verder opvalt is dat de vooruitkijkafstand een vrij dominante invloed heeft op zowel de kans op false negatives als de kans op false positives. Voor wat betreft de vooruitkijkafstand is bij de GPS varianten "one size fits all" gebruikt, maar van het MTM systeem op de A9 is bekend dat de impliciete vooruitkijkafstand zeer sterk varieert van onderstation tot onderstation. De impliciete vooruitkijkafstand van MTM is geanalyseerd in een bijlage. Zie sectie 10.2.2, meer specifiek Tabel 15 en Figuur 21.

Figuur 10 toont alle varianten die op dit moment onderzocht zijn. Het is wellicht interessant om hier nog een hybride variant aan toe te voegen die ontstaat uit de combinatie MTM en één van de GPS realtime varianten. Dit valt echter buiten de scope van deze studie.

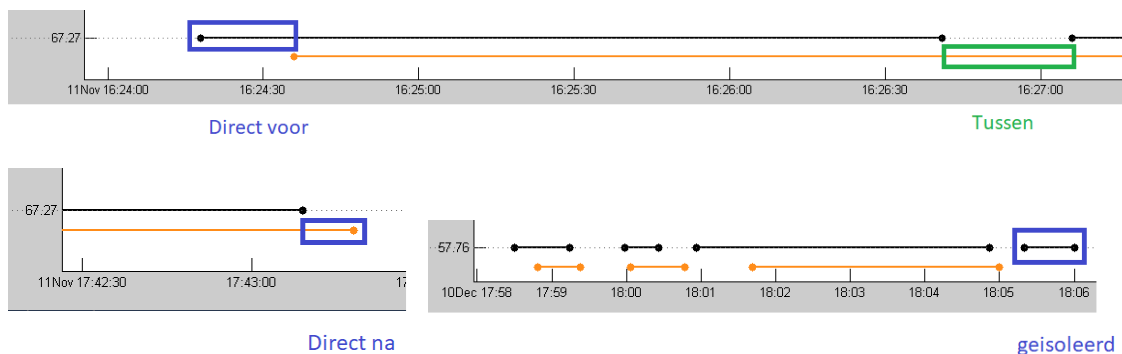
6.1.4 Resultaten A9R in getallen

6.1.4.1 Weging met overlapduur

De resultaten uit sectie 6.1.1 worden nogmaals getoond in Tabel 4. De kolommen "totaal" bevatten de brondata voor Figuur 10. Maar deze waarden kunnen nog worden uitgesplitst in de volgende categorieën (zie ook Figuur 11):

- Direct voor (een overlap). In dit geval is de ontbrekende- of ontbrekende detectie direct voorafgaand aan een periode waarin kandidaatmethode en referentie elkaar overlappen;
- Tussen (twee overlappende periodes);
- Direct Na (een overlap);
- Geïsoleerd.

Deze onderverdeling geeft extra inzicht in de bruikbaarheid van de varianten. Een verschilperiode tussen variant en referentie direct *na* een overlap of tussen twee periodes van overlap is minder ernstig dan een verschilperiode direct *voor* een overlap, en dat is weer minder ernstig dan een *geïsoleerde* verschilperiode.



Figuur 11: Karakterisering van periodes waarin kandidaatmethode en referentie niet samenvallen

Tabel 4 bevat de basisvariant "Realtime, N=2,30s/100m,<400" en een aantal variaties daarop. Eigenschappen die afwijken van de basisvariant met groen gemarkeerd. De slecht presterende varianten met N=3 die nog wel in Figuur 10 zijn opgenomen zijn in de tabel weggelaten.

Tabel 4: *Overlapanalyse van kandidaatmethodes en referentie. Resultaat uitgedrukt in percentages. A9 Rechts. Analysecode #IW050.*

Methode (RT=Realtime, OL=Offline)	False negative, als percentage van incident duur in referentie					False positive, als percentage van AID duur				
	Totaal	Direct voor	Tussen	Direct na	Geïsoleerd	Totaal	Direct voor	Tussen	Direct na	Geïsoleerd
MTM baanvak	7.5	2.5	1.4	1.3	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GPS(OL,N=3,15s/50m,<400)	26.4	4.8	8.5	7.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FCD (BeMobile)	19.8	4.0	5.0	4.4	6.4	12.5	4.5	2.3	2.7	3.1
GPS(RT,N=2,30s/100m,<400)	13.4	2.6	5.3	2.9	2.6	8.9	1.7	2.0	3.2	2.0
GPS(RT,N=2,21s/70m,<400)	17.9	3.5	7.1	4.1	3.2	5.2	1.0	0.8	1.8	1.5
GPS(RT,N=2,30s/100m,<300)	17.0	4.2	6.1	3.4	3.3	5.9	0.8	1.3	2.7	1.1
GPS(RT,N=2,30s/100m,<500)	11.2	1.7	4.8	2.5	2.2	12.6	3.2	2.9	3.5	3.1
GPS(RT,N=2,45s/100m,<500)	8.6	1.4	3.5	1.6	2.1	16.1	3.3	4.5	5.2	3.1
GPS(RT,N=2,60s/100m,<500)	7.0	1.2	2.7	1.1	1.9	18.6	3.3	5.5	6.6	3.2

6.1.4.2 Weging met overlap-incidentie

Voor iedere methode kunnen we alle AID-events indelen in de categorieën "overlappend met referentie" en "niet overlappend met referentie". De eerste categorie is een combinatie van de kolommen "Direct voor", "Tussen" en "Direct na" in bovenstaande tabel en Figuur 11. De tweede categorie komt overeen met de kolommen "geïsoleerd". Op basis van deze indeling kunnen we de percentages false positive en false negative nog een keer weergeven maar nu gewogen het *aantal* incidenten in plaats van de lengte van het overlap. Deze informatie wordt in de onderstaande tabel getoond en geeft een indruk van het aantal niet overlappende events.

Een ander informatief gegeven is de relatieve activiteit van ieder variant. Dit is de totale duur (of het totaal aantal) van alle gegenereerde AID's van een variant gedeeld door de corresponderende getal voor de referentie. Idealiter ligt dit rond de 100%. In dit is de kandidaatmethode net zo lang (of even vaak) aan als de referentie.

Wat opvalt, is dat veel varianten qua tijdsduur minder lang actief zijn geweest dan de referentie en qua aantal AID-periodes juist vaker in- en uitgeschakeld hebben.

Tabel 5: Overlapanalyse van kandidaatmethodes en referentie. Overige indicatoren. A9 Rechts. Analysecode #IW060

Methode	False negative		False positive		Activiteit	
	Als % tijdsduur in referentie	Als % aantal in referentie	Als % tijdsduur in kandidaat	Als % aantal in kandidaat	Als % tijdsduur in referentie	Als % aantal in referentie
MTM baanvak	2.3	18.8	0.0	0.0	92.5	93.7
GPS(Offline,N=3,15s/50m,<400)	6.1	20.4	0.0	0.0	73.6	144.9
FCD (BeMobile)	6.4	23.3	3.1	22.9	91.6	121.0
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<400)	2.6	8.9	2.0	15.5	95.1	129.9
GPS(Realtime,N=2,21s/70m,<400)	3.2	11.5	1.5	13.6	86.6	157.3
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<300)	3.3	14.9	1.1	9.1	88.2	129.7
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<500)	2.2	7.1	3.1	21.5	101.6	129.4
GPS(Realtime,N=2,45s/100m,<500)	2.1	6.3	3.1	21.3	109.0	106.8
GPS(Realtime,N=2,60s/100m,<500)	1.9	5.5	3.2	20.2	114.3	91.0

6.1.4.3 Analyse van de latency

De laatste analyse heeft betrekking op de latency. Indien een AID interval van een kandidaat methode $[k_1, k_2]$ overlapt precies één referentie interval $[r_1, r_2]$ kan de latency bij inschakelen berekend worden als $k_1 - r_1$ en latency bij uitschakelen als $k_2 - r_2$. Indien $k_1 < r_1$ is de latency negatief. De bepaling van de latency is niet altijd triviaal. Er zijn ook situaties waarbij een AID interval niet overlapt met enig referentie interval of juist met meerdere referentie intervallen. Figuur 11 laat hiervan voorbeelden van zien.

Om de gemiddelde latency te bepalen op een manier die in alle gevallen toepasbaar is wordt de volgende aanpak toegepast:

Invoer:

De AID intervallen van een kandidaatmethode en de AID intervallen van de referentiemethode.

Te berekenen tussenresultaat:

Deel de tijd as op in disjuncte aaneensluitende intervallen door de unieke begrenzingen van de kandidaat- en referentieintervallen te sorteren in de tijd en te gebruiken als begrenzingen van een nieuwe set combinatieintervallen. Bepaal voor ieder interval in deze set in welke categorie het valt:

- het interval overlapt met geen enkel interval uit de invoer (kenmerk "n");
- het interval overlap met een AID interval van de kandidaatmethode maar niet met enig interval van de referentiemethode (kenmerk "k");
- het interval overlapt met een AID interval van de referentiemethode, maar niet met enig interval van de kandidaat methode (kenmerk "r");

- het interval overlapt zowel met een interval van de kandidaat methode als met een interval van de referentiemethode (kenmerk "o").

Bepaling latency bij inschakelen:

Spoor alle overgangen op van kenmerk "n-k-o" en "n-r-o" op. Op basis van alleen deze triplets wordt het gemiddelde en de spreiding van de latency bij inschakelen bepaald.

Bepaling latency bij uitschakelen:

Spoor alle overgangen op van kenmerk "o-k-n" en "o-r-n" op. Op basis van alleen deze triplets wordt het gemiddelde en de spreiding van de latency bij uitschakelen bepaald.

Tabel 6 geeft inzicht in de latency van iedere variant. Dit is het gemiddelde van de tijd die verstrijkt tussen het inschakelen van de AID bij de referentie en het inschakelen van de AID voor iedere variant (positief of negatief). Dit gemiddelde geeft de bias van een methode weer, maar de standaardafwijking is nog belangrijker. Deze wordt berekend als de wortel van het gemiddelde kwadratische verschil in inschakeltijd.

De methodes met een grote vooruitkijfstand hebben zoals te verwachten consequent een kleinere of zelfs negatieve inschakelvertraging, en het verbreden (in de tijd) van nabijheidsgebied gaat samen met een toename van de uitschakelvertraging.

Van alle GPS varianten geeft de basisvariant de beste indicatorwaardes op het gebied van latency.

Tabel 6: *Analyseresultaat inschakel- en uitschakelvertraging A9 Rechts. Analysecode #IW070*

Methode	Gemiddelde en spreiding van moment inschakelen AID		Gemiddelde en spreiding van moment uitschakelen AID	
	Inschakel-vertraging	Standaard afwijking	Uitschakel-vertraging	Standaard afwijking
MTM baanvak	13.4	25.5	-7.2	23.8
GPS(Offline,N=3,15s/50m,<400)	26.3	72.9	-38.3	82.0
FCD (BeMobile)	-0.4	108.9	-15.5	96.1
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<400)	6.3	50.4	1.4	58.1
GPS(Realtime,N=2,21s/70m,<400)	15.3	51.8	-14.4	56.4
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<300)	21.4	54.1	-6.2	60.9
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<500)	-9.9	53.8	7.2	60.1
GPS(Realtime,N=2,45s/100m,<500)	-16.3	57.5	30.8	67.9
GPS(Realtime,N=2,60s/100m,<500)	-21.1	62.9	53.0	77.3

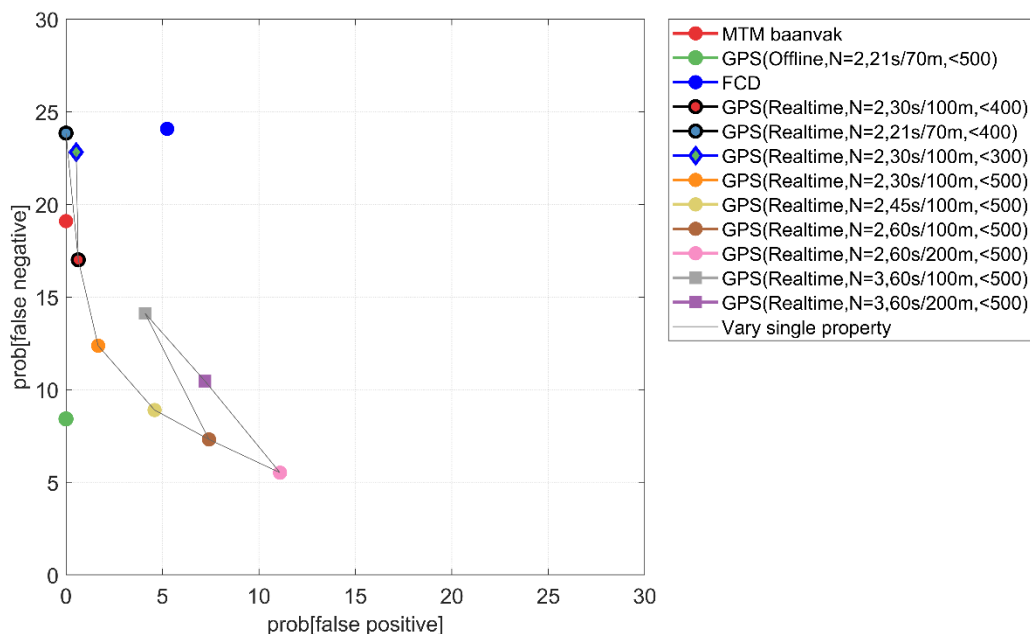
6.1.5 Gevoeligheid mbt gebruikte referentie

De analyses in dit hoofdstuk zijn gemaakt op basis van een conservatieve referentie in de zin dat een combinatie van MTM en een offline GPS wordt toegepast, waarbij de GPS methode alleen een AID genereert bij 3 langzame voertuigen in een relatief klein nabijheidsgebied en een vooruitkijkafstand die is beperkt tot 400 meter.

In de huidige sectie gaan we na wat er gebeurt als we deze referentie vervangen door een referentie aan de andere kant van het spectrum. Hiertoe combineren we MTM met de GPS offline variant op basis van $N=2$, $dt=21$, $dx=70$ en vooruitkijkafstand = 500 meter (variant "Offline, $N=2$, $21s/70m, <500$ ": in Figuur 8).

Deze GPS variant is dermate gevoelig deze ook vele AID' genereert in periodes dat MTM niet actief is. In Figuur 12 heeft dit tot gevolg dat MTM ten opzichte van de gemeenschappelijke referentie een percentage false negatives van ca 18% laat zien tegenover ca 8% voor de offline GPS variant.

We beschouwen deze GPS variant als te gevoelig, maar het is desalniettemin interessant om Figuur 10 en Figuur 12 met elkaar te vergelijken. Hieruit blijkt dat de onderliggende ligging van de punten toch min of meer hetzelfde blijft.



Figuur 12: *Kans op gemiste detectie uitgezet tegen kans op onterechte detectie ten opzichte van een alternatieve referentie. A9 Rechts. Analysecode #IW460*

6.1.6 **Algemeen oordeel naar aanleiding van de resultaten A9R**

Betreft de vooruitkijkafstand van de varianten

Uit een detail analyse van de configuratie (zie in sectie 10.2.2 in bijlage) is gebleken dat de vooruitkijkafstand die MTM op de A9R hanteert in veel gevallen schommelt rond de 380 meter, met uitschieters naar 0 meter en 735 meter. De resultaten van MTM kunnen naar verwachting beter worden gereproduceerd door de vooruitkijkafstand per onderstationlocatie in te stellen.

Betreft de gevoeligheid van de offline variant

Het toepassen van een triggerdrempel 3 langzame voertuigen draagt bij aan de robuustheid van de methode omdat het dit de kans op onterechte AID's door datafouten sterk terugbrengt. In het huidige geval is dit ook gecombineerd met een compact nabijheidsgebied. Beide maatregelen brengen het aantal false positives terug. Het gevaar bestaat echter dat er een algemeen tekort aan waarnemingen ontstaat (hoge en lage snelheid samen). Hierdoor wordt dan het overschrijden van de triggerdrempel verhinderd.

Een idee dat uit het bovenstaande voortkomt is om het aantal algemene waarnemingen te monitoren. Zodra dit op- of onder de triggerdrempel komt wordt het systeem "blind" in voor de betreffende combinatie van plaats en tijd. In deze gevallen zou het geoorloofd moeten zijn om het nabijheidsgebied tijdelijk groter te maken.

Betreft de voorkeursvariant

Ieder punt in Figuur 10 met uitzondering van de twee punten op de y-as vertegenwoordigt een GPS gebaseerde variant die geschikt is voor real-time toepassing. Welke oplossing in deze tweedimensionele weergave de voorkeur heeft hangt af van het belang dat gehecht wordt aan "false positive" versus "false negative". In de regel probeert men een gewogen som van beide te minimaliseren. De punten die het dichtste bij de oorsprong liggen vormen in deze methodiek de zogenaamde efficiënt frontiers. Punten die daar achter liggen (in dit geval de methode FCD en de methodes met $N=3$) komen in principe niet in aanmerking.

De realtime methode met $N=2$, $dt=30s$, $dx=100m$ en vooruitkijkafstand van 400m ligt op de efficiënt frontier en is daarmee een kandidaat-optimum. Dit punt ligt het dichtste in de buurt van het "MTM" punt, met een proportie false negative die 2% gunstiger is en een proportie false positive die 1% ongunstiger is. Hierdoor lijkt dit een veilige keuze.

Figuur 10 toont niet alle aspecten. Het beeld wordt aangevuld door Tabel 4 tot en met Tabel 6. Deze tabellen splitsen de statistieken van false negative en false positive in categorieën, analyseren de totale AID duur en het totaal aantal inschakelmomenten, en analyseren van de latency. Deze informatie geeft echter geen aanleiding om van de eerdere voorkeur af te wijken.

6.2 Resultaten voor A9 Links

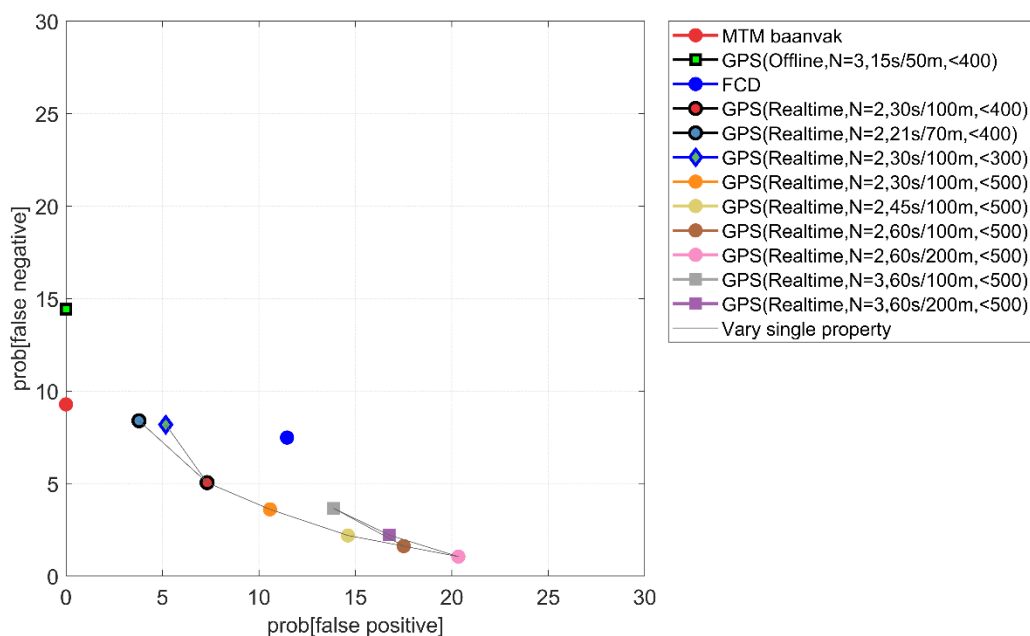
De A9 links loopt van Heiloo richting Amsterdam. Voor dit traject presenteren we de resultaten op exact dezelfde wijze als in sectie 6.1. Voor de toelichting bij grafiek en tabellen verwijzen we naar sectie 6.1.

6.2.1 Grafische weergave van de resultaten

Vergelijking van Figuur 10 en Figuur 13 leert dat het aantal false negatives op de A9L duidelijk lager ligt dan op de A9R en de proportie false positives 1 a 2 % hoger. De mogelijke oorzaak hiervan is mogelijk de Wijkertunnel die voor de A9R een doserende werking heeft en voor de A9L als bottleneck aan het einde van het traject optreedt. Dit werd besproken in sectie 5.5.4.

De methodes met $N=3$ concurreren hier beter met de methodes met $N=2$ dan het geval was bij de A9 Rechts. Dit duidt erop dat het verschil tussen file en geen file op de A9 links duidelijkere aanwezig is. Hierdoor komen situaties met precies 2 gedetecteerde langzame voertuigen minder vaak voor.

Op grond van alleen de percentages false negative en false positive heeft nu niet de basisvariant, maar een variatie daarvan met een kleiner nabijheidsgebied de (lichte) voorkeur omdat deze de meeste gelijkenis met MTM vertoont.



Figuur 13: *Kans op gemiste detectie uitgezet tegen kans op onterechte detectie. A9 Links.*

6.2.2 Resultaten A9L in getallen

Ten opzichte van de A9 Rechts is het beeld dat de methode MTM het ten opzichte van de GPS gebaseerde methode iets slechter doet. Verder is het beeld in grote lijnen hetzelfde.

Tabel 7: Overlapanalyse van kandidaatmethodes en referentie. Resultaat uitgedrukt in percentages. A9 Links. Analysecode #IW050

Methode (RT=Realtime, OL=Offline)	False negative, als percentage van incident duur in referentie					False positive, als percentage van AID duur				
	Totaal	Direct voor	Tussen	Direct na	Geïsoleerd	Totaal	Direct voor	Tussen	Direct na	Geïsoleerd
MTM baanvak	9.3	4.1	1.8	1.5	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GPS(OL,N=3,15s/50m,<400)	14.4	2.1	6.8	4.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FCD (BeMobile)	7.5	2.3	1.8	2.3	1.0	11.5	5.1	1.5	2.6	2.3
GPS(RT,N=2,30s/100m,<400)	5.0	1.5	1.9	1.2	0.4	7.3	1.5	1.4	3.2	1.2
GPS(RT,N=2,21s/70m,<400)	8.4	2.1	3.4	2.4	0.5	3.8	0.9	0.5	1.5	0.9
GPS(RT,N=2,30s/100m,<300)	8.2	3.5	2.4	1.5	0.7	5.2	0.5	0.8	3.1	0.7
GPS(RT,N=2,30s/100m,<500)	3.6	0.8	1.6	1.1	0.2	10.6	3.3	2.1	3.3	1.9
GPS(RT,N=2,45s/100m,<500)	2.2	0.6	1.0	0.4	0.1	14.6	3.4	3.5	5.7	2.0
GPS(RT,N=2,60s/100m,<500)	1.6	0.6	0.7	0.2	0.1	17.5	3.4	4.5	7.5	2.1

De onderstaande tabel toont dat ook voor de A9 Links de basisvariant voor wat betreft het aspect "activiteit" goed in de buurt van de referentie zit.

Tabel 8: Overlapanalyse van kandidaatmethodes en referentie. Overige indicatoren. A9 Rechts. Analysecode #IW060

Methode	False negative		False positive		% Activiteit	
	Als % tijdsduur in referentie	Als % aantal in referentie	Als % tijdsduur in kandidaat	Als % aantal in kandidaat	Als % tijdsduur in referentie	Als % aantal in referentie
MTM baanvak	1.9	13.1	0.0	0.0	90.7	104.2
GPS(Offline,N=3,15s/50m,<400)	1.0	6.6	0.0	0.0	85.6	161.9
FCD (BeMobile)	1.0	7.6	2.3	14.2	104.5	123.0
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<400)	0.4	3.0	1.2	10.5	102.4	116.3
GPS(Realtime,N=2,21s/70m,<400)	0.5	3.8	0.9	8.8	95.2	147.9
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<300)	0.7	7.0	0.7	5.6	96.8	118.8
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<500)	0.2	1.7	1.9	16.2	107.8	114.5
GPS(Realtime,N=2,45s/100m,<500)	0.1	1.3	2.0	16.7	114.5	96.4
GPS(Realtime,N=2,60s/100m,<500)	0.1	1.2	2.1	15.8	119.3	85.5

Op het belangrijke aspect “standaard afwijking van inschakel vertraging” dan toont Tabel 9 dat de variatie van de basisvariant waarbij het nabijheidsgebied is versmald en verkort tot 21s/70m het iets beter doet.

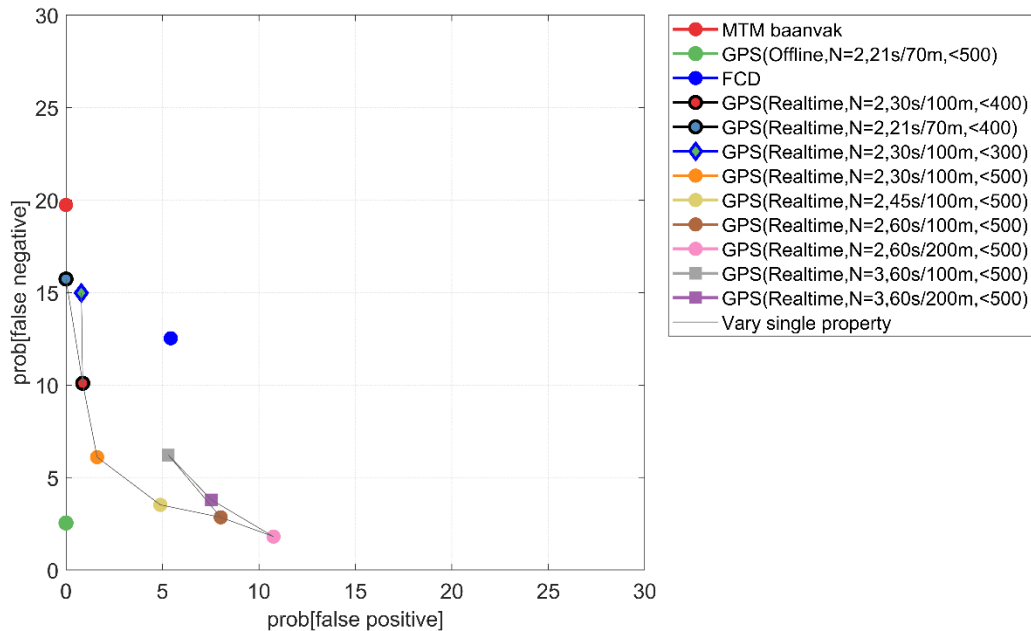
Tabel 9: *Analyseresultaat inschakel- en uitschakelvertraging A9 Links. Analysecode #IW070*

Methode	Gemiddelde en spreiding van moment inschakelen AID		Gemiddelde en spreiding van moment uitschakelen AID	
	Inschakel-vertraging	Standaard afwijking	Uitschakel-vertraging	Standaard afwijking
MTM baanvak	21.7	30.0	-7.7	23.1
GPS(Offline,N=3,15s/50m,<400)	10.5	34.2	-22.1	47.5
FCD (BeMobile)	-18.2	66.1	2.0	65.8
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<400)	-0.1	30.8	11.8	41.0
GPS(Realtime,N=2,21s/70m,<400)	6.7	27.4	-5.0	39.1
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<300)	16.8	33.1	8.5	42.8
GPS(Realtime,N=2,30s/100m,<500)	-16.5	36.0	14.9	43.2
GPS(Realtime,N=2,45s/100m,<500)	-21.1	41.8	39.7	48.0
GPS(Realtime,N=2,60s/100m,<500)	-24.0	45.9	60.3	55.1

6.2.3 Gevoeligheid mbt gebruikte referentie

Voor de volledigheid tonen we in het onderstaande figuur ook voor de A9L hoe de verhouding tussen false negative en false positive wijzigt indien we uitgaan van een referentie met grotere vooruitkijkafstand, een groter nabijheidsgebied en een triggerdrempel van 2 in plaats van 3 langzame voertuigen.

Opnieuw veranderen alle uitkomst-punten van positie, waarbij de proportie false negatives toeneemt en de proportie false positives afneemt. Omdat dit voor alle varianten in min of meer gelijke mate gebeurt verandert ook hier de onderlinge positie van de punten niet wezenlijk.



Figuur 14: *Kans op gemiste detectie uitgezet tegen kans op onterechte detectie ten opzichte van een alternatieve referentie. A9 Links. Analysecode #IW460*

6.2.4 Algemeen oordeel naar aanleiding van de resultaten A9R

De resultaten voor de A9 Links zijn in lijn met wat is gevonden voor de a9 Rechts, met de aantekening dat congestie- en niet congestiesituaties op de A9 Links voor alle varianten duidelijker van elkaar zijn te onderscheiden dan op de A9 Rechts. Hierdoor lijken de GPS methodes te kunnen volstaan met een iets kleiner nabijheidsgebied zonder dat het aantal false negatives oploopt. Een kleiner nabijheidsgebied resulteert in een meer nauwkeurige bepaling van de tijd en plaats van een incident, wat resulteert in een kleinere standaardafwijking van de latency bij in- en uitschakeling.

De meest gunstige variant lijkt in dit geval daarom de realtime methode met $N=2$, $dt=21s$, $dx=70m$ en vooruitkijkafstand van 400m.

Een suggestie voor verder onderzoek is om na te gaan of de grootte van het nabijheidsgebied in plaats van vast, niet beter afhankelijk kan worden gemaakt van het aantal beschikbare waarnemingen.

7 Uitsplitsing per locatie voor de A9R

7.1 Aanleiding

Uit Figuur 10 en Tabel 4 (zie pagina 33) komt een verassend beeld naar voren voor wat betreft de indicatorwaarden van de variant BeMobile FCD. Vooraf werd verwacht dat deze in dezelfde range zouden liggen als die van de in eigen beheer ontwikkelde realtime GPS varianten. De resulterende waarde voor de proportie false negative is echter opvallend hoog in verhouding tot de percentages die gevonden werden bij de in eigen beheer ontwikkelde GPS varianten.

Ter herinnering, dit percentage wordt berekend met het volgende recept:

- stel A = de totale lengte van de periodes waarin de referentiemethode "aan" is en de betreffende methode "uit";
- stel B = de totale lengte van de periodes waarin de referentiemethode "aan" is;
- bereken percentage false negative als $100\% \times A / B$

Om dit verder te onderzoeken splitsen we de waarden van deze indicator in dit hoofdstuk uit per locatie. Vervolgens kunnen we onderzoeken of er specifieke locaties zijn met extra hoge percentages false negative en vinden we mogelijk een verklaring voor de gevonden waarden.

7.2 Te vergelijken varianten

Bij de uitsplitsing beperken we ons tot de volgende methodes:

- de BeMobile FCD variant;
- de realtime basisvariant met N=2, dT=21 sec, dX=70 m, en vooruitkijkafstand=400 m;
- de offline bijdrage aan de referentie met N=3, dT=15 sec, dX=50 m en vooruitkijkafstand=400 m;
- MTM.

Omdat de laatste twee methodes samen de referentie vormen hebben deze per definitie een percentage "false negative" gelijk aan 0.

7.3 Indicatorwaarden in tabelvorm

Tabel 10 toont de uitgesplitste indicatorwaarden. De meest opmerkelijke waarden zijn vet afgedrukt. Tussen km 57.510 en km 58.860 zijn de percentages false negative voor de methode FCD opvallend hoog, met uitschieters boven 70% voor de locaties 58.460 en 58.860.

Ook op locaties 52.000 wordt een hoog percentage false negatives gevonden, maar dit is bij nader inzien te verklaren omdat deze locatie in een tunnel ligt. Dit is te zien in Figuur 24 die is opgenomen in een bijlage met details over het studiegebied (bijlage 10). Hierdoor zijn de GPS data in de directe omgeving vermoedelijk ontbrekend of onbetrouwbaar.

Ook andere GPS varianten vertonen soms hoge proporties false negative, vooral op de locaties 58.460 en 58.860.

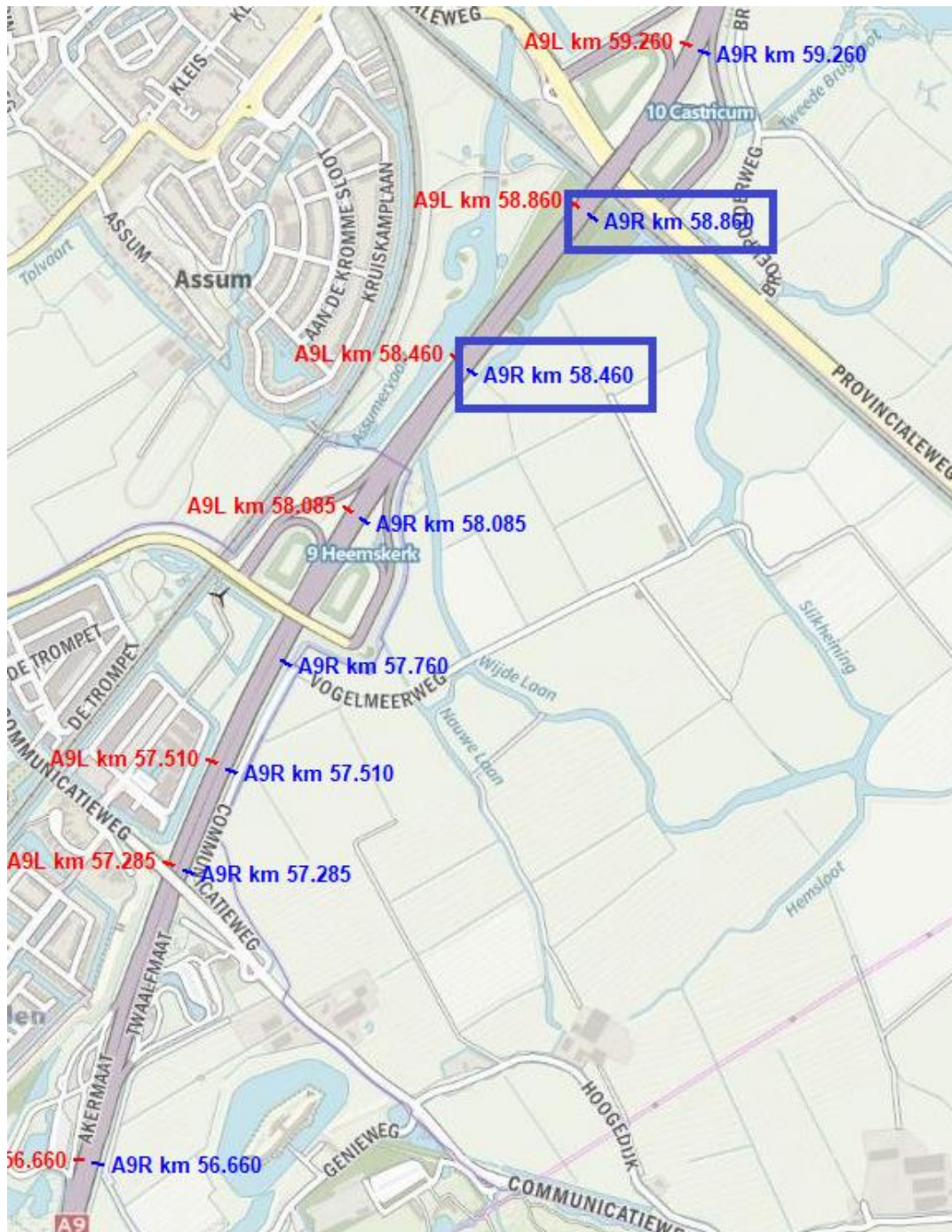
Tabel 10: Overlapanalyse van kandidaatmethode FCD en OL_2_21_70 uitgesplitst per locatie op de A9 Rechts (analysecode #IW100)

Position [m]	MTM Scope [m]	FCD (BeMobile)		Basisvariant		GPS Offline		MTM	
		false neg.	false pos.	false neg.	false pos.	false neg.	false pos.	false neg.	false pos.
52000	1	23.96	24.09	56.18	13.79	75.35	0.00	3.17	0.00
52210	131	12.25	31.94	30.11	14.35	49.24	0.00	8.72	0.00
52300	210	13.51	23.42	29.46	7.30	47.74	0.00	3.19	0.00
52510	300	8.73	14.87	18.46	3.64	33.54	0.00	2.85	0.00
52810	410	2.08	15.28	9.78	1.91	19.27	0.00	1.67	0.00
53220	690	3.14	4.15	5.96	2.97	10.47	0.00	7.79	0.00
53910	735	3.05	6.42	5.87	4.94	10.49	0.00	16.71	0.00
54645	540	3.57	12.83	8.29	5.29	15.95	0.00	11.48	0.00
55185	375	2.21	18.81	6.54	4.81	13.26	0.00	9.19	0.00
55560	360	1.91	17.24	3.26	6.28	5.53	0.00	15.18	0.00
56210	450	13.79	10.92	7.27	4.78	11.71	0.00	13.13	0.00
56660	0	6.99	6.99	10.17	6.57	13.08	0.00	21.06	0.00
57285	0	15.80	10.20	6.54	10.71	11.35	0.00	18.33	0.00
57510	250	25.05	9.81	11.68	9.48	20.60	0.00	14.53	0.00
57760	325	40.28	8.47	27.31	7.85	43.87	0.00	5.53	0.00
58085	375	63.38	16.96	35.90	26.54	55.54	0.00	14.27	0.00
58460	400	89.82	11.82	53.85	5.36	79.21	0.00	0.96	0.00
58860	400	88.17	14.34	63.55	9.82	81.13	0.00	2.55	0.00
59260	586	13.09	7.51	7.17	8.59	12.27	0.00	22.46	0.00
59841	293	17.95	12.74	15.22	7.83	22.01	0.00	11.89	0.00
60483	553	5.24	9.49	19.43	4.86	26.60	0.00	5.06	0.00
61036	599	13.35	12.24	27.98	7.08	33.59	0.00	6.82	0.00
61635	527	11.03	11.69	22.38	6.56	33.34	0.00	1.07	0.00
62162	403	6.93	8.92	3.76	4.88	11.56	0.00	7.24	0.00
62565	560	3.40	9.65	12.49	2.40	16.28	0.00	4.74	0.00
63126	474	1.92	12.05	7.74	2.11	14.10	0.00	4.54	0.00
63599	308	4.08	19.49	7.35	6.56	11.54	0.00	6.61	0.00
64214	317	1.51	34.53	6.09	6.78	8.78	0.00	8.35	0.00
64822	304	1.33	27.11	3.90	5.95	6.86	0.00	10.48	0.00
65436	295	3.79	21.27	5.49	5.05	9.33	0.00	8.58	0.00
66041	305	5.23	20.63	7.42	4.01	10.60	0.00	7.00	0.00
66650	309	4.98	22.94	6.18	6.20	9.69	0.00	10.18	0.00
67270	267	3.22	12.39	4.79	2.59	7.88	0.00	5.39	0.00
67842	467	4.31	6.72	7.11	1.48	10.09	0.00	4.15	0.00
68309	371	4.54	7.60	6.44	1.64	9.98	0.00	4.00	0.00
68680	599	4.79	5.64	19.05	0.61	26.06	0.00	4.43	0.00

7.4 Probleemtraject

Naar aanleiding van de resultaten uit Tabel 10 zoomen we in op het traject op de A9R tussen km 56.210 en km 59.841. Vooral de locaties 58460 en 58860 zijn hierbij interessant omdat op deze locaties alle GPS gebaseerde varianten een hoog percentage false negative tonen. Dit wil zeggen dat het MTM systeem op deze locaties vaker incidenten meldt dan de GPS gebaseerde methodes.

De projecties van de bijbehorende onderstations op de kaart is getoond in Figuur 15. In dit figuur zijn de twee grootste probleemlocaties voorzien van een blauw kader. In Bijlage 10.3 is overigens een overzicht van alle ingetekende onderstations op de kaart te vinden.



Figuur 15: Ligging van de probleemlocaties voor GPS gebaseerde methodes op de A9R (Analysecode #IW240).

7.5 MTM configuratie ter hoogte van probleemtraject

In Bijlage 10.2 is de MTM configuratie te vinden voor de A9R en A9L. Voor de locaties A9R 58460 en 58860 en valt daarin in eerste instantie weinig op. Onderstation (OS) 58460 gebruikt lussen van Detectiestations (DS) 58460 en DS 58860. OS 58860 is aangesloten op DS 58860 en DS 59260. DS 58460 is de gemeenschappelijke noemer in de configuraties van OS 58460 en OS 58860. Als dit detectorstation veel AID meldingen triggert, zou dit de resultaten verklaren. Dit zou bijvoorbeeld kunnen als dit DS een lus op een

afrit bevat waar het verkeer met regelmaat stilvalt, terwijl het grootste deel van verkeer over de hoofdrijbaan kan doorrijden.

7.6 Hypothese: stilstaand verkeer op rijbaan B

Om deze hypothese verder te onderzoeken is met behulp van de MTM configuratie en Google streetview het onderstaande overzicht op strooknivo samengesteld (Tabel 11). In deze tabel zijn de stroken ingedeeld in rijbaan A en B. In MTM kan per locatie en per rijbaan een AID melding worden aangemaakt. Als op een locatie een rijbaan "B" aanwezig is, bevat de AID melding voor deze locatie twee componenten, bijvoorbeeld "AID AAN BL:50". In dit voorbeeld is alleen op rijstrook B een lage snelheid gemeten.

Het overzicht laat zien dat op locatie 58460 inderdaad een detectielus op de uitvoeger aanwezig is en dat dit ook geldt voor de locaties 56210, 57510 en 57760. Als deze locaties naast de configuratie in Tabel 15 op pagina 60 worden gelegd dan blijkt dat de volgende OS's op posities 56210, 57510, 57760, 58085 en 58460 worden geraakt en de OS's op locaties 56660 en 57285 niet. Deze gegevens kunnen nu langs Tabel 10 worden gelegd. Dit verklaart een deel van de uitkomsten, maar niet alle. Op locaties 56660 en 57285 is geen bemeten uitvoeger maar wel een hoog percentage false negatives van de BeMobile FCD methode. Op deze locaties is overigens wel in beide gevallen een uitvoeger aanwezig.

Tabel 11: Analyse van het dwarsprofiel op de A9R op basis van MTM configuratie en streetview.

HM	Rijbaantoekenning per strook				Informatie op basis van Streetview
	1	2	3	4	
56210	A	A	A	B	Strook 4 is uitvoeger naar twaalfmaat
56660	A	A	A		Uitvoeger naar twaalfmaat (niet bemeten)
					Tankstation en restaurant Twaalfmaat.
57285	A	A	A		Begin invoeger van Esso/Twaalfmaat, loopt door in uitvoeger (niet bemeten).
57510	A	A	A	B	Afrit 9 (Heemskerk). Strook 4 is uitvoeger.
57760	A	A	A	B	Afrit 9 (Heemskerk). Strook 4 is uitvoeger.
58085	A	A	A		
58460	A	A	A	B	Strook 4 is invoeger doorlopend in uitvoeger
58860	A	A	A		
59260	A	A	A		
					Op 59.7 gaat invoeger over in spitsstrook. Portaal op 59825
59841	A	A	A	B	Strook 4 is spitsstrook.
					Tussen 59.9 en 60 gaat HRB van 3 naar 2 stroken. Afvallende strook links.
60483	A	A	B		Strook 3 is spitstrook.
61036	A	A	B		Strook 3 is spitstrook.
61635	A	A	B		Strook 3 is spitstrook.
62162	A	A	B		Strook 3 is spitstrook.

7.7 Tijd- weg weergave rondom locatie A9R 58460 in de spits

In de viewer "fcdview" kan de activiteit van de verschillende varianten worden getoond in het tijd-weg vlak. In de applicatie kan worden ingezoomd op zowel de x-as (tijd) als de y-as (hectometers). Op deze manier kunnen de details van een groot aantal situaties worden bekeken.

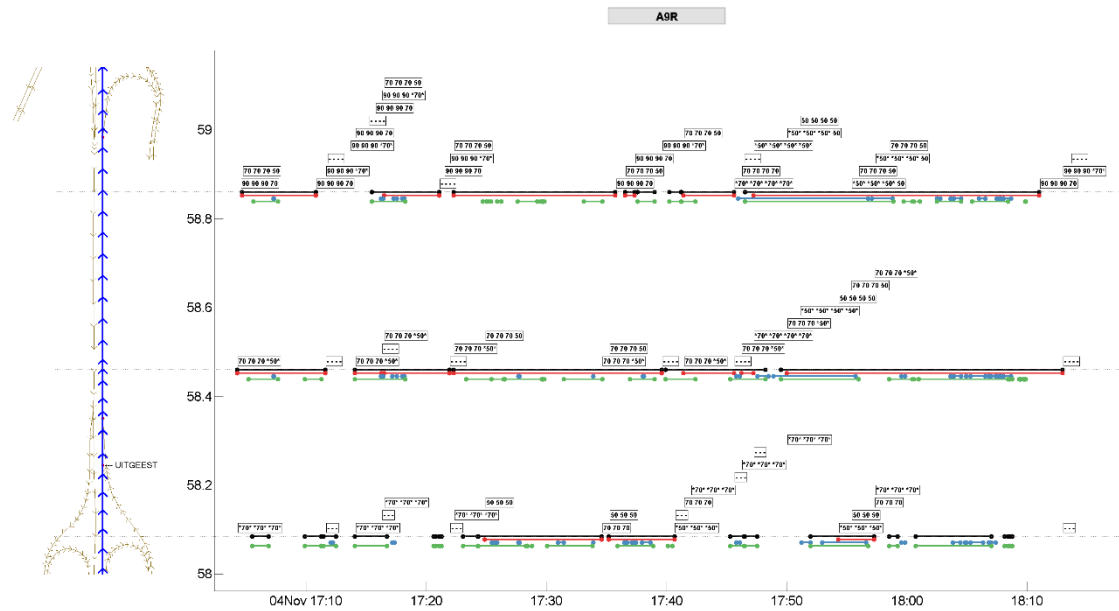
In Figuur 16 is ingezoomd op de avondspits van 4 november en de hectometer range 58.0 tot 59.0. In Figuur 17 is op hetzelfde traject ingevoegd, maar nu een etmaal later. De twee figuren hebben gemeenschappelijk dat het MTM systeem (rode lijnen) op de locaties 58.460 en 58.860 lange periodes aan is. De methode OL_2_21_70 (groen) is aanmerkelijk korter aan en de methode FCD (blauw) nog veel korter. Dit beeld keert terug in andere avondspitsperiodes.

In de figuren zijn ook de beeldstanden geplot waarbij de linker hoek steeds horizontaal is uitgelijnd met het tijdstip waarop de beeldstand ingaat. Om te voorkomen dat de beeldstanden door elkaar heen zouden worden geplot (en onleesbaar worden) is de afbeelding verticaal verplaatst indien nodig.

Op locatie 58.860 is de volgorde van beeldstanden bijvoorbeeld: 90-90-90-70; 70-70-70-50; 90-90-90-70; 90-90--*70*;- - -; enzovoort. Voor zover er sprake is van AID's (rode lijn) worden deze hoofdzakelijk veroorzaakt door langzaam verkeer op de meest rechterstrook. Alleen tussen 17:50 en 18:00 wordt ook boven strook 1 tm 3 een beeldstand "50" getoond.

Dit bevestigt dat er op deze locatie vaak sprake is van een bijzondere situatie waarbij het verkeer op één strook langzaam rijdt, maar het verkeer op de hoofdrijbaan nog goed doorstroomt.

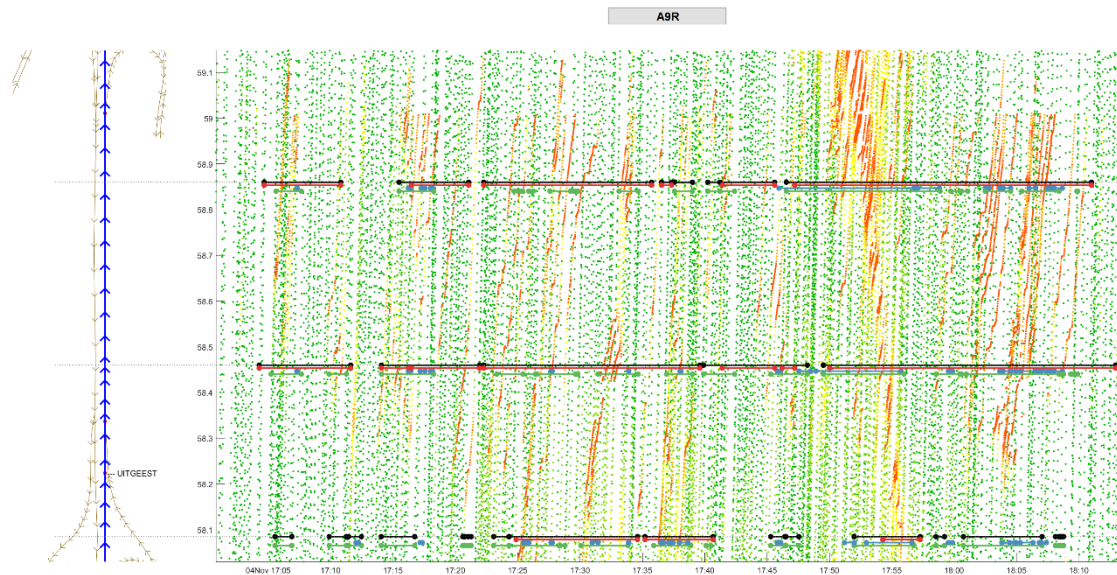
Dat zelfde wordt ook nog eens duidelijk uit Figuur 18 waarin de individuele GPS data worden getoond. In dit figuur is duidelijk te zien er gedurende het grootste deel van de spits voertuigen met snelheden boven de 50 km/h worden waargenomen. Dit is een teken dat het verkeer op bepaalde stroken nog doorrijdt.



Figuur 16: Activiteit als functie van tijd en hectometer van de varianten MTM+OL_2_21_70 (zwart), MTM (rood), FCD (blauw) en OL_2_21_70 (groen). Beeldstanden zijn weergegeven als tekst.



Figuur 17: Idem, één etmaal later, ter bevestiging dat in verschillende spitsperiodes een vergelijkbaar beeld is te zien.

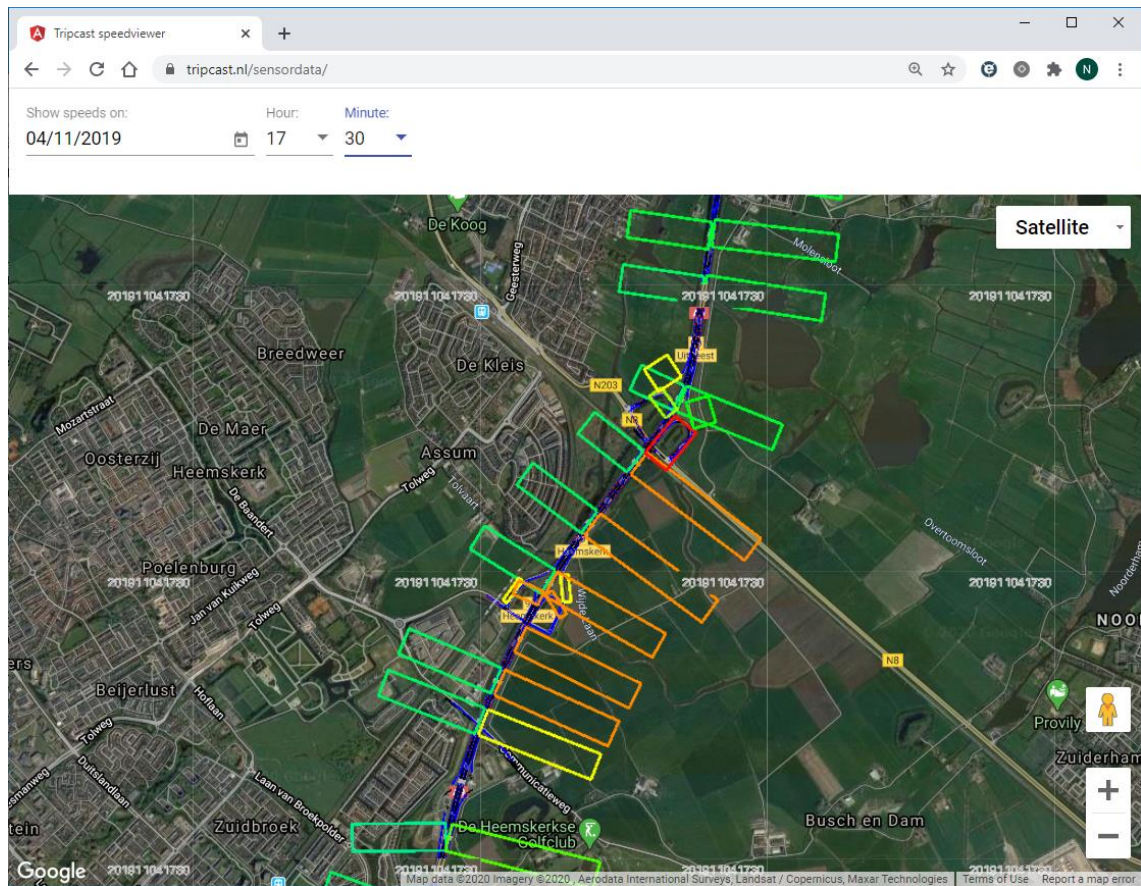


Figuur 18: Zelfde situatie als in Figuur 16 met weergave van de GPS waarnemingen. Groentinten: >50 km/h. Geel: 35-50 km/h. Oranje of rood: <35 km/h

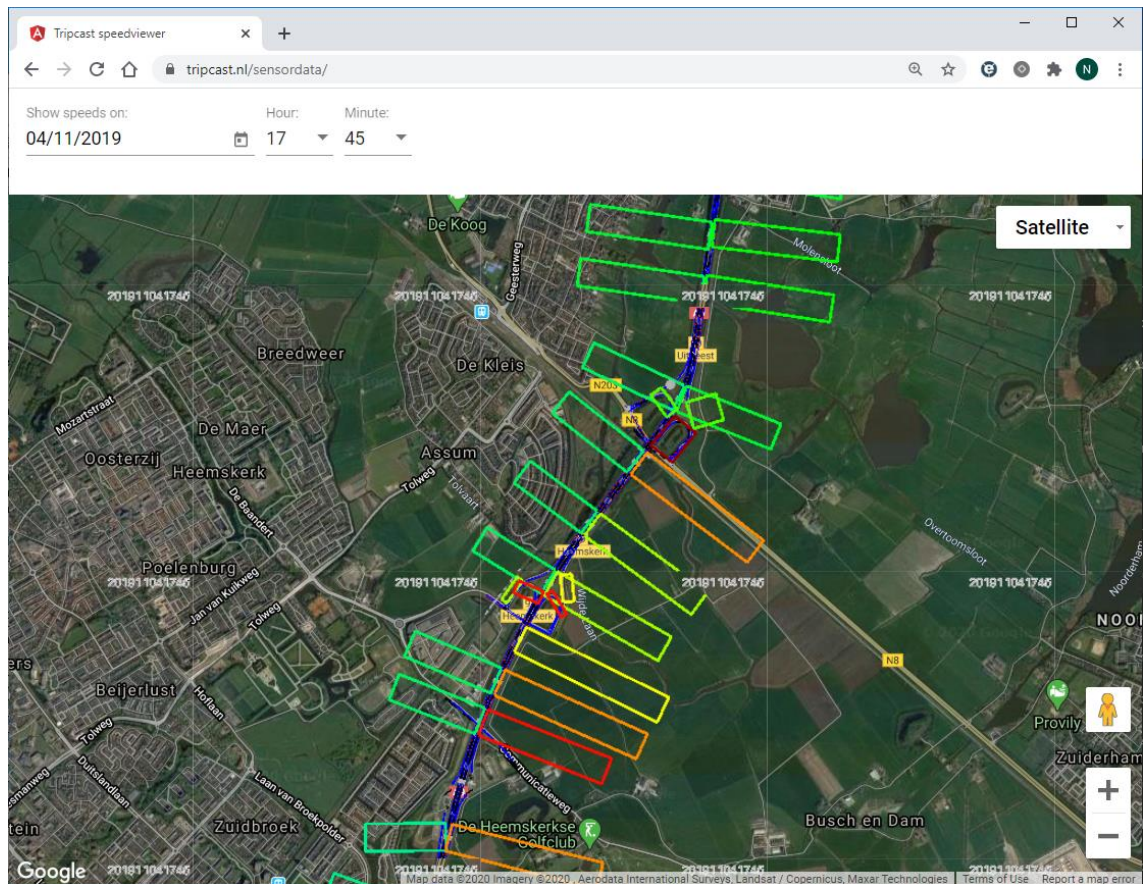
7.8 Verkeersbeeld tijdens spitsperiode

Een laatste manier om het verkeersbeeld te beoordelen is door middel van een zogenaamde belastingplot. Op het door Modelit gehoste webportal www.tripcast.nl/sensordata kunnen momentopnames uit het verleden worden getoond van snelheid en intensiteit, geaggregeerd over alle rijstroken ter plekke. Met dit hulpmiddel is het mogelijk om een beeld te krijgen van het verkeersbeeld op een bepaald moment. Ter illustratie is dit gedaan voor de tijdstippen op 4 november 2019 om 17:30 (Figuur 19) en 17:45 (Figuur 20). Dezelfde tijdstippen komen terug in Figuur 16.

Ook uit deze figuren wordt duidelijk dat er geen sprake is van ernstige rijbaanbrede blokkades. De gemiddelde snelheid tussen Heemskerk en Uitgeest is weliswaar wat lager, maar het verkeer stroomt nog steeds goed door.



Figuur 19: Verkeersbeeld door middel van belastingplot op 4 november 2019, 17:30. Kleurcoderingen: Groen: 78 km/u of hoger; Geel 57 km/u, Oranje 48-55 km/u, rood 39 km/u



Figuur 20: Verkeersbeeld op 4 november 2019, 17:45

7.9 Bevindingen

De aanleiding voor dit hoofdstuk is de hoge percentages “false negative” die werden gevonden in hoofdstuk 6 voor de methode “BeMobile FCD” in relatie tot andere GPS gebaseerde AID algoritmes en de MTM uitkomsten. Dit hoofdstuk toont een aantal manieren waarop de data kan worden geïnspecteerd en hoe kan worden ingezoomd op deelaspecten. De belangrijkste daarvan is het uitsplitsen van de uitkomsten naar locatie.

Het hoofdstuk heeft aangetoond dat de hoge percentages false negative zijn terug te voeren op een aantal locaties. Er is geen aanleiding gevonden om aan te nemen dat de uitkomsten worden veroorzaakt door fouten in de analyse.

Er is wel aannemelijk gemaakt dat de Bemobile FCD methode in de huidige vorm incidenten waarbij weinig voertuigen betrokken zijn, zoals langzaam verkeer op een uitvoeger, in veel mindere mate opmerkt dan het MTM algoritme en de in eigen beheer ontwikkelde GPS gebaseerde algoritmes. Dit kan overigens een bewuste keus zijn geweest.

Om de analyse te kunnen uitvoeren is de onderliggende configuratie van MTM op de A9 in detail geïnspecteerd. Hieruit is naar voren gekomen dat op de A9 een relatief groot aantal onderstations ligt die voor de AID 50 meldingen gebruik maken van een extra detectiestation tussen twee

onderstations in. Hierdoor is de resulterende scope (¹) in veel gevallen rond de 300 meter, tegenover de 400 a 500 meter die meer gebruikelijk is indien geen tussenliggend detectiestation beschikbaar is (het zogenaamde standaard areaal).

De GPS gebaseerde varianten die in de huidige studie bekeken zijn gebruiken een scope van tenminste 400 meter. Dit kan ook verklaren dat deze varianten in vergelijking met MTM actiever zijn.

¹ Rijkswaterstaat hanteert de begrippen "minimale en maximale waarschuwingsafstand", maar deze hebben betrekking op de afstand van het bord "*70*" tot de locatie van het incident. De scope zoals heir bedoeld komt neer op het verschil tussen de minimale en maximale waarschuwingsafstand.

8 Samenvatting en conclusies

8.1 Doel

Het oorspronkelijke doel van de studie was om de performance van een proefopstelling langs de A9 te evalueren. De implementatie van de AID algoritmes heeft echter ernstige vertraging opgelopen zodat ruim na de oorspronkelijk beoogde einddatum van het project geen sprake is van een werkende proefopstelling die geëvalueerd kan worden

Daarom beperkt deze evaluatie zich tot datgene dat wel beschikbaar is, te weten:

- de AID's die door BeMobile zijn aangeleverd;
- de AID's die berekend worden in een ontwikkelomgeving waarin de realtime werking van verschillende GPS gebaseerde algoritmes wordt nagebootst.

8.2 Data

BeMobile heeft behalve AID's ook ruwe GPS data aangeleverd. Het betreft locatie en snelheidsdata van tussen de 5 en 10% van de passerende voertuigen op de A9 in beide richtingen. De sampling rate is typisch 1 datapunt per voertuig per seconde. Deze data zijn uiteraard niet tot kentekens of andere persoonskenmerken te herleiden.

Het gebruik van deze data is tweeledig, ten eerste worden ze gebruikt als brondata voor de GPS gebaseerde realtime algoritme-varianten, ten tweede worden ze gebruikt om in combinatie met de MTM data een offline referentie te bepalen. In tegenstelling tot wat bij een realtime variant gebeurt, mogen bij de berekening van de AID status in de referentie ook GPS datapunten uit de nabije toekomst worden gebruikt. Hierdoor kan in ieder geval ten dele een verschil worden aangebracht tussen de data die gebruikt worden voor de varianten en de data die gebruikt worden voor de referentie.

8.3 Raamwerk

De varianten zijn allen gebaseerd op hetzelfde raamwerk waarbij voor iedere ruimtetijdpositie binnen de bewaakte verkeersbaan een AID puntstatus wordt bepaald door na te gaan of in de nabijheid van de ruimtetijdpositie meerdere voertuigen met een snelheid lager dan 35 km/u worden waargenomen.

Het gebruiken van GPS datapunten in de nabijheid van de beschouwde ruimtetijdpositie is noodzakelijk omdat de kans op een waarneming op precies het beschouwde punt nihil is. De vorm van het nabijheidsgebied is gekozen als een ellips waarvan de hoofdas een hellingshoek van -18° heeft. Dit is bij benadering de snelheid van een filegolf op een autosnelweg. De reden voor deze keuze is dat snelheidswaarnemingen binnen een dergelijke ellips ten tijde van een incident een kleinere variatie vertonen dan waarnemingen binnen andere geometrische vormen met dezelfde oppervlakte. Hierdoor kan met minder datapunten en dus een kleiner nabijheidsgebied worden volstaan.

8.4 Varianten

Binnen het raamwerk is met drie parameters gevarieerd. In volgorde van impact op de uitkomsten zijn dit:

- het aantal unieke voertuigen met een lage snelheid dat een voorwaarde is voor een AID;
- de lengte van de beschouwde verkeersbaan (aangeduid als vooruitkijkafstand);
- de afmetingen van het nabijheidsgebied.

Naast methodes die in dit raamwerk passen worden nog drie extra methodes op dezelfde manier beoordeeld. Het betreft:

- AID's zoals door BeMobile aangeleverd;
- AID's zoals geëxtraheerd uit de MTM logging;
- een offline variant op basis van het raamwerk die ook deel uitmaakt van de referentie.

8.5 Beoordelingswijze

De varianten worden beoordeeld aan de hand van:

- de proportie false positive, berekend als de gesommeerde AID duur van de kandidaatmethode *buiten* intervallen afgedekt door de referentie, gedeeld door de totale AID duur van de kandidaatmethode;
- De proportie false negative, berekend als gesommeerde AID duur van de referentiemethode buiten de intervallen zoals afgedekt door de kandidaatmethode, gedeeld door de totale AID duur van de referentie;
- De gevoeligheid, uitgedrukt als de totale AID duur van de kandidaatmethode in verhouding tot de totale AID duur van de referentie en het totaal aantal AID inschakelingen ten opzichte van de referentie;
- de latency bij in- en uitschakelen en de standaardfout van het in- en uitschakelmoment.

False negatives en false positives zijn beide ongewenste eigenschappen die men beide probeert te minimaliseren. Bij het vergelijken van meerdere methodevarianten is het nuttig om voor iedere variant de proportie false negative te plotten versus de proportie false positive. De efficiënt frontier is in deze plot de curve gevormd door de varianten die bij enige combinatie van positieve weegfactoren de gewogen som van false negatives en false positives minimaliseren. Afhankelijk van welk gewicht men toekent aan beide eigenschappen is één van de punten op de efficiënt frontier optimaal. Punten die vanuit de oorsprong gezien achter de efficiënt frontier liggen zijn bij geen enkele combinatie van weegfactoren optimaal.

Een overweging die bij de selectie van een kandidaatmethode ook mag meewegen is de gevoeligheid van de methode, af te meten aan de totale AID duur. Als de proporties false negative and false positive aan elkaar gelijk zijn heeft de kandidaat methode dezelfde gevoeligheid als de referentie.

8.6 Voorkeursvariant

Op basis van deze overwegingen is na de nodige experimenten een voorkeursvariant geselecteerd. Deze triggert bij 2 langzame voertuigen in het nabijheidsgebied een AID, heeft een vooruitkijkstand van 400 meter en heeft een nabijheidsgebied met de afmetingen van 30 seconden bij 100 meter.

Vergeleken met MTM functioneert de voorkeursvariant op de A9 Rechts iets beter, met een 2% lagere proportie false negatives ten koste van slechts 1% hogere false positives. Op de A9 Links is MTM licht in het voordeel. De voorkeursvariant heeft hier weliswaar 4% minder false negatives, maar ook 7% meer false positives. De vermoedelijke reden voor het verschil is dat de A9 Links uitmondt in de Wijkertunnel die in de ochtendspits als een bottleneck fungeert. Hierdoor ontstaan op de A9 Links in de ochtendspits veel langlopende filegolven. MTM detecteert dit type congestie effectief doordat het over het algemeen beschikt over een benedenstrooms detectiestation waar congestie van dit type instantaan wordt waargenomen.

In verhouding tot de door BeMobile aangeleverde AID's scoort de voorkeursvariant duidelijk beter op de criteria false negative en false positive.

8.7 Voorbehoud

Hier horen een aantal kanttekeningen bij:

- de voorkeursvariant houdt nog niet volledig rekening met de vertragingen die kunnen optreden tussen meting en beschikbaar komen van de GPS data in het rekencentrum (naar verwachting tussen de 1 en 11 secondes);
- de voorkeursvariant houdt evenmin rekening met de verwerkingstijd van het algoritme zelf (naar verwachting enkele secondes);
- De referentie en de voorkeursvariant gebruiken dezelfde geprojecteerde GPS data. Dit is een duidelijk voordeel voor de voorkeursvariant omdat beslissingen die bij het projecteren van de GPS punten worden genomen over wel- of niet accepteren en projectielocatie in de voorkeursvariant op dezelfde manier doorwerken als in de referentie.

8.8 Mogelijke verfijningen en aanvullend onderzoek

Uiteraard is het mogelijk de voorkeursvariant op onderdelen te verfijnen. Dit kan onder andere op de volgende manieren:

- de vooruitkijkafstand is nu universeel ingesteld op 400 meter, maar zou ook "op maat" gekozen kunnen worden om de werking van MTM beter na te bootsen. In het studiegebied "A9" varieert de door de ligging van de detectorstations geïmpliceerde vooruitkijkafstand van MTM tussen de 0 en 735 meter;
- Ook de afmetingen van het nabijheidsgebied zijn universeel ingesteld, maar zijn vermoedelijk gebaat bij het aanbrengen van een terugkoppeling met het totaal aantal waargenomen unieke voertuigen in dit gebied. Hoe meer waarnemingen beschikbaar zijn in het gebied, hoe verder het verkleind mag worden en vice versa;

- Het algoritme berust op het tellen van alle aantal unieke langzame voertuigen in het nabijheidsgebied, ook als uit de meest recente data blijkt dat de betreffende voertuigen inmiddels al weer een hogere snelheid laten zien. Er is veel voor te zeggen om voor ieder voertuig alleen de laatste bekende snelheid in het nabijheidsgebied in de berekening mee te nemen.

Inmiddels zijn ook zogenaamde Individuele Voertuig Passage (IVP) data beschikbaar die afkomstig zijn van IWKS onderstations. Op basis hiervan kan op geselecteerde locaties (niet te verwarren met trajecten) de AID puntstatus min of meer worden afgelezen. Deze kan vervolgens worden vergeleken met de AID puntstatus zoals berekend op basis van GPS data en een nabijheidsgebied. Dit biedt verregaande mogelijkheden om de parameters zoals genoemd in sectie 8.4 te optimaliseren.

9 Bronverwijzingen

Zijpp, N.J. van der (2017) Evaluatie praktijkproef Filesignalering op basis van Floating Car Data, rapport in opdracht van Rijkswaterstaat

Zijpp, N.J. van der (2019a) Algoritme voor Automatische Incident Detectie op basis van GPS data, rapport in opdracht van Rijkswaterstaat

Zijpp, N.J. van der (2019b) Bepaling van de rijrichting op basis van geprojecteerde GPS data, memo in opdracht van Rijkswaterstaat

S.H.v.d. Heijden, A.v. Ingen, N.G.M. Smit (2014) Wegkantsysteem voor Signaleren en Monitoren – Systeem Specificatie, SSS 91 DVS.WKS.SSS - versie 2.1.DBFM (Definitief) , Rijkswaterstaat, Verkeer en Watermanagement, 2 juni 2014

10 Bijlage: MSI locaties

10.1 HM posities van portalen

De onderstaande tabel toont op welke HM posities portalen aanwezig zijn op de A9. Uit deze posities is tevens de afstand tot het eerstvolgende benedenstroomse portaal berekend.

Tabel 12: *Overzicht MSI posities en afstand tot volgend portaal op A9R en A9L*

Positie (km)	MSI aanwezig op weghelft	afstand naar de volgende MSI (m)	
		op A9R	op A9L
52.000	R	210	geen MSI
52.002	L	geen MSI	niet berekend
52.102	L	geen MSI	100
52.210	R	90	geen MSI
52.300	R+L	210	198
52.510	R+L	300	210
52.810	R+L	410	300
53.220	R+L	690	410
53.627	L	geen MSI	407
53.910	R+L	735	283
54.210	L	geen MSI	300
54.645	R+L	540	435
55.185	R+L	375	540
55.560	R+L	650	375
55.860	L	geen MSI	300
56.210	R+L	450	350
56.660	R+L	625	450
57.285	R+L	225	625
57.510	R+L	250	225
57.760	R	325	geen MSI
58.085	R+L	375	575
58.460	R+L	400	375
58.860	R+L	400	400
59.260	R+L	581	400
59.841	R+L	642	581
60.128	L	geen MSI	287
60.483	R+L	553	355
61.036	R+L	599	553
61.635	R	527	geen MSI
61.866	L	geen MSI	830
62.162	R	403	geen MSI
62.280	L	geen MSI	414
62.565	R+L	561	285
63.126	R	473	geen MSI
63.130	L	geen MSI	565
63.599	R+L	615	469
64.214	R+L	608	615
64.822	R+L	614	608
65.436	R+L	605	614
66.041	R+L	609	605
66.650	R+L	620	609
67.270	R+L	572	620
67.842	R	467	geen MSI
67.900	L	geen MSI	630
68.309	R	371	geen MSI
68.325	L	geen MSI	425
68.680	R	niet berekend	geen MSI

10.2 MTM Configuraties

Naast de locaties van de Matrixsignaalgevers (MSI) kunnen ook de posities van de Onderstations (OS) en de gerelateerde detectorstations worden bestudeerd. De locaties van de onderstations komt overigens vrijwel naadloos overeen met de posities van de MSI's.

Deze posities zijn vastgelegd in een zogenaamde configuraties, de CGGTOP en de CGGOS. De CGGTOP beschrijft de configuratie die, zoals het woord zegt, door de Transaction Oriented Processor (TOP) wordt gebruikt. De TOP fungeert als een overkoepelend systeem boven de onderstations en zorgt er onder andere voor dat de AID berichten die door de onderstations worden verstuurd worden verwerkt tot een logische set van beeldstanden.

10.2.1 Parameters

De AID berichten zelf worden in het onderstation gegenereerd en de parameterset die hierbij wordt gebruikt is vastgelegd in de CGGOS. Deze configuratie beschrijft welke detectors, drempelwaardes, afvlakparameters en AIDverhogingen worden gebruikt bij het bepalen van AID berichten.

Voor de huidige evaluatie is van belang om na te gaan hoe de zogenaamde "AID 50 AAN" berichten tot stand komen, en dan specifiek welke detectors en drempelwaardes hierbij gebruikt worden. De volgende parameters worden gebruikt:

- Bovengrens hoog. Voor de A9 is deze parameter altijd 50 km/h;
- Bovengrens laag. In de praktijk is deze parameter altijd gelijk aan de parameter "bovengrens hoog";
- Ondergrens hoog. In de praktijk is deze parameter altijd gelijk aan de parameter "ondergrens laag";
- Ondergrens laag. Voor de A9 is deze parameter altijd 35 km/h;
- Afvlak acceleratie. Voor de A9 is deze parameter in alle gevallen gelijk aan 0.40;
- Afvlak deceleratie. Voor de A9 is deze parameter in alle gevallen gelijk aan 0.15;
- AID verhoging. Voor de A9 is deze parameter meestal 0 km/h en incidenteel +20 km/h.

De afgevlakte snelheid op tijdstip $t+1$ ($\bar{v}_{t+1}$) wordt berekend als (*):

$$\frac{1}{\bar{v}_{t+1}} = \frac{\alpha}{\bar{v}_t} + \frac{1-\alpha}{v_{t+1}}$$

(*) afgeleid uit vd Heijden et al. (2014)

Een hogere waarde van de afvlak parameter α geeft in dit geval een tragere adaptatie aan de nieuwe meetwaarde v_{t+1} . In de praktijk wordt tijdens de deceleratiefase (nieuwe snelheden zijn lager dan het oude gemiddelde) een afvlak parameter van 0.15 gebruikt, wat wil zeggen dat in dit geval het oude gemiddelde voor 15% meeweegt en de nieuwe meetwaarde voor 85%.

Nadat de nieuwe afgevlakte snelheid bekend is wordt de nieuwe AID classificatie bepaald door middel van Tabel 13. De classificatie kan drie waardes aannemen:

- 0: er is geen AID
- 1: er is een AID
- D: de bestaande AID status wordt voortgezet.

Tabel 13: *Beslistabel huidige AID classificatie als functie eerdere classificatie en huidige afgevlakte snelheidsgemiddelde*

Vorige AID classificatie	Huidige waarde van het afgevlakte snelheidsgemiddelde (van/tot)				
	0	ondergrens laag	ondergrens hoog	bovengrens laag	bovengrens hoog
	ondergrens laag	ondergrens hoog	bovengrens laag	bovengrens hoog	onbeperkt
0 (geen AID)	1	D	D	0	0
D (doubtful)	1	D	D	D	0
1 (AID)	1	1	D	D	0

Omdat in praktijk met slechts één onder- en bovengrens gewerkt wordt vereenvoudigt de bovenstaande tabel in de praktijk tot Tabel 14.

Tabel 14: *Vereenvoudigde AID beslistabel in het geval "laag=hoog"*

Vorige AID classificatie	Huidige waarde van het afgevlakte snelheidsgemiddelde (van/tot)		
	0	ondergrens hoog	bovengrens hoog
	ondergrens	bovengrens laag	onbeperkt
0 (geen AID)	1	D	0
D (doubtful)	1	D	0
1 (AID)	1	D	0

10.2.2 MTM Configuratie A9 Rechts

De voor de evaluatie relevante details van de configuratie op de A9 rechts zijn opgesomd in Tabel 15. Kolom 1 vermeld de positie van het onderstation, kolom 2 tm 5 de posities van de 1^e, 2^e tm 4^e aangesloten detectierai en kolom 6 de "scope" die is berekend als de afstand van de eerste tot de laatste detectierai waarvoor geen AID verhoging geldt.

In de tabel valt op dat de scope in de praktijk sterk varieert. Er zijn enkele locaties waarbij de scope (nagenoeg) 0 is. Het gaat hierbij om locaties die slechts op een enkele detectierai zijn aangesloten.

De scope hangt nauw samen met de minimale en maximale waarschuwingsafstand. Deze is gedefinieerd als de afstand vanaf het eerste portaal met *70* tot aan de filestaart. In de regel zijn tenminste twee detector stations aangesloten op een onderstation om te kunnen voldoen aan de minimale waarschuwingsafstand.

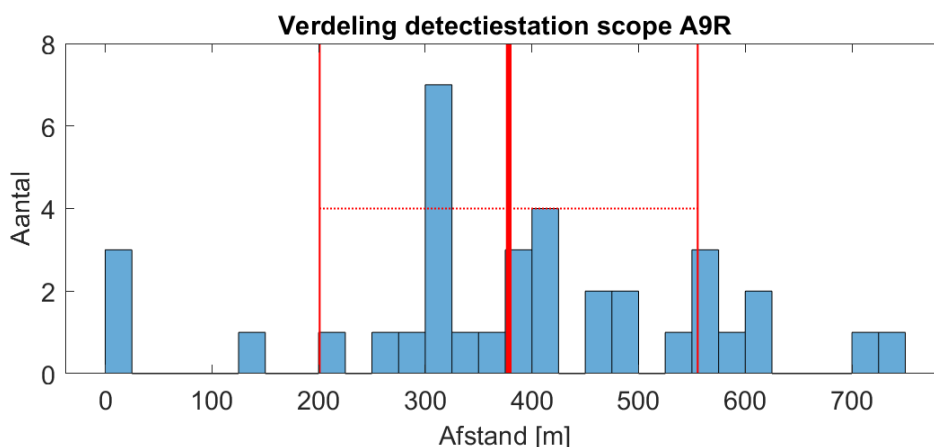
In Tabel 15 valt op dat er enkele onderstations zijn met een scope van (nagenoeg) 0 meter (zie posities 52.000, 56.660 en 57.285). Positie 52.000 is een bijzonder geval, want het OS licht in de Wijkertunnel. Ter plekke zijn vermoedelijk weinig zinvolle GPS data beschikbaar. Om deze reden zou het van analyse moeten worden uitgesloten. Positie 57.285 is vermoedelijk een nieuwer onderstation dat nog niet volgens de normen is geïntegreerd in de configuratie. Een betere verklaring is althans niet voorhanden waarom DS 57.285 niet is aangesloten op OS 56.600 en DS 57.510 niet op OS 57.285. Verder zijn er relatief veel onderstations met een vrij korte scope van ca 300 meter. In een aantal gevallen is dit gecompenseerd door een derde detectieraii aan te sluiten met een AID verhoging van +20. Deze derde raai zal echter alleen "AID 70" berichten kunnen triggeren terwijl in de evaluatie worden alleen "AID 50" berichten worden gebruikt. De tweede raai fungeert in deze gevallen doorgaans als tussenraai (aangegeven in blauw). Tenslotte zijn er twee locaties op rij met een relatief forse scope (OS 53.220 en 53.910).

Tabel 15: *Hectometerlocaties van onderstations op de A9R (kolom 1) plus hectometerlocaties van gerelateerde detectiestations (kolom 2 en verder) (analysecode #IW250)*

Onderstation	Detectieraii [dvk letter][AID verhoging]				Scope (m)
	1	2	3	4	
52.000	52.168	52.169			1
52.210	52.169	52.300			131
52.300	52.300	52.510			210
52.510	52.510	52.810			300
52.810	52.810	53.220			410
53.220	53.220	53.627 (a)	53.910		690
53.910	53.910	54.645			735
54.645	54.645	55.185			540
55.185	55.185	55.560			375
55.560	55.560	55.900	56.210 (+20)		360
56.210	56.210	56.660			450
56.660	56.660				0
57.285	57.285				0
57.510	57.510	57.760			250
57.760	57.760	58.085			325
58.085	58.085	58.460			375
58.460	58.460	58.860			400
58.860	58.860	59.260			400
59.260	59.260	59.846			586
59.841	59.846	60.139	60.488 (+20)		293
60.483	60.488	61.041			553
61.036	61.041	61.640			599
61.635	61.640	62.167			527

62.162	62.167	62.570			403
62.565	62.570	63.130	62.525 (a)(+20)	62.585 (b)(+20)	560
63.126	63.130	63.604			474
63.599	63.604	63.912	64.219 (+20)		308
64.214	64.219	64.536	64.827 (+20)		317
64.822	64.827	65.131	65.441 (+20)		304
65.436	65.441	65.736	66.046 (+20)		295
66.041	66.046	66.351	66.655 (+20)		305
66.650	66.655	66.964	67.275 (+20)		309
67.270	67.275	67.542	67.847 (+20)		267
67.842	67.847	68.314			467
68.309	68.314	68.685			371
68.680	68.685	69.284			599
69.208	69.248	69.700	69.800 (r)	70.218 (r)(+20)	452

De getallen in de kolom "scope" kunnen worden afgebeeld in een histogram. Dit is gebeurd in Figuur 21. In hetzelfde figuur zijn ook het gemiddelde (378 meter) en de standaardafwijking (177 meter) van de scope getoond.



Figuur 21: Histogram van de detectiestation scope van de onderstations op de A9R. In rood: de gemiddelde scope (378 m) en het gemiddelde +/- eenmaal de standaardafwijking (177 m). (Analyse code #IW300)

10.2.3 MTM Configuratie A9 Links

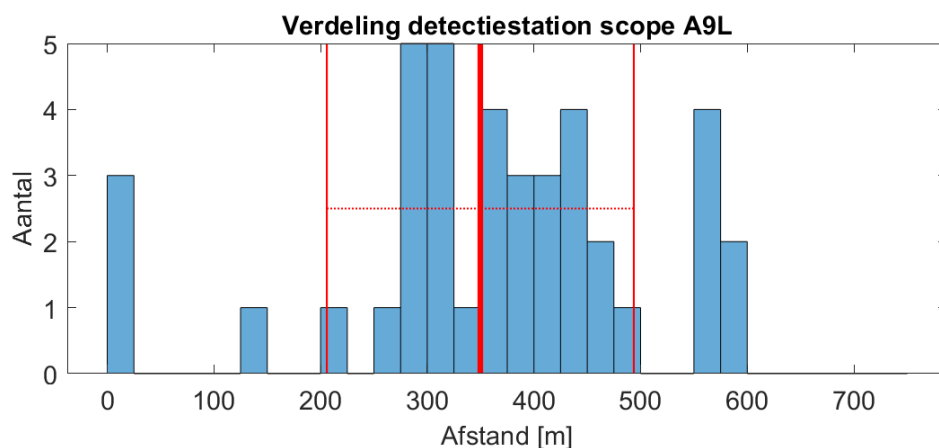
Het beeld op de A9 Links is vergelijkbaar met de A9 rechts nmet wellicht een iets kleinere spreiding in de scope en de afwezigheid van onderstations met een scope groter dan 600 meter.

Tabel 16: *Hectometerlocaties van onderstations op de A9L (kolom 1) plus hectometerlocaties van gerelateerde detectiestations (kolom 2 en verder) (analysecode #IW250)*

Onderstation	Detectieraaian [dvk letter][AID verhoging]					
	1	2	3	4	5	
69.460	69.410	69.060	68.758 (+20)			350
68.763	68.758	68.320				438
68.325	68.320	67.875				555
67.900	67.875	67.542	67.265 (+20)			333
67.270	67.265	66.964	66.645 (+20)			301
66.650	66.645	66.385	66.036 (+20)			260
66.041	66.036	65.690	65.431 (+20)			346
65.436	65.431	65.131	64.817 (+20)			300
64.822	64.817	64.536	64.209 (+20)			281
64.214	64.209	63.912	63.594 (+20)			297
63.599	63.594	63.118				476
63.130	63.118	62.560				558
62.565	62.560	62.275				285
62.280	62.275	61.861				414
61.866	61.900 (d)(+20)	61.861	61.840 (d)(+20)	61.445	61.031 (+20)	416
61.036	61.031	60.478				553
60.483	60.478	60.123				355
60.128	60.123	59.836				287
59.841	59.836	59.260				576
59.260	59.260	58.860				400
58.860	58.860	58.460				400
58.460	58.460	58.085				375
58.085	58.085	57.510				575
57.510	57.510					0
57.285	57.285					0
56.660	56.660	56.210				450
56.210	56.210	55.860				350
55.860	55.860	55.560				300

55.560	55.560	55.185	A22L 16.100			375
55.185	55.185	54.645				540
54.645	54.645	54.210				435
54.210	54.210	53.910				300
53.910	53.910	53.627				283
53.627	53.627	53.220				407
53.220	53.220	52.790				430
52.810	52.790	52.510				280
52.510	52.510	52.300				210
52.300	52.300	52.169				131
52.102	52.169	52.168				1
52.002	52.168	51.800				368

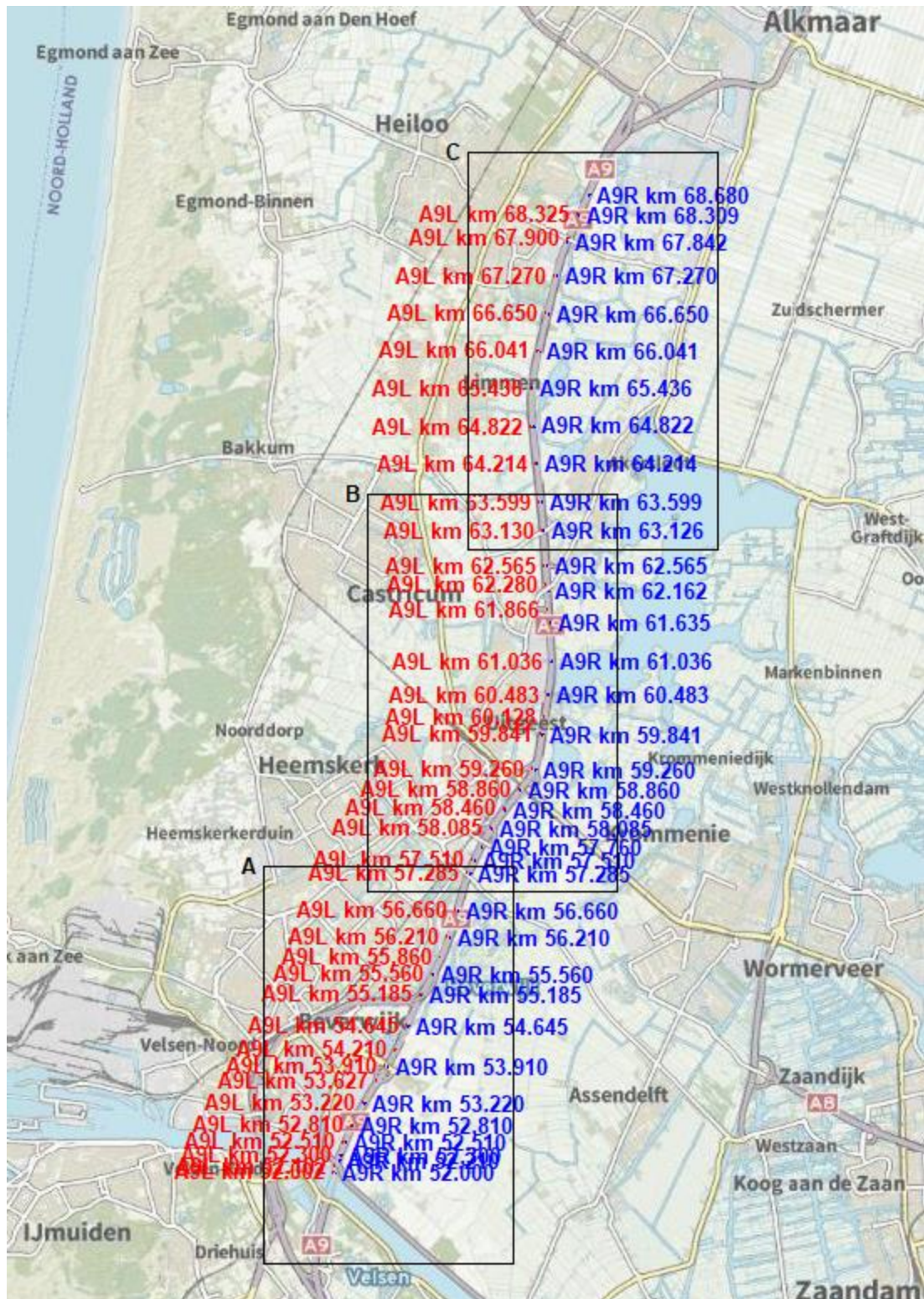
De getallen in de kolom "scope" kunnen weer worden afgebeeld in een histogram. Dit is gebeurd in Figuur 22. In hetzelfde figuur zijn ook het gemiddelde (378 meter) en de standaardafwijking (177 meter) van de scope getoond.



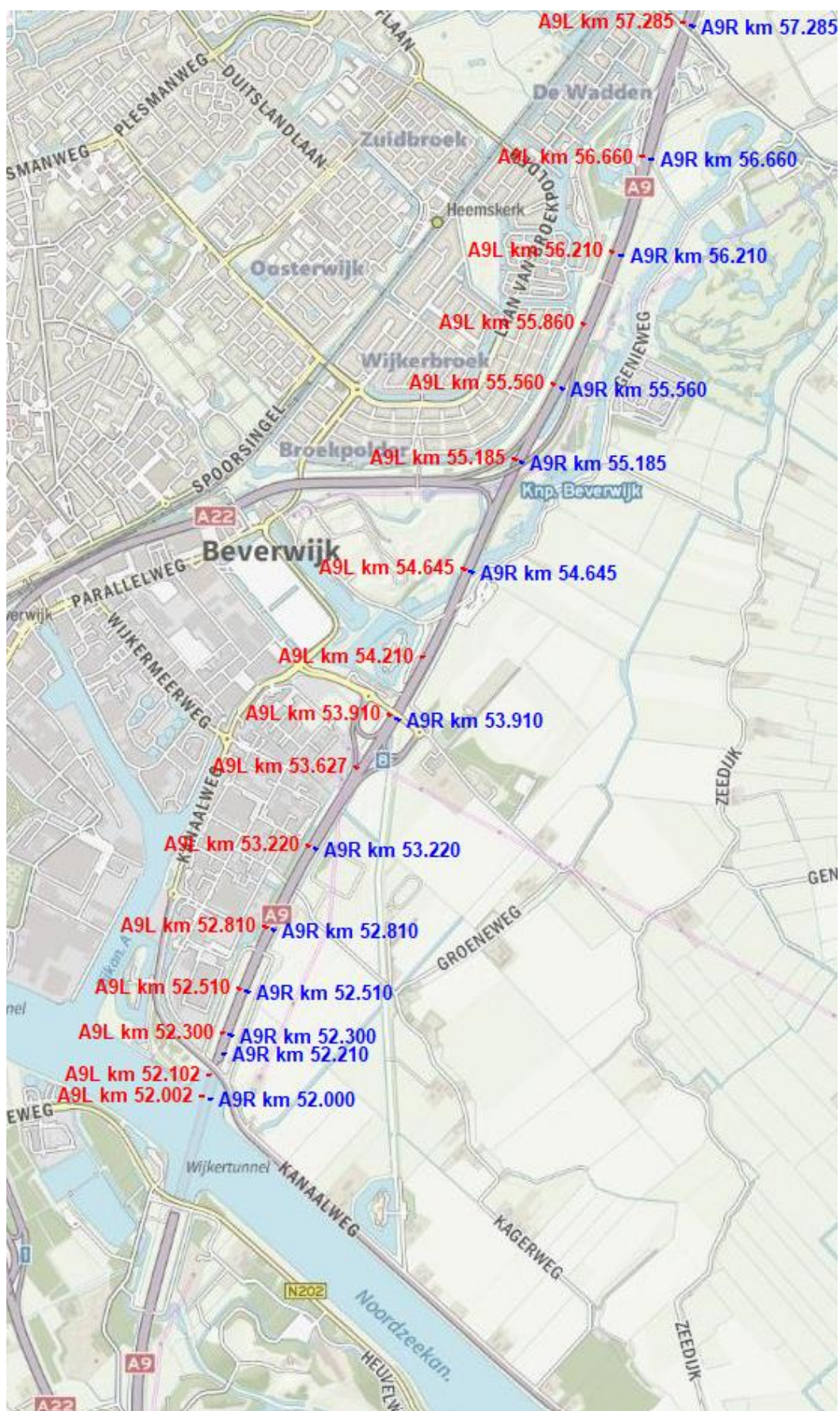
Figuur 22: Histogram van de detectiestation scope van de onderstations op de A9L. In rood: de gemiddelde scope (350 m) en het gemiddelde +/- eenmaal de standaardafwijking (144 m). (analysecode #IW310)

10.3 Portalen ingetekend op de kaart

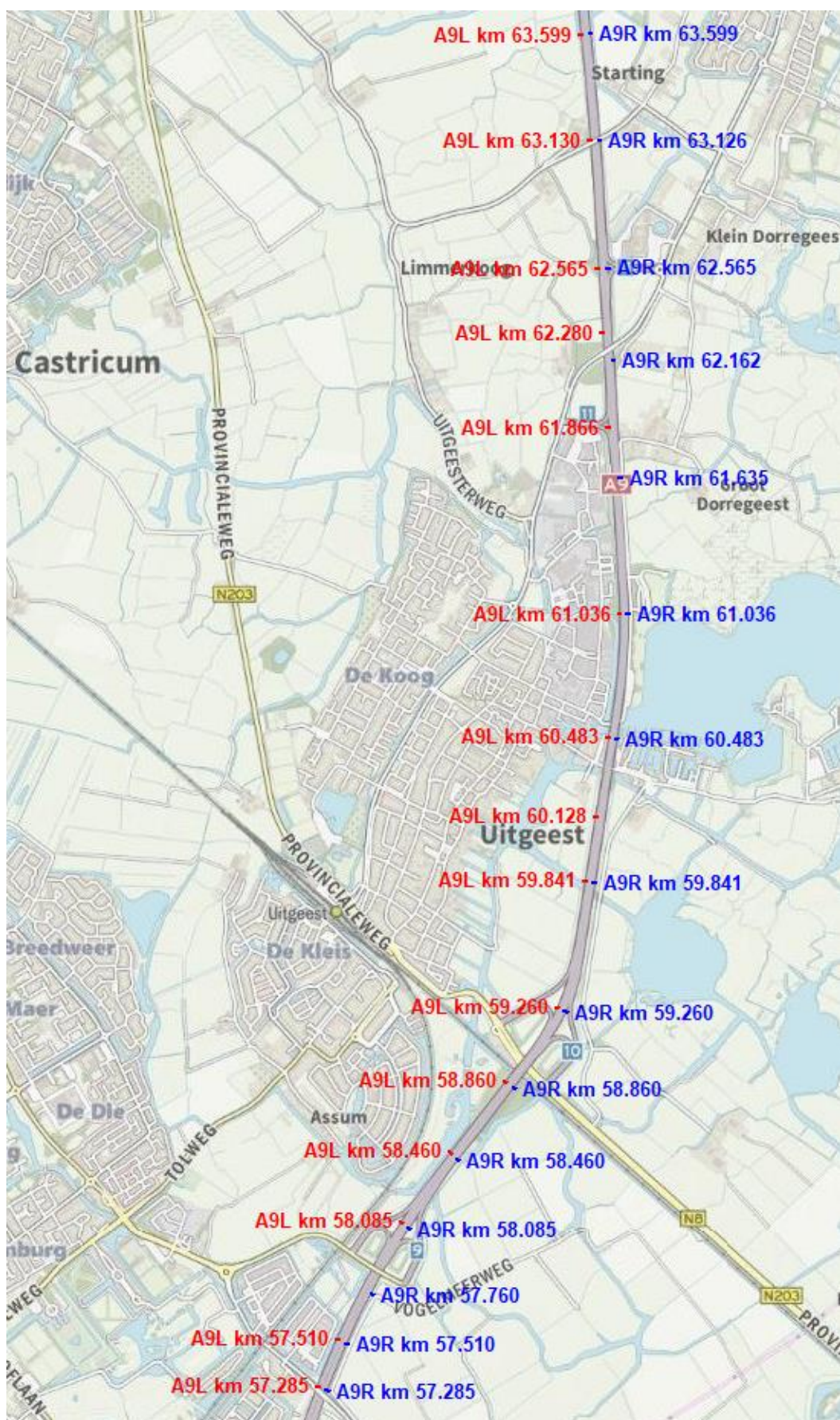
In de onderstaande 4 figuren zijn de portaalallocaties ingetekend in de kaart. Figuur 23 toont een overzichtskaart. De overige figuren tonen deelgebieden A, B en C.



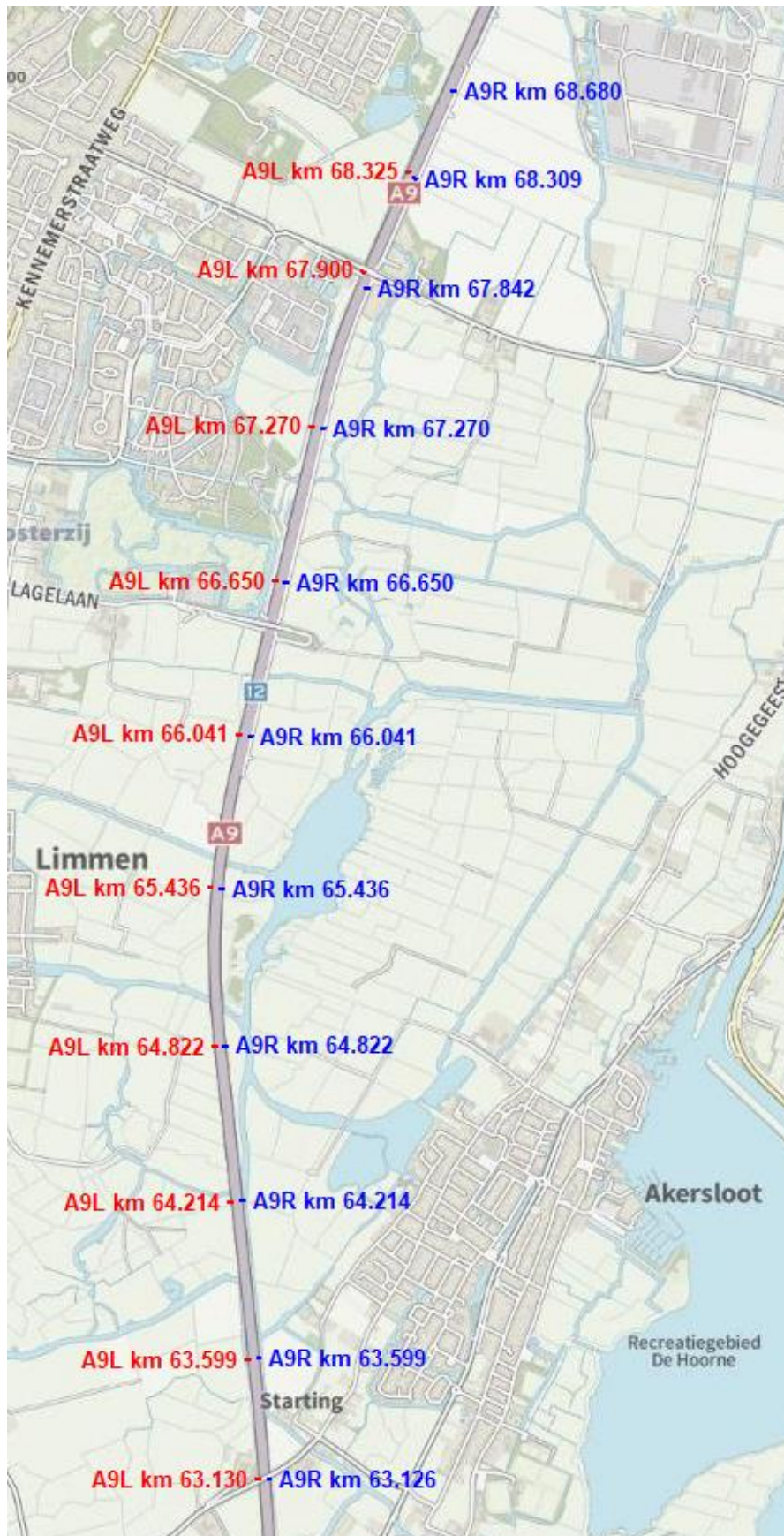
Figuur 23: Overzichtskaart hele traject (Analysecode #IW200)



Figuur 24: Kaartblad A, HM 52.0 tm HM 57.285 (Analysecode #IW210)



Figuur 25: Kaartblad B, HM57.285 tm HM63.599 (Analysecode #IW220)



Figuur 26: Kaartblad C, HM63130 tm 68.680 (Analysecode #IW230)

11 Bijlage: Bepaling uit te sluiten periodes

In de nacht van 27 (21:00) op 28 (4:30) november is de A9R tot de toerit bij Heemskerk afgesloten geweest. Dit is duidelijk te zien in de beschikbare GPS data, zie Figuur 27. Vanwege deze reden is deze periode uit de analyse geschrapt. De nacht daarop is de tunnel in de andere richting afgesloten geweest.

Op dezelfde wijze zijn alle dagen tussen 27 augustus en 14 december bekeken voor zowel de A9 Rechts als de A9 Links.

Op basis van Email communicatie en door het bekijken van de inhoud van de logfiles zijn een 4-tal periodes, in lengte variërend van een aantal dagen tot 6 weken, uitgesloten. Voor deze periodes zijn geen GPS data beschikbaar zodat geen referentie kan worden bepaald.

Naar aanleiding van deze inspectie zijn de volgende periodes uitgesloten van analyse:

Van:	Tot:	Reden:
06-Sep-2019 15:00	09-Sep-2019 10:00	Geen GPS data beschikbaar door technische fout
10-Sep-2019 12:00	04-Nov-2019 15:00	Geen GPS data beschikbaar. Datafeed uitgezet.
20-Nov-2019 16:00	25-Nov-2019 15:00	Geen GPS data beschikbaar door technische fout
27-Nov-2019 21:00	28-Nov-2019 04:30	Tunnelafsluiting, alleen A9 Rechts
28-Nov-2019 21:00	29-Nov-2019 04:30	Tunnelafsluiting, alleen A9 Links
05-Dec-2019 00:00	04-Dec-2019 12:05	Geen GPS data beschikbaar door technische fout



Figuur 27: *Typisch voorbeeld van een situatie met een afsluiting.*

12 Bijlage: bepaling AID intervallen uit AID logging

Uit de AID logging kan herleid worden wanneer het MTM systeem een AID heeft gegenereerd.

Een typische AID logregel ziet er als volgt uit:

```
2019-08-27 00:04:40 AID AAN A10R 20,295 50:BL
```

Deze regel bevat de volgende informatie:

- tijdstempel (gebeurtenissen worden op basis van lokale tijd geregistreerd)
- recordtype (AID AAN of AID UIT)
- weg+ richting
- km
- waarde

De tijdstempel toont het moment dat de AID werd gegenereerd in het onderstation. Enkele secondes na dit moment volgt dan meestal een tweede logregel met de beeldstand die door de TOP (Transaction Oriënted Processor) is opgelegd. Bijvoorbeeld:

```
2019-08-27 00:04:49 BEELD OS A10R 20,295 *50* *50* *50* 70 70
```

In combinatie met AID AAN komende volgende waardes voor:

```
50
50:50
50:70
50:BL
70
70:50
70:70
70:BL
BL:50
BL:70
L BL:50
```

In combinatie met AID uit komen de volgende waardes voor:

```
BL
BL:BL
L BL:BL
```

De AID AAN en AID UIT regels worden gebruikt om referentie intervallen samen te stellen waarmee alternatieve incident detectie algoritmes kunnen worden vergeleken. Ze worden ook gecontroleerd op onderlinge consistentie.

Om dit mogelijk te maken worden alle AID berichten ingedeeld in drie groepen:

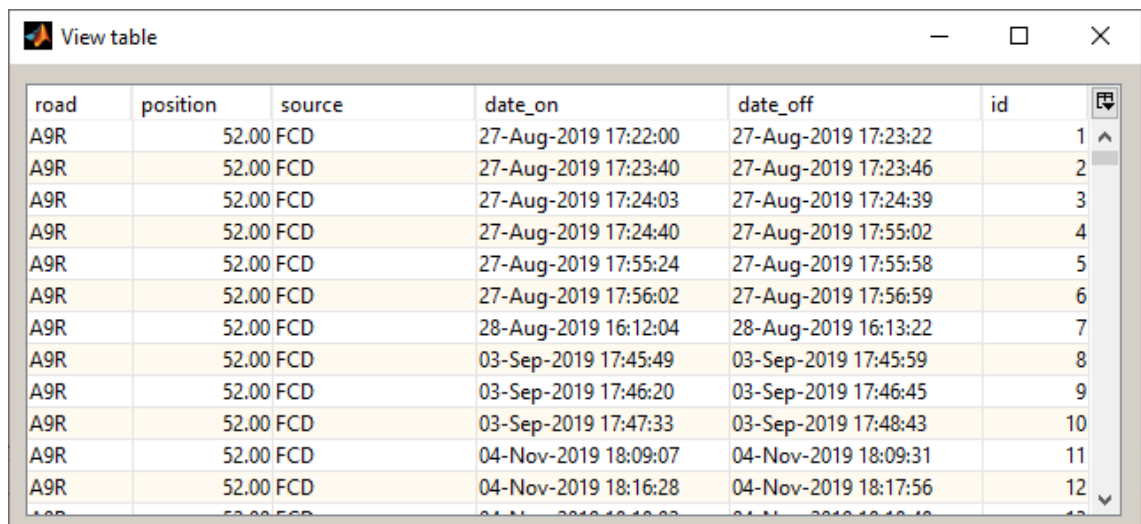
- AID AAN 50. Alle AID AAN regels in combinatie met een waarde die tenminste eenmaal "50" bevat.
- AID AAN 70. Alle overige AID AAN regels
- AID UIT. Alle AID UIT regels.

Vervolgens worden alle AID berichten in chronologische volgorde langsgelopen. Op basis van de onderstaande matrix wordt regel voor regel bepaald of een nieuw AID interval moet worden gestart, een lopend interval moet worden afgesloten, of een melding moet worden ingevoegd vanwege inconsistente data.

Vorige logregel	Huidige logregel		
	AID AAN 50	AID AAN 70	AID UIT
geen	Begin nieuw AID interval	geen actie	meld inconsistentie
AID AAN 50	geen actie (*)	Markeer einde AID interval	Markeer einde AID interval
AID AAN 70	Begin nieuw AID interval	geen actie	geen actie
AID UIT	Begin nieuw AID interval	geen actie	meld inconsistentie

(*) het komt voor dat een eerste AID bericht 50:BL en een tweede 50:50. Alhoewel er nu twee AID Aan berichten achter elkaar voorkomen is dit geen inconsistentie

Nadat alle records doorlopen zijn, zijn alle AID (50) intervallen bekend. De resulterende data hebben de onderstaande structuur:



road	position	source	date_on	date_off	id
A9R	52.00	FCD	27-Aug-2019 17:22:00	27-Aug-2019 17:23:22	1
A9R	52.00	FCD	27-Aug-2019 17:23:40	27-Aug-2019 17:23:46	2
A9R	52.00	FCD	27-Aug-2019 17:24:03	27-Aug-2019 17:24:39	3
A9R	52.00	FCD	27-Aug-2019 17:24:40	27-Aug-2019 17:55:02	4
A9R	52.00	FCD	27-Aug-2019 17:55:24	27-Aug-2019 17:55:58	5
A9R	52.00	FCD	27-Aug-2019 17:56:02	27-Aug-2019 17:56:59	6
A9R	52.00	FCD	28-Aug-2019 16:12:04	28-Aug-2019 16:13:22	7
A9R	52.00	FCD	03-Sep-2019 17:45:49	03-Sep-2019 17:45:59	8
A9R	52.00	FCD	03-Sep-2019 17:46:20	03-Sep-2019 17:46:45	9
A9R	52.00	FCD	03-Sep-2019 17:47:33	03-Sep-2019 17:48:43	10
A9R	52.00	FCD	04-Nov-2019 18:09:07	04-Nov-2019 18:09:31	11
A9R	52.00	FCD	04-Nov-2019 18:16:28	04-Nov-2019 18:17:56	12