



Blik op het Wegennet

Mogelijkheden van videomonitoring in Nederland



Blik op het Wegennet

Mogelijkheden van videomonitoring in Nederland

Afstudeerrapport N.S. van den Bosch

juli 2007

Technische Universiteit Delft

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Transport & Planning
Stevinweg 1
2628 CN Delft



Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Testcentrum verkeerssystemen
Kluyverweg 4
2629 HT Delft



Afstudeercommissie:

Prof. Dr. Ir. S.P. Hoogendoorn
Ir. T. Muller
F. Karimi Nejadasl
Ir. P.B.L. Wiggenraad
Ing. J.N. van Bergen
Dr. W.J.J. Knibbe

TU Delft
TU Delft
TU Delft
TU Delft
AVV
AVV

Copyright © Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd op welke wijze dan ook zonder uitdrukkelijke toestemming.

Voorwoord

Het menselijk lichaam is een geniale detector. Met onze zintuigen worden continu metingen gedaan. Via zenuwen gaan de gegevens richting het ruggenmerg. Een gedeelte van de signalen wordt hier verwerkt en zorgt zonder tussenkomst van de hersenen voor de aansturing van spieren. De overige informatie wordt in de hersenen verwerkt. Voor de aansturing van ons lichaam worden per seconde ontelbaar veel gegevens verwerkt, waarbij het zich continu aanpast aan de situatie. De mooiste bron van informatie blijft natuurlijk het oog. Met alle andere zintuigen is een goede indicatie te geven van de omstandigheden, maar we geloven het pas als we het met eigen ogen hebben gezien.

Een inleiding met een hoog biologie gehalte voor een verkeerskundig onderzoek. Afgelopen maanden bleken echter de overeenkomsten groot te zijn. Op het Nederlandse hoofdwegennet wordt continu gemeten. Via wegkantsystemen worden de gegevens meteen verwerkt of de aansturing vindt plaats vanuit een centrale ruimte, de verkeerscentrale. Echter wat gebeurt nu werkelijk op de weg. Voldoende indicatoren zijn aanwezig om betrouwbare uitspraken te doen over de verkeerssituatie. Maar het inzichtelijk maken van de werkelijke situatie is alleen mogelijk met beelden. Het monitoringsysteem mist zijn waarnemingsorgaan.

De afgelopen maanden heb ik mij het hoofd gebroken over de vraag hoe een nieuw verkeerskundig zintuig in het huidige systeem past. Net zoals het oog blijkt video een complex en gevoelige detector te zijn. Belangrijk is de positie, de overdracht van de gegevens, de verwerking en het aansturen van de systemen. Na ruim een half jaar afstuderen is het tijd om een punt te zetten achter dit interessante onderwerp en te beginnen aan een nieuwe levensfase, namelijk dat van een burger.

Tenslotte wil ik een aantal mensen via deze weg bedanken voor hun medewerking, op welke manier dan ook, aan dit afstudeerrapport. Allereerst Serge Hoogendoorn, die mij heeft kunnen strikken om één van de pioniers te zijn van het Edulab. Gezien zijn enthousiasme voor het ITS Edulab verwacht ik de komende jaren nog vaker ex-studenten tegen te komen die in het ITS Edulab hun studie hebben afgesloten. Binnen de Adviesdienst Verkeer en Vervoer hebben Joop van Bergen en Willem Jan Knibbe mij wegwijs gemaakt. Voor de videobewerking kon ik altijd aankloppen bij Fatameh Karimi en op mijn beurt heb ik haar wat verkeerskunde overgedragen. Verder nog Jan Baan van TNO, die de videodata beschikbaar heeft gesteld en Wouter Favoreel van Traficon, die mij in België heeft bijgepraat over videomonitoring en alles wat daarbij komt kijken.

Delft juli 2007,

Niels van den Bosch

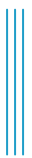


Afkortingen en begrippen

AID	Automatische Incident Detectie
BHL	Berkley Highway Laboratory
BOSS	BeslissingsOnderSteunend Systeem
BVOM	Bureau Verkeershandhaving Openbaar Ministerie
CDMS	Centraal DRIPs Management Systeem
CTMS	Centraal Toeritdoseer Management Systeem
DOV	Dynamische Openbare Verlichting
DRIP	Dynamisch Route Informatie Paneel
DRM	Dynamische Rijstrook Markering
DS	Detectorstation
DSI	Dynamische Snelheidsinformatie
DSS	Decision Support System
DVM	Dynamisch VerkeersManagement
fps	Frame per second
GRIP	Grafisch Route Informatie Paneel
HRB	Hoofdrijbaan
HWN	HoofdWegenNet
LFB	Lokale File Beveiliging
MoniBas	Monitoring Basisapplicaties
Monica	Monitoring Casco
MSI	Matrix Signaalgever Installatie
MSS	Management Services Spitsstroken
MTM-2	Motorway Traffic Management, versie 2
MWKS	Monitorings WegKantSysteem
NGSIM	Next Generation Simulation
OS	Onderstation
PAL	Phase-alternating Line
PCA	Principal Component Analyse
PPCM	Pixels per centimeter
RGB	Hexadecimale kleurcodering (rood-groen-blauw)
RWS	Rijkswaterstaat
Simone	Signalering Monitoring Neofiguratie
SNR	Signaal ruisverhouding
SOS	Snelheid onderschrijding systeem
TDI	Toerit Doseer Installatie
TIC	Traffic Information Centre
VAD	Vluchthaven Aanwezigheids Detectie
VIP	Video Image Processing
VRI	Verkeersregel installatie
Actualiteit	Tijdsverschil tussen de meting en het beschikbaar hebben van de gegevens
Congestie	Vertraging op het wegennet, die een automobilist ondervindt als gevolg van een groot verkeersaanbod of een verlaging van de capaciteit
Detector	Apparatuur voor het waarnemen van voertuigpassages
Detectie	Omzetten van voertuigpassages naar ruwe data, bijvoorbeeld verlaging van inductie of groepen van pixels
Dichtheid	Aantal voertuigen dat zich op een weggedeelte bevindt
Fundamenteel diagram	Geeft de relaties tussen de intensiteit, dichtheid en snelheid
Helderheid	Waarde om de intensiteit van een kleur aan te geven
Incident	Een onverwachte gebeurtenis veroorzaakt door weggebruikers die de capaciteit beïnvloedt
Intensiteit	Aantal voertuigen dat per tijdseenheid een zekere wegdoorsnede passeert
Intrusief	Verwerkt in de wegconstructie
Lokale snelheid	Gemiddelde snelheid gemeten op een wegdoorsnede in een tijdsinterval
Monitoring	Het gehele proces van het verzamelen van ruwe data met een detector tot het verwerken naar verkeersgegevens
Nauwkeurigheid	In hoeverre de gemeten waarde overeenstemt met de werkelijke waarde
Observatie	Vanuit een hoog standpunt een groot traject overzien
Oclusie	Het verdwijnen van bewegende objecten achter andere objecten
Pixel	Element waaruit een videobeeld is opgebouwd
Reistijd	Tijdsduur voor het afleggen van een traject door één of een aantal voertuigen



Segmentatie	Bewegende objecten uit videobeelden halen
Telling	Het vaststellen van de belangrijkste verkeersparameters
Traject	Een route door het netwerk
Traject snelheid	Snelheid gemeten op een vast tijdstip op een traject
Trajectorie	Functie met de tijd en positie van voertuigen
Voertuigverliesuren	De totale vertraging die een groep voertuigen ondervindt
Volgafstand	De afstand tussen twee rijdende voertuigen
Volgtijd	Afstand tussen voertuigen uitgedrukt in de tijd
Wegvak	Gedeelte van een rijbaan, bijvoorbeeld tussen twee toeritten



Lijst van figuren

Figuur 1	Inductielus aangebracht in de toplaag van de rijbaan	16
Figuur 2	Schema opzet rapport.....	19
Figuur 3	Van detectie naar verkeerstoepassing en andersom.....	20
Figuur 4 a.	Lus layout b. Onverstoorde toestand c. Verstoorde toestand	21
Figuur 5	Trajectoriën voertuigen	22
Figuur 6	Snelweg met twee rijstroken.....	23
Figuur 7	Vereenvoudigde schematisatie van het Nederlandse monitoringsysteem.....	26
Figuur 8	Verkeerscentrale	27
Figuur 9	Toeritdosering	29
Figuur 10	AID op de A13 in 1982	34
Figuur 11	Filestaartbeveiliging	36
Figuur 12	Voorbeeld AID met afvlakking op basis van snelheid en rijtijd	37
Figuur 13	Werking classificatie met dubbele boven- en ondergrenzen	38
Figuur 14	Plaatsing beelden op portalen	38
Figuur 15	Autoscope Terra producten (Boven Rackvision beneden Solo)	41
Figuur 16	Traficon producten (Links VIP, rechts TrafiCam)	43
Figuur 17	Producten Iteris Vantage (links) & Peek VideoTrak (rechts)	44
Figuur 18	Necker kubus	45
Figuur 19	Beeld met occlusie	46
Figuur 20	Threshold bepaling aan de hand van een dominante piek in het helderheidshistogram	47
Figuur 21	Edge detection van een aantal munten (http://www.mathworks.com)	48
Figuur 22	Rijbaanelementen herkennen door een Road Marking Analysis Model (links) en een activiteitenkaart (rechts)	49
Figuur 23	Voorbeeld Optical Flowveld	50
Figuur 24	Space time continuity	51
Figuur 25	Background modellering, links achtergrond beeld en rechts het totaalbeeld.....	51
Figuur 26	Model van een auto inclusief schaduw geschikt voor model-based tracking	52
Figuur 27	Configuratiefouten	55
Figuur 28	Identificatiefouten	56
Figuur 29	Incidentdetectie (Traficon AID)	58
Figuur 30	Gemiddelde snelheid afzonderlijke voertuigen in de data van TNO.....	60
Figuur 31	Opnamevoorbeeld vaste camera op de A1	61
Figuur 32	Beeld vanaf een helikopter (NB niet de situatie uit de dataset).....	61
Figuur 33	Trajectoriën in dataset Everdingen	62
Figuur 34	NGSIM Camera	63
Figuur 35	Gedeelte van de Trajectoriën NGSIM data.....	63
Figuur 36	Trajectorie met bijbehorende polynoom van één voertuig	65
Figuur 37	Gemiddelde lokale snelheid op twee verschillende lusposities in de NGSIM data	66
Figuur 38	Schema algoritme lokale snelheid	67
Figuur 39	Gedeelte uit TNO data met (Afgevlakte) lokale snelheid	68
Figuur 40	Gedeelte uit TNO data met lokale- en trajectnsnelheid.....	69
Figuur 41	Schema algoritme traject snelheid	70
Figuur 42	Gedeelte uit TNO data met versnellingen	71
Figuur 43	Fundamenteel v-k diagram TNO data	72
Figuur 44	Trajectorieën testdata.....	74
Figuur 45	AID instelling vier algoritmen 2500-5000 sec TNO data.....	76
Figuur 46	AID instelling vier algoritmen 10.000-15.000 sec TNO data	77
Figuur 47	Voorbeeld plots versnellingen en snelheid.....	80
Figuur 48	AID instelling op basis van dichtheid	81
Figuur 49	Intensiteit en tijdgebruik	95
Figuur 50	Dichtheid en ruimtegebruik	95
Figuur 51	Fundamenteel diagram	96
Figuur 52	Een schokgolf in het t-x diagram en op het fundamenteel k-q diagram	97
Figuur 53	Waaier bij een verandering in dichtheid in t-x diagram en op het fundamenteel k-q diagram	98
Figuur 54	Background-symmetry algorithm	99



Figuur 55 Triangle Algorithm	99
Figuur 56 Trajectcontrole A4	110
Figuur 57 Doelgroepenstrook op vluchtstrook	114
Figuur 58 Plots TNO data	126
Figuur 59 Plots NGSIM data lus 300m	127
Figuur 60 Plots NGSIM data lus 400m	128
Figuur 61 Plots NGSIM data lus 500m	129
Figuur 62 Plots Everdingen data lus 300m	130
Figuur 63 Plots Everdingen data lus 400m	131
Figuur 64 Plots Everdingen data lus 500m	132
Figuur 65 PCA Traject snelheid - Dichtheid - Versnelling	133
Figuur 66 PCA Traject snelheid - Dichtheid	133
Figuur 67 PCA Traject Snelheid - Versnelling	133



Lijst van tabellen

Tabel 1 Universele lijst met meetgegevens	24
Tabel 2 Eisen videomonitoring voor netwerktoepassingen	28
Tabel 3 Eisen videomonitoring voor wegvaktoepassingen	30
Tabel 4 Eisen videomonitoring voor wegbeheertoepassingen	31
Tabel 5 Eisen videomonitoring voor beleid en statistiek	32
Tabel 6 Eisen videomonitoring voor onderzoek	33
Tabel 7 Klassen AID	37
Tabel 8 Voorbeeld actietabel voor een driestrooksrijbaan	38
Tabel 9 Producenten en producten	42
Tabel 10 Gebruikte meetinterval voor reconstructie lusdata	66
Tabel 11 Streefwaarden voor de AID	75
Tabel 12 Overzicht resultaten TNO data	76
Tabel 13 Overzicht resultaten NGSIM data	78
Tabel 14 Overzicht resultaten Everdingen data	79
Tabel 15 Scoretabel AID algoritmen	83
Tabel 16 Overzicht thresholding	100
Tabel 17 Overzicht edge detection	100
Tabel 18 Overzicht detectie en segmentatie algoritmen	102
Tabel 19 Overzicht algoritmen classificeren en volgen van objecten	102
Tabel 20 Overzicht algoritmen adaptief systeem	104
Tabel 21 Resultaten AID instellingen gedeelte TNO data	122
Tabel 22 Overzicht NGSIM resultaten snelheid Traject 50m	124
Tabel 23 Overzicht NGSIM resultaten snelheid Traject 100m	124
Tabel 24 Overzicht Everdingen resultaten snelheid Traject 50m	125
Tabel 25 Overzicht Everdingen resultaten snelheid Traject 100m	125



Samenvatting

Het verzamelen van verkeersgegevens is een belangrijk onderdeel binnen het takenpakket van Rijkswaterstaat (RWS). Monitoring wordt gebruikt voor dynamische en statistische verkeersmanagementtoepassingen. Door de sterke opkomst van diverse toepassingen is de aandacht voor monitoring sterk toegenomen. Die toegenomen interesse, in combinatie met het beleid om meer producten rechtstreeks van de plank te kopen, leidt tot nieuwe producten op de monitoringmarkt. De wereldwijde monitoringmarkt, waar RWS als inkoper optreedt, is in een snel tempo aan het veranderen. Een veelbelovende nieuwe techniek voor monitoren is videomonitoring. Binnen RWS is weinig bekend over de mogelijkheden van videomonitoring. In het onderzoek is getracht een zo compleet mogelijk overzicht te krijgen van de stand van zaken, problemen, mogelijkheden en toekomstverwachtingen van videomonitoring.

In eerste instantie is geredeneerd vanuit de toepassingen, met videomonitoring in het achterhoofd. Voor de diverse toepassingen zijn functionele eisen te specificeren. Videomonitoring is te splitsen in twee onderdelen. Afhankelijk van het doel van de toepassing moet een keuze gemaakt worden tussen deze twee methoden. Aan de ene kant is het mogelijk om tellingen te doen. Deze tellingen bestaan uit de puntmetingen, die ook met lussen gemaakt worden of het maken van voertuigtrajectoriën. In het rapport is dieper ingegaan op één toepassing: de filestaartbeveiliging. Met behulp van andere meetgegevens wordt het mogelijk om de filestaartbeveiliging op een andere manier aan te sturen. Het meten van voertuigtrajectoriën geeft theoretisch de beschikking over alle verkeersstroomparameters. De mogelijkheden voor verbeteringen aan de filestaartbeveiliging zijn beschouwd aan de hand van de volgende nieuwe meetgegevens: traject snelheid, dichtheid, versnelling en een combinatie van de dichtheid en snelheid. Ten tweede is het met videobeelden vanaf een hoog standpunt mogelijk om observaties te doen van de verkeersafwikkeling. Observaties geven vooral informatie over afwijkend verkeersgedrag, zoals congestie, incidenten, spookrijders, stilstaande voertuigen etc. Veel wegvaktoepassingen hebben eigenlijk alleen maar observatiegegevens nodig. Nauwkeurig en betrouwbaar de snelheden meten is helemaal niet van belang bij het waarschuwen voor een file. Alleen wel of geen file, en de positie van de file is van belang. Deze ander kijk op de functionele eisen is op dit moment binnen AVV nog niet toegepast. Hierdoor wordt de ontwikkeling van nieuwe monitoringmethoden is de wielen gereden. Functionele eisen opstellen aan de hand van de doelstellingen van een toepassing of van een wegvak, in plaats van het toewerken naar één monitoringmethode (meestal lusedetectie) is beter voor de innovatie.

De tweede methode is redeneren vanuit de mogelijkheden van de monitoringapparatuur. De ontwikkeling van videomonitoring is al een aantal decennia gaande en zal de komende jaren verder ontwikkelen. Tot op heden zijn een vijftal producenten actief op de markt. Aan de ene kant levert men systemen voor tellingen op basis van virtuele lussen en aan de andere kant hebben de producenten AID-systemen, die voor congestie en incidenten waarschuwen. Een compleet videomonitoringsysteem bestaat uit diverse componenten, van camera tot het leveren van outputgegevens. Elke afzonderlijke component moet van een goede kwaliteit zijn en deze afzonderlijke componenten moeten een nauwkeurig en betrouwbaar systeem opleveren. Het verwerken van de beelden gebeurt met diverse bewerkingsalgoritmen. Allereerst worden de bewegende onderdelen in het videobeeld gedetecteerd. Een bekende detectiemethode is het kijken naar de verschillen tussen het nieuwste beeld en een achtergrondbeeld. Wanneer de objecten zijn gedetecteerd worden de groepen met pixels geclassificeerd. Op het moment dat de eigenschappen van een voertuig bekend zijn, wordt in de opvolgende beelden opnieuw naar het voertuig gezocht om het te kunnen volgen. Het herkennen van voertuigen gebeurt op basis van vorm, kleur en textuur van de voertuigen. In de detectie- en segmentatiealgoritmen wordt veel gewerkt met een aantal basistechnieken,

zoals het herkennen van lijnen en drempelwaarden. In de toekomst is nog veel te verwachten van beeldverwerkingstechnieken. Camera's worden steeds beter en goedkoper, maar ook de rekenkracht van computers zal verder toenemen. Dat betekent dat het gebruik van meerdere camera's steeds gemakkelijker wordt. Door het combineren van de data uit meerdere camera's wordt het mogelijk om 3D-reconstructies te maken. Datafusie is belangrijk voor het efficiënt gebruiken van algoritmen, omdat posities van voertuigen vooraf voorspeld worden en daardoor de algoritmen efficiënt in te zetten zijn op interessante gedeeltes van het beeld. Het voorspellen gebeurt met een Kalman of particle filter. Naast het voorspellen moet het systeem in staat zijn om zich aan te passen aan wisselende omstandigheden. Hiervoor moeten de algoritmen zichzelf steeds updaten en trainen. Patroonherkenning en neurale netwerken zijn hier met name voor geschikt. Op dit moment halen videomonitoringsystemen een betrouwbaarheid van 97-99% voor het aangeven van wel of geen voertuig. De nauwkeurigheid van de tellingen ligt rond de 5%. Voordeel bij observaties is, dat een operator de laatste fouten handmatig kan aanpassen, waardoor de betrouwbaarheid nog verder toeneemt.

De werkelijke meerwaarde van het monitoren met videobeelden is bekeken aan de hand van de filestaartbeveiliging. In de alternatieven is alleen gekeken naar nieuwe meetgegevens uit trajectoriën. Uit de beoordeling van de alternatieven blijkt de versnelling van voertuigen geen voordelen op te leveren voor de verbetering van de filestaartbeveiliging. De trajectnsnelheid laat de filestaartbeveiliging eerder reageren en geeft betere resultaten tijdens schokgolven, maar geeft veel extra valse meldingen. De dichtheid geeft in eerste instantie mooie resultaten. Dat wil zeggen dat dit alternatief alleen een melding geeft, wanneer er werkelijk wat aan de hand is. Maar omdat dichtheid en congestie niet onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn reageert het algoritme op basis van dichtheid niet altijd op tijd en is het moment van uitgaan niet altijd duidelijk. Een combinatie van dichtheid en de trajectnsnelheid op basis van de Principal Component Analyse levert de beste resultaten. Dit alternatief reageert in alle gevallen eerder dan een algoritme op basis van lusgegevens en bij schokgolven blijft het systeem constant en gaat niet "knippen".



Summary

Collecting traffic data is an important branch within the work package of Rijkswaterstaat (RWS). Monitoring is used for dynamic and statistic traffic management applications. The rise of traffic management applications strongly increased the attention to monitoring. That increased interest, in combination with the policy to buy more products directly of the shelf, leads to new products on the monitoring market. The worldwide monitoring market, where RWS act as buyer, is changing in a fast tempo. A promising new technique for monitoring is video monitoring. Within RWS less is known concerning the possibilities of video monitoring. In the research it has been tried to get a complete as possible overview of the state of the art, problems, possibilities and future expectations of video monitoring.

The first method is reasoning from the applications, with video monitoring in the downstream cutwater. For the several applications it is possible to specify functional requirements. Videomonitoring is split up in two components. Depending on the aim of the application a choice must be made between these two methods. On the one hand it is possible to do countings. These countings exist from local countings, which are also made with loops, or making vehicle trajectories. One application is discussed in detail: the queue tail warning. By using other measurements it becomes possible to operate the queue tail warning in a different way. Measuring vehicle trajectories gives theoretically the possibility to arrange all traffic flow parameters. The possibilities for improvements to the queue tail warning have been considered by means of the following new measurements: traject speed, density, acceleration and a combination of density and speed. Secondly it is possible with video pictures from a high point of view to do observations of the traffic movements. Observations give especially information on divergent movement behavior, such as congestion, incidents, wrong-way drivers, stationary vehicles etc. Actual many road segment applications needs only observation data. Precise and reliable speeds measurements are not important at all for a traffic jam warning. Only traffic jam or no traffic-jam, and the position of the traffic jam are important. At this moment the other way of looking to the functional requirements has not been applied within AVV. Because of this, the development of new monitoring methods is hampered. Establishing functional requirments by means of the application or road segment objectives, instead of working toward one monitoring method (generally loop detection) are better for further innovation.

The second method is reasoning from the possibilities of monitoring equipment. The development of video monitoring is already a number of decades going on and the coming years it will further develop. Until now a number of five producers is active on the market. On the one hand there are systems for counting on the basis of virtual loops and on the other hand there are AID-systems, who warn for congestion and incidents. A complete video monitoring system exists from several components, from camera to providing output data. Each separate component must be of a good quality and these separate components must produce a precise and reliable system. The processing of the pictures occurs with several algorithms. First of all becomes the detection of moving components in the video picture. A well-known detection method is looking at the differences between the newest picture and a background picture. When the objects are detected the pixel groups are classified. The moment the properties of a vehicle are known, the vehicle will be searched in the succeeding pictures to follow the vehicle. Recognizing vehicles occurs on the basis of form, colour and texture of the vehicles. In the detection and segmentation algorithms there are a number of basis techniques, such as edge detection and threshold values. In the future picture processing techniques will improve further. Cameras are still improving and becoming cheaper, but also the computing speed of computers will increase further. That means that the use of two or more cameras becomes easier. By combining the data from several cameras it becomes possible to reconstruct

3D objects. Data fusion is important for efficient use of algorithms, because positions of vehicles are predicted in advance and as a result algorithms are bringing only into action on interesting parts of the picture. Predicting happens with a Kalman or a particle filter. Besides predicting, the system must be able to adapt to changing circumstances. For this, algorithms must always update and train themselves. In particular pattern recognition and neural networks are suitable for this. At this moment video monitoring systems obtain a reliability of 97-99% for indicating the presence of a vehicle. The accuracy of the countings lies around the 5%. The advantage of observations is that an operator can adapt the last errors by hand, as a result the reliability is increasing.

The real surplus value of video monitoring has been examined by means of queue tail warning. In the alternatives only has been looked to new measurements from trajectories. From the assessment of the alternatives it's clear that the acceleration of vehicles becomes unprofitable for the improvement of queue tail warning. The queue tail warning reacts earlier on the algorithm based on the traject speed and gives better results during shockwaves, but on the other hand there are much more false alarms. Density gives at first sight beautiful results. This means that it only gives an alarm, when there is really something going on. But while density and congestion are not linked inextricable, the algorithm, based on the density, is not always reacting in time and the switch off moment is not always clear. A combination of density and traject speed processed with the Principal Component Analysis provides the best results. This alternative reacts in all cases earlier than the algorithm based on loop measurements and at shockwaves the system remains constantly and does not "flash".



Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Afkortingen en begrippen	4
Lijst van figuren.....	6
Lijst van tabellen	8
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	16
1.1 Probleemomschrijving	17
1.2 Doelstelling	17
1.3 Aanpak	18
1.4 Leeswijzer	18
2 Doel monitoring in Nederland	20
2.1 Detectortechnieken.....	21
2.1.1 Onderverdeling op basis van de installatie	21
2.1.2 Onderverdeling op basis van de ruwe data	22
2.2 Gegevens uit videomonitoring.....	24
2.3 Verkeersmanagementtoepassingen	25
2.3.1 Beschrijving van het huidige verkeersmanagementsysteem	25
2.3.2 Dynamische Verkeersmanagementtoepassingen	26
2.3.3 Statistische Verkeersmanagementtoepassingen	31
3 Filestaartbeveiliging hoofdwegennet	34
3.1 Historie AID	34
3.2 Doel AID	35
3.3 AID-algoritme	36
3.4 Verbeterpunten AID	39
3.5 Onderzoeksopzet filestaartbeveiliging	39

4	Videomonitoring	40
4.1	Stand van zaken	40
4.1.1	Basiscomponenten van VIP-systemen	40
4.1.2	VIP-productenoverzicht	41
4.1.3	Ervaringen gebruik van videobeelden voor monitoring	42
4.2	Opbouw videobeelden	44
4.2.1	Pixels	44
4.2.2	Resolutie	45
4.3	Raamwerk beeldverwerking	45
4.3.1	Dimensies in beeldverwerking	45
4.3.2	Installatie camera	46
4.3.3	Wisselende omstandigheden	47
4.3.4	Basistechnieken beeldverwerking	47
4.3.5	Herkennen van rijbaanelementen	49
4.3.6	Detectie en segmentatie van objecten	50
4.3.7	Classificeren en volgen van objecten	52
4.4	Verbeteren beeldverwerkingalgoritmen	53
4.4.1	Feedback	53
4.4.2	Stereovision	54
4.4.3	Datafusie	54
4.5	Aanvullende beeldverwerkingtoepassingen	54
4.6	Fouten en onnauwkeurigheid	55
4.6.1	Meetfouten	55
4.6.2	Kwaliteit systeem	56
4.7	Toekomstverwachtingen videomonitoring	56
4.7.1	Toekomstbeeld beeldverwerking	56
4.7.2	Toekomstbeeld verkeersmanagementtoepassingen	57
5	Datasets van trajectoriën	59
5.1	Verzamelen van trajectoriegegevens	59
5.1.1	TNO data	59
5.1.2	Helikopterdata Everdingen	61
5.1.3	NGSIM data	63
5.1.4	Betrouwbaarheid gegevens	64
5.2	Dataverwerking	64
5.2.1	Datacleaning	64
5.2.2	Opstellen van polynomen	65
5.2.3	Splitsen trajectoriën	65
5.2.4	Lusgegevens	65



5.2.5	Gebruik gewijzigde datasets	66
6	Alternatieve algoritmen voor filestaartbeveiliging	67
6.1	Alternatieven	67
6.1.1	Lokale snelheid	67
6.1.2	Trajetsnelheid.....	69
6.1.3	Versnelling	71
6.1.4	Dichtheid	72
6.1.5	Principal component analyse.....	73
6.2	Verificatie algoritmen	73
7	Beoordeling van de alternatieven	75
7.1	Streefwaarden algoritmen.....	75
7.2	Resultaten algoritmen	75
7.3	Resultaten trajetsnelheid	79
7.4	Resultaten versnelling	80
7.5	Resultaten dichtheid	81
7.6	Resultaten PCA	82
7.7	Score algoritmen filestaartbeveiliging	83
8	Conclusies en aanbevelingen	84
8.1	Conclusies	84
8.1.1	Conclusies videomonitoringsystemen	84
8.1.2	Conclusies nieuwe AID-algoritme.....	84
8.1.3	Conclusies AVV en videomonitoring.....	85
8.2	Aanbevelingen	86
8.2.1	Aanbevelingen voor de wegbeheerder	86
8.2.2	Aanbevelingen filestaartbeveiliging	87
	Bibliografie	89
	Bijlagen.....	94
I.	Verkeersstroomtheorie.....	94
II.	Verwerkingsalgoritmen videobeelden	99
III.	Overzicht verkeersmanagementtoepassingen Nederland	105
IV.	Verslagen interviews	116
V.	Tabellen resultaten algoritmen.....	122
VI.	Grafieken resultaten algoritmen.....	126

1 Inleiding

De afgelopen jaren is de automobiliteit in Nederland fors toegenomen. Het gevolg is, dat op veel plaatsen de doorstroming stagneert. Daarom heeft de overheid de afgelopen decennia de wegen verbeterd en verbreed. Om diverse redenen is de verbetering en verbreding van het wegennet op beperkte schaal gebeurd en staat het niet in verhouding met de groeiende automobiliteit. Vandaag de dag is het ontstaan van congestie daardoor onvermijdelijk geworden. Het belangrijkste doel in de verkeerskunde is tegenwoordig niet meer het voorkomen van vertragingen, maar het betrouwbaar kunnen reizen van A naar B (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat, VROM 2004*). Belangrijkste maatregelen om tot een hogere betrouwbaarheid te komen staan in het teken van een betere benutting van het wegennet. Daarnaast is een steeds grotere nadruk komen te liggen op verkeersveiligheid en milieu. Dit alles heeft geresulteerd in een sterke opmars van toepassingen boven en langs de kant van de weg. Door middel van diverse toepassingen worden weggebruikers gestuurd, gewaarschuwd en geïnformeerd. Om de effecten van de toepassingen te onderzoeken en voor



Figuur 1 Inductielus aangebracht in de toplaag van de rijbaan

het aansturen van de systemen zijn continue verkeersgegevens nodig. Het inwinnen van verkeersgegevens (monitoring) is daarom een belangrijk onderdeel binnen het takenpakket van Rijkswaterstaat (RWS).

Traditioneel vindt monitoring in Nederland plaats met inductielussen (Figuur 1). Toch is de markt voor voertuigdetectieapparatuur veel groter. Vele marktpartijen ontwikkelen nieuwe methoden voor het detecteren van voertuigen.

De geschetste verhouding, met aan de ene kant RWS met de verschillende toepassingen en aan de andere kant de marktpartijen met verschil-

lende producten en bijbehorende mogelijkheden, is kortweg de probleemanalyse van het onderzoek. RWS wil weten wat de producten on the shelf, in het bijzonder de videomonitoringproducten, te bieden hebben nu en in de toekomst. Het onderzoek richt zich op monitoring met behulp van videobeelden. Videomonitoring is een product, dat als veelbelovend wordt gezien. Maar de vraag is of het systeem voldoet aan de eisen van RWS en of het systeem een meerwaarde levert (of kan leveren) ten opzichte van andere producten. De inleiding wordt afgesloten met een beschrijving van de gevolgde aanpak en een leeswijzer.



1.1 Probleemomschrijving

Het monitoren van verkeer op het HWN is essentieel geworden om weggebruikers te sturen, te informeren en te waarschuwen. De huidige meetinfrastructuur van RWS is sterk gebonden aan één technologie, zijnde lusdetectie. Echter het inwinnen van gegevens met inductielussen wordt, ondanks de lange staat van dienst, steeds meer als een probleem gezien. Problemen van de huidige meetinfrastructuur zijn:

- Het data inwinsysteem is niet flexibel inzetbaar bij wegwerkzaamheden of een dynamische rijbaanindeling.
- Lusdetectie is niet robuust ten aanzien van het vernieuwen van het wegdek. En vervanging van inductielussen levert veel verkeershinder op. RWS streeft juist naar hinderarm wegonderhoud.
- Naast de problemen tijdens aanleg en onderhoud zijn meer kanttekeningen bij de inductielussen te plaatsen. Via inductielussen is de monitoring van maar een beperkt aantal verkeerskundige variabelen mogelijk. En een puntmeting geeft beperkte informatie over de situatie tussen de lussen. Congestie, die ontstaat tussen twee lussen, wordt pas opgemerkt wanneer de congestie bovenstrooms de lus heeft bereikt. De filewaarschuwing start in dat geval te laat.

Ondertussen verandert de vraag en aanbod van detectieproducten in een snel tempo. Om meer de primaire processen te kunnen sturen en de markt beter te benutten heeft RWS de laatste jaren een verschuiving laten zien van het technisch specificeren (ontwerpvoorschrijvend) naar functioneel specificeren (prestatievoorschrijvend). Functioneel specificeren legt de nadruk op wat essentieel is voor het gevraagde product of service. En het biedt de markt ruimte voor innovatie. Bij verkeersdetectoren gaat het om een wereldwijde markt waar RWS als inkoper optreedt. RWS richt zich op de specificatie, integratie, testen en beheer. De industrie verzorgt het ontwerp, ontwikkeling, installatie, documentatie en onderhoud. Bij het specificeren wordt voornamelijk uitgegaan van de technische (on)mogelijkheden van de huidige verkeersmanagementtoepassingen.

Eén van de producten op de wereldwijde markt is videomonitoring. Videomonitoring wordt gezien als een veelbelovende techniek. Redenen daarvoor zijn, dat videocamera's de laatste jaren in snel tempo goedkoper worden en beter om kunnen gaan met wisselende omstandigheden, bijvoorbeeld veranderingen in de lichtintensiteit. Daarnaast wordt in een groter gebied gedetecteerd, waardoor het mogelijk wordt om meer verkeerskundige gegevens te detecteren. De visuele informatie heeft een meerwaarden voor diverse partijen, doordat precies en snel vast te stellen is wat precies aan de hand is. En het systeem is snel aan te passen aan een nieuwe situatie, bijvoorbeeld een tijdelijke versmalling van de rijstroken.

Ondanks dat videomonitoring als veelbelovend wordt gezien, is maar weinig kennis over de eigenschappen van videomonitoring bekend bij RWS.

1.2 Doelstelling

Het doel is om een zo compleet mogelijk overzicht te krijgen van de stand van zaken, problemen, mogelijkheden en toekomstverwachtingen van videomonitoring. De doelstelling in combinatie met de probleemomschrijving leidt tot de volgende onderzoeksvragen:

1. Wat is de huidige stand van zaken op het gebied van videomonitoring?
2. Welke behoefte aan input hebben de verkeerskundige applicaties en is videomonitoring geschikt om aan deze eisen te voldoen of biedt het misschien wel nieuwe mogelijkheden?
3. Hoe worden gegevens uit videobeelden gehaald en welke mogelijkheden biedt dat om diverse verkeersgegevens uit beelden te halen?
4. In hoeverre zijn nieuwe meetgegevens werkelijk van meerwaarde voor een verkeerskundige applicatie?

1.3 Aanpak

Om tot een antwoord op de onderzoeksvragen te komen worden twee wegen bewandeld. Aan de ene kant staan de toepassingen. Voor diverse toepassingen zijn allereerst het doel van de afzonderlijke toepassing en de daaruit voortvloeiende eisen aan de gegevens voor videomonitoring in kaart gebracht. Hierbij is niet alleen gekeken naar de traditionele meetgegevens, maar ook naar nieuwe meetgegevens, die uit videobeelden te halen zijn.

Aan de andere kant staan de videobeelden, oftewel de detector. In eerste instantie is aan de hand van literatuur en documentatie van fabrikanten de huidige situatie van videomonitoring in beeld gebracht. Uiteindelijk moeten de videobeelden verwerkt worden tot verkeersgegevens. Om de mogelijkheden en problemen van videomonitoring beter in te schatten is uitgebreid ingegaan op de verwerking van de beelden tot gegevens.

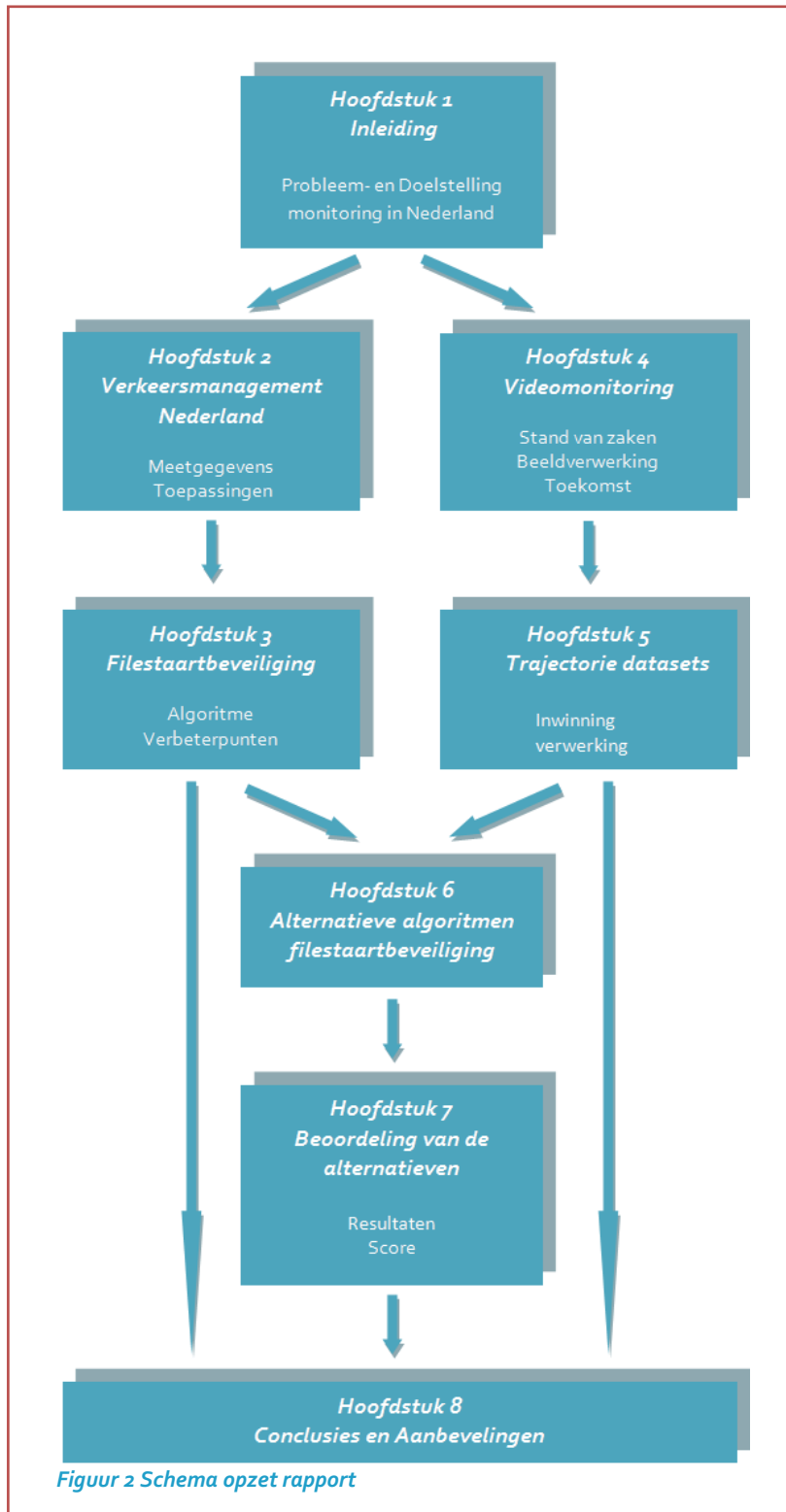
Uiteindelijk komen de output vanuit videobeelden en de input van toepassingen samen. In het onderzoek wordt dieper ingegaan op één specifieke toepassing, de filestaartbeveiliging. De reden om specifiek deze toepassing verder te onderzoeken is vanwege het feit, dat deze toepassing één van de bekendste toepassingen om het HWN is. Maar aan de andere kant laat de filestaartbeveiliging steekjes vallen, doordat met inductielussen niet een volledig traject in beeld te krijgen is. Videobeelden zouden theoretisch gezien nieuwe mogelijkheden moeten bieden, doordat met beelden een traject te analyseren is. Voor de analyse is gebruik gemaakt van trajectoriedata uit drie datasets. Aan de hand van deze datasets zijn een viertal nieuwe algoritmen gemaakt met behulp van het programma matlab.

Naast de gebruikte literatuur en documentatiemateriaal is de informatie gebaseerd op een tweetal interviews. Het eerste interview is gehouden bij Traficon in België. Traficon is een producent van videomonitoringproducten en heeft daardoor veel kennis in huis over de (on)mogelijkheden van videomonitoring. In het tweede interview lag de nadruk op het verwerken van beelden. Aan de TU Delft wordt hiernaar veel onderzoek gedaan. Meneer Hendriks is werkzaam bij één van de onderzoeksgroepen en weet veel van wat op dit moment technisch mogelijk is en wat de komende jaren nog mogelijk wordt. De volledige teksten van de gehouden interviews zijn te vinden in bijlage IV.

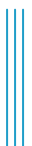
1.4 Leeswijzer

In de eerste hoofdstukken wordt de route van toepassing tot output van videomonitoring toegelicht. Hoofdstuk 2 gaat in op de verschillende verkeersmanagementtoepassingen in Nederland. Het gebruiken van videomonitoring heeft gevolgen voor de functionele eisen van de huidige toepassingen en levert nieuwe mogelijkheden op voor de toekomst. Om de meerwaarde van de nieuwe variabelen te onderzoeken, wordt dieper op de filestaartbeveiliging ingegaan. De werking van de filestaartbeveiliging wordt in hoofdstuk 3 uitgelegd. De daarop volgende hoofdstukken gaan over de tweede route, van detector (videobeeld) tot inputgegevens voor de toepassingen. Hoofdstuk 4 gaat allereerst in op de huidige stand van zaken. Welke systemen zijn erop dit moment en welke kwaliteit leveren de systemen af? Om van videobeeld tot meetgegevens te komen moeten een aantal stappen doorlopen worden. Het tweede gedeelte van hoofdstuk 4 behandelt de verschillende stappen binnen videomonitoring. Het uiteindelijke meetresultaat bestaat onder andere uit trajectoriën van voertuigen. In hoofdstuk 5 is een beschrijving te vinden van de gebruikte trajectoriendatasets in het onderzoek. De outputgegevens van de videobeelden en de benodigde inputgegevens voor een toepassing komen samen in het algoritme voor de aansturing van een toepassing. Hoofdstuk 6 geeft een beschrijving van een aantal nieuwe algoritmen voor de filestaartbeveiliging. De algoritmen zijn geanalyseerd aan de hand van de beschreven datasets uit hoofdstuk 5. De resultaten van de analyse zijn in hoofdstuk 7 te lezen. Tot slot zijn in hoofdstuk 8 te concluderen en aanbevelingen te vinden met betrekking tot de twee bewandelde wegen en het eindresultaat.





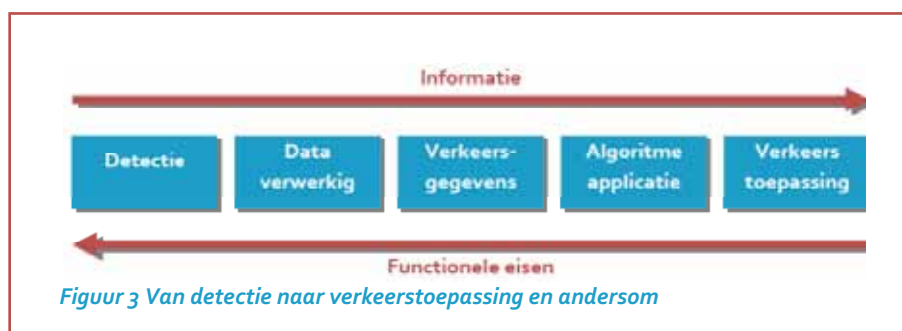
Figuur 2 Schema opzet rapport



2 Doel monitoring in Nederland

In het verleden diende het inwinnen van verkeersgegevens vooral een statistisch doel. Gegevens van bepaalde trajecten werden verzameld en op een later tijdstip gebruikt voor planvorming. Op het moment dat de benutting van het wegennet een steeds belangrijker rol ging spelen kreeg men behoefte aan inzicht in de actuele verkeerssituatie. En ook de aanbieders van verkeersinformatie hebben behoefte aan actuele gegevens op elk moment van de dag. Hierdoor is monitoring uitgegroeid tot een permanente activiteit op een groot gedeelte van het HWN. Via een uitgebreid netwerk met detectoren en actuatoren wordt continue bepaald hoe het verkeer zich afwikkelt en indien nodig wordt de weggebruiker gewaarschuwd en/of geïnformeerd.

Verkeersgegevens verzamelen is geen doel op zichzelf. Monitoring wordt toegepast voor verschillende doeleinden en in verschillende toepassingsgebieden. Binnen AVV worden twee belangrijke toepassingsgebieden onderscheiden, statistische en dynamische verkeersmanagementtoepassingen. Afhankelijk van het toepassingsgebied en het doel worden de verkeersgegevens verder bewerkt en gebruikt. De uiteindelijke eisen aan verkeersmonitoring komen voort uit de functionele eisen van de toepassing (zie Figuur 3). Daarnaast blijkt, dat hoe verder de informatie richting de gebruikers gaat, hoe meer veranderingen de



Figuur 3 Van detectie naar verkeerstoepassing en andersom

gegevens ondergaan. Dit komt doordat steeds meer inputvariabelen (door datafusie, filteren etc.) aan de informatie worden toegevoegd, inclusief menselijke inschattingen. Daarom is het belangrijk

om eisen te stellen aan de gegevens, die worden ingewonnen tijdens de monitoringsfase. Per toepassing zou Figuur 3 gemaakt kunnen worden, omdat elke toepassing zijn eigen functionele eisen heeft. Idealiter zou voor elke afzonderlijke toepassing een eigen detector ontwikkeld moeten worden. Dit zou echter een onwenselijke wildgroei aan monitoringapparatuur langs de wegwijk veroorzaken. Met zo min mogelijk detectoren moet een zo hoog mogelijke kwaliteit gehaald worden. De stap, die de outputdata van een detector verwerkt naar verkeersgegevens om een applicatie aan te kunnen sturen, is belangrijk voor het behalen van de gewenste monitoringkwaliteit.

In dit hoofdstuk worden de toepassingen opgedeeld in dynamische en statistische toepassingen en van beide groepen worden de belangrijkste subgroepen besproken. Hierbij wordt ingegaan op de werking en de mogelijkheden van videomonitoring voor de toepassingen. Per subgroep zijn de belangrijkste eisen voor videomonitoring vastgesteld. In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op de filestaartbeveiliging. Aan de hand van deze toepassing wordt onderzocht wat de meerwaarde van trajectoriedata is. Trajectoriedata is een extra optie van videomonitoring ten opzichte van inductielussen. Het combineren van meerdere metingen maakt het mogelijk om trajectoriën van voertuigen op te stellen. Vanuit trajectoriën zijn de belangrijkste verkeerskundige karakteristieken af te leiden. Het kunnen meten van aanvullende verkeerskundige karakteristieken, maakt de verbetering van toepassingen mogelijk. Per detector zijn dus verschillende verkeersgegevens te meten. Voorafgaand aan het opstellen van de functionele eisen voor de diver-

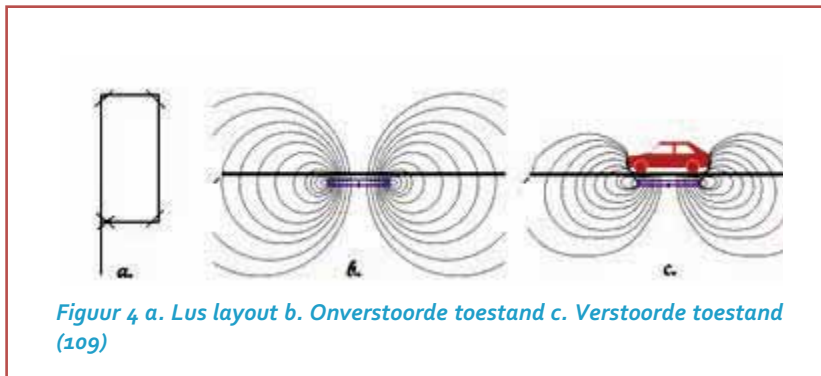
se toepassingen zal daarom eerst ingegaan worden op de verschillen tussen de verschillende detectortechnieken en de gegevens die daaruit voortvloeien.

2.1 Detectortechnieken

De eerste stap in het overzicht van Figuur 3 is detectie. Aan de informatie, die detectoren leveren, wordt de laatste jaren steeds hogere eisen gesteld. Daarnaast is een verschuiving te zien naar het steeds meer dynamisch gebruiken van rijbanen, zoals bijvoorbeeld de opkomst van spitsstroken. Hierdoor is de markt gestimuleerd om nieuwe detectieproducten te ontwikkelen en bestaande technieken te verbeteren. Een grote variëteit aan apparatuur is op dit moment beschikbaar. Binnen de detectieapparatuur is op verschillende manieren een splitsing aan te brengen. Deze splitsing is gebaseerd op de eigenschappen van de detectoren. De belangrijkste eigenschappen zijn de wijze van installatie en de aanlevering van ruwe data. Op deze twee eigenschappen wordt hieronder verder ingegaan.

2.1.1 Onderverdeling op basis van de installatie

Op basis van installatie zijn detectoren in drie groepen in te delen: intrusieve detectoren (in het asfalt), niet intrusieve detectoren (boven of aan de zijkant van de weg) en detectoren, die niet verbonden zijn aan de in-



Figuur 4 a. Lus layout b. Onverstoorde toestand c. Verstoorde toestand (109)

frastructuur.

Intrusieve detectoren, zoals de inductielus, worden al decennia lang volop gebruikt in Nederland. Wanneer een voertuig de lus passeert of zich op een lus bevindt, wordt de inductie in de lus verlaagd (Figuur 4). Dit signaal wordt met een aantal algoritmen verwerkt tot verkeersgegevens. Vandaag de dag blijkt echter steeds vaker dat aan inductielussen een aantal nadelen kleven. De installatie en het onderhoud van de lussen betekent een afsluiting van de rijbaan, hetgeen in sommige situaties tot problemen leidt. Dit probleem wordt versterkt door het feit dat de lussen in de top-laag gefreesd moeten worden, waardoor de installatie van de lussen bij asfalteringswerkzaamheden opnieuw moet gebeuren. Een ander nadeel van inductielussen is het niet kunnen detecteren van langzaam rijdende of stilstaande voertuigen.

Terminologie

De termen monitoring en detectie worden nogal eens door elkaar gehaald of hebben binnen verschillende instanties een andere betekenis. In het onderzoek komen deze twee termen vaak naar voren, zodat het nuttig is om de gebruikte betekenis vooraf toe te lichten.

Detectie is met behulp van een detector aangeven of een voertuig aanwezig is. Bij een inductielus is detectie een verandering in de inductie. Detectie in een videobeeld is het herkennen van een groep pixels. Deze ruwe gegevens zijn nog geen verkeersgegevens en moeten eerst verder verwerkt worden om als input voor een toepassing te dienen.

De detector is onderdeel van een groter geheel, de monitoring. Monitoring bestaat uit een detector die ruwe data levert en de verdere verwerking van de ruwe data tot verkeersgegevens. In dat proces worden de gegevens uit de detector gecontroleerd en indien nodig vindt een correctiestap plaats. Het eindproduct zijn gegevens, die als input kunnen dienen voor de aansturing van verkeersmanagementtoepassingen of voor archivering.

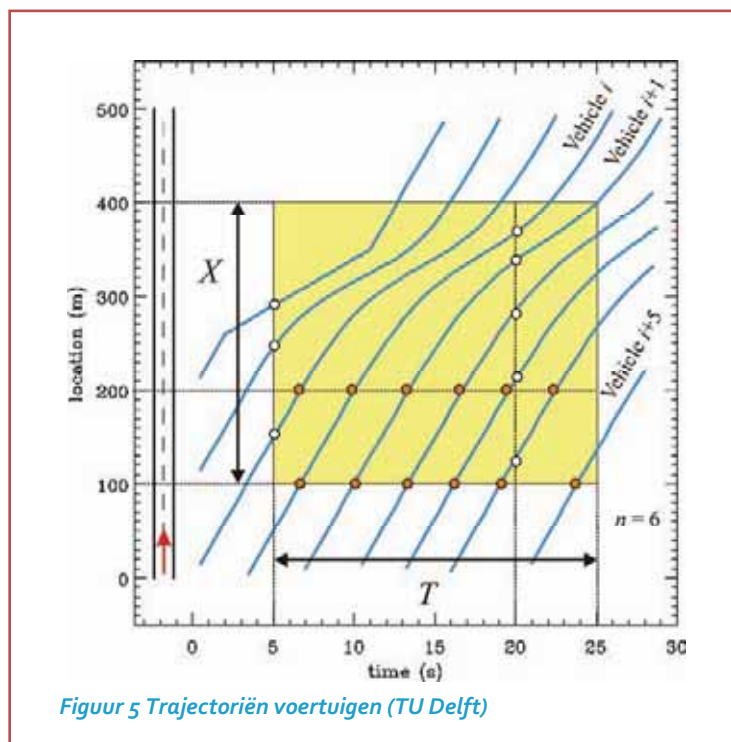
De nadelen van de inductielussen hebben geleid tot experimenten met niet intrusieve detectoren. Voordeel ten opzichte van de inductielus is de installatie boven of naast de weg. Hierdoor ontstaat een minimale hinder voor het verkeer tijdens de installatie en het onderhoud. Detectie met behulp van videobeelden valt onder de intrusieve detectoren. Met deze intrusieve detectie is het vaak mogelijk om een groter gebied te detecteren. Echter doordat de niet intrusieve detectortechnieken nog in de kinderschoenen staan, wordt deze detectiemethode niet op grote schaal toegepast.

De verbetering van zowel intrusieve als niet intrusieve detectoren gaat hand in hand met de ontwikkelingen op het gebied van informatica en elektronica. De nieuwste onderzoeken gaan al uit van niet infrastructuur gebonden monitoringmethoden in de toekomst. Voertuigen die hun gegevens continu doorgeven via bijvoorbeeld GSM technologie staan in de belangstelling van onderzoekers¹.

2.1.2 Onderverdeling op basis van de ruwe data

De manier waarop de aanlevering van ruwe data plaatsvindt, heeft gevolgen voor de uiteindelijke output van het monitoringsysteem. In essentie is de output van een monitoringsysteem afhankelijk van twee methoden waarop de ruwe data aangeleverd wordt door de detector:

1. Komt de data vanaf een vaste locatie (puntmeting) of vanaf een groter meetgebied (trajectmeting)?
2. Is voor elk afzonderlijk voertuig data beschikbaar (microscopisch) of wordt de data verzameld in een vastgestelde tijdsperiode (macroscopisch)?



Lokaal/traject

Een lokale meting wil zeggen dat in een vooraf vastgesteld tijdsinterval (bijvoorbeeld elke minuut) op een rijbaandoorsnede verkeersgegevens worden verzameld. In Figuur 5 zijn de lokale metingen aangegeven op locatie 100 meter en 200 meter. Bij een trajectmeting worden de verkeersgegevens verzameld over een traject (bijvoorbeeld 300 meter) in een klein tijdsinterval. In Figuur 5 zijn de metingen op 5 en 20 seconde aangegeven. Ruwe data op basis van lokale metingen maken het mogelijk om de intensiteiten, opvolgtijden en lokale snelheden van voertuigen te meten. Trajectmetingen daarente-

¹ Floating car data

gen leveren de dichtheid, volgafstand en snelheid op. Wanneer het monitoringsysteem in staat is om meerdere detecties van het hetzelfde voertuig te combineren is een voertuigtrajectorie op te stellen.

Wanneer een x-as langs de rijbaan wordt beschouwd, zoals links in Figuur 5, dan kan de positie van een voertuig i op een tijdstip aangeduid worden met $x_i(t)$ en de positie van het voertuig achter dit voertuig met $x_{i+1}(t)$. Voertuigen bewegen zich in de loop van de tijd langs de x-as. In Figuur 5 zijn 9 voertuigen in een t-x-assenstelsels afgebeeld. De positie van een voertuig door de tijd wordt een trajectorie genoemd. Door het voertuig als punt te beschouwen is een trajectorie een wiskundige functie. De positionering van het punt op een voertuig wordt in de verkeerskunde nergens gedefinieerd. In de meeste gevallen wordt de voor- of achterbumper gebruikt.

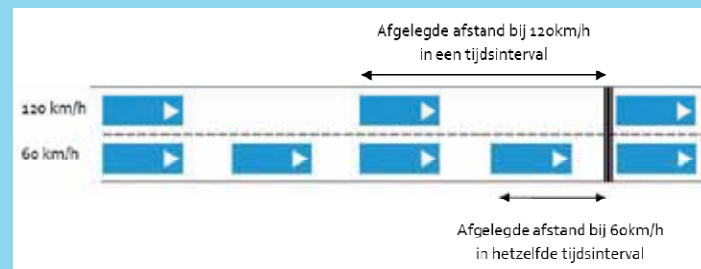
De afgeleide van een trajectorie op het HWN is altijd groter of gelijk aan nul (theoretisch is kleiner dan nul wel toegestaan), omdat achteruitrijden niet toegestaan is en een verplaatsing terug in de tijd onmogelijk is. Verder is het niet mogelijk dat twee trajectoriën elkaar snijden, wanneer de voertuigen op dezelfde rijstrook rijden².

Verkeer is echter niet eendimensionaal, maar tweedimensionaal. De positie van een voertuig bestaat uit een x en y waarde. Met de y-coördinaat wordt de laterale positie van een voertuig aangegeven, oftewel de rijstrookpositie. Zelden is deze waarde nauwkeurig bekend en meestal wordt alleen een rijstrookindicatie gegeven.

Met behulp van een voertuigtrajectorie zijn alle gegevens voor een verkeerskundige analyse te herleiden, dus ook voor lokale metingen. De eerste afgeleide van een trajectorie geeft de snelheid van een voertuig. Het verzamelen

Verskil tussen lokale- en trajectnsnelheid

Stel een lange snelweg voor zonder toe- en afritten en met twee rijstroken waarbij alle voertuigen op de rechter rijstrook 60 km/h rijden en op de linker rijstrook 120 km/h (Figuur 6). Dit betekent dat alle voertuigen op de rechterrijstrook, die gedurende een minuut de detector passeren, zich op een traject tot één kilometer bovenstreams van de detector zich hebben bevonden. Terwijl op de linkerrijstrook deze wegsectie twee kilometer is geweest. Bij het bepalen van de lokale gemiddelde snelheid worden snelle voertuigen over een veel langere afstand beschouwd in vergelijking met de trage wagens. Het aandeel snelle wagens wordt bij een lokale meting daardoor altijd overschat, zodat de lokale gemiddelde snelheid altijd groter of gelijk aan de instantane gemiddelde snelheid is.



Figuur 6 Snelweg met twee rijstroken

² FIFO principe - First in, First out

van snelheidsgegevens op een vast plaatsinterval of vast tijdsinterval levert niet dezelfde informatie op. Met het voorbeeld in het kader op de voorgaande pagina wordt dat verduidelijkt.

Vanzelfsprekend is de afgeleide van de snelheid, en daarmee de tweede afgeleide van een trajectorie, de versnelling van een voertuig.

Macroscopisch/microscopisch

Weggebruikers verplaatsen zich van A naar B over een bepaald traject. Hierbij moet men voornamelijk rekening houden met het uiterlijk van de weg en de voertuigen in de directe omgeving. Aan de hand van deze indicaties bepaalt de weggebruiker zijn 'ideale' verplaatsing. Bij de bestudering van verkeersstromen wordt, naast de individuele voertuigen, gekeken naar het grotere geheel, de verkeersafwikkeling. De eigenschappen van individuele voertuigen worden vastgelegd in microscopische variabelen. De belangrijkste microscopische meetgegevens zijn de trajectorie, volgafstand en opvolgtijd. De verkeersafwikkeling wordt beschreven met macroscopische gegevens, dat zijn intensiteit, dichtheid en snelheid. Zowel lokale metingen als trajectmetingen geven macroscopische en microscopische variabelen.

Inductielus vs. video

Inductielussen zijn alleen in staat om puntmetingen uit te voeren. Dit beperkt het aantal outputvariabelen voor het monitoringsysteem tot de lokale snelheid, intensiteit en opvolgtijd. Bij videodetectie is meer mogelijk, afhankelijk van de verwerking van de ruwe data (groepen van pixels, die een voertuig aangeven) zijn diverse combinaties van variabelen mogelijk. Een mogelijkheid is om het systeem alleen maar puntmetingen uit te laten voeren. Of het stelt trajectoriën van voertuigen samen, waardoor in principe alle verkeerskundige karakteristieken beschikbaar komen.

2.2 Gegevens uit videomonitoring

Met de genoemde variabelen in de vorige paragraaf is de verkeersstroom te beschrijven. Uitgebreidere informatie over variabelen om de verkeersstroom te beschrijven is te vinden in bijlage I. Naast variabelen om de verkeersstroom te beschrijven is nog meer te meten aan het verkeer. In de verkeerskunde zijn een aantal gegevenstype aan te wijzen. Variabelen zijn in te delen in de verschillende gegevenstypes. De diverse variabelen kunnen dienen als input voor de verschillende toepassingen. In theorie zijn met videomonitoring de onderstaande gegevens te verzamelen (*Goudappel Coffeng 2002*):

Tabel 1 Universele lijst met meetgegevens

Gegevenstype	Variabele	Eenheid
Puntgegevens	Intensiteit	vrt/h
	Snelheid	km/h
	Verblijftijd	sec
	Aanwezigheid	sec
	Capaciteit	vrt/h
Stroomgegevens	Volgafstand	m
	Opvolgtijd	sec
	Dichtheid	vrt/km
	Reistijd	sec
	Acceleratie/Deceleratie	m/s ²
	Herkomst-Bestemming	-
Voertuigkenmerken	Voertuigverliesuren	vrth
	Lengte	m
	Breedte	m
	Hoogte	m
	Voertuigcategorie	-
	Merk	-
	Aantal inzittenden	personen
	Kenteken	-



Voertuiggedrag	Rijrichting	-
	Strookwisselgedrag	-
Verstoringen	Afgevallen lading	-
	Stilstaande voertuigen	-
	Voetgangers	-
Weersomstandigheden	Werk in Uitvoering	-
	Neerslag	-
	Zichtafstand	m
Wegomstandigheden	Kwaliteit wegdek	-

Kwaliteit gegevens

Om te kunnen beoordelen of videomonitoring ingezet kan worden is per toepassing nodig te weten aan welke eisen de monitoring moet voldoen. Of de meting van een specifieke variabele voldoende is, hangt af van een aantal zaken (*Benschop, A.W. 1995*). In het onderzoek worden de volgende punten onderscheiden.

- Nauwkeurigheid: Met het hoofdcriterium nauwkeurigheid wordt het verschil aangeduid tussen de werkelijke waarde en de waarde volgens het systeem (de meetgegevens). Het gaat erom in hoeverre een foute waarneming leidt tot bijvoorbeeld een verkeerde maatregel.
- Betrouwbaarheid: Percentage detecties dat nodig is om betrouwbare informatie te kunnen leveren.
- Aggregatie in tijd: is levering van gegevens noodzakelijk op het niveau van individuele voertuigen, of voor een periode van bijvoorbeeld vijf minuten?
- Aggregatie in ruimte: hoe groot/klein mag het gebied zijn waarover wordt gemeten, of welk blikveld moet in beeld worden gebracht? Onderscheid is te maken naar bijvoorbeeld rijstrook, rijbaan of volledige doorsnede; puntlocatie, wegvak of traject. En moet er op een specifieke locatie worden gemeten?
- Dichtheid meetlocaties: hoeveel meetlocaties zijn er nodig over een bepaalde lengte (bepaalde hoeveelheid wegvakken achter elkaar) om robuuste informatie te kunnen verzamelen?

2.3 Verkeersmanagementtoepassingen

AVV maakt een tweedeling in het continu waarnemen en registreren van voertuigen op het HWN. Het monitoren levert gegevens voor dynamisch en statistisch gebruik.

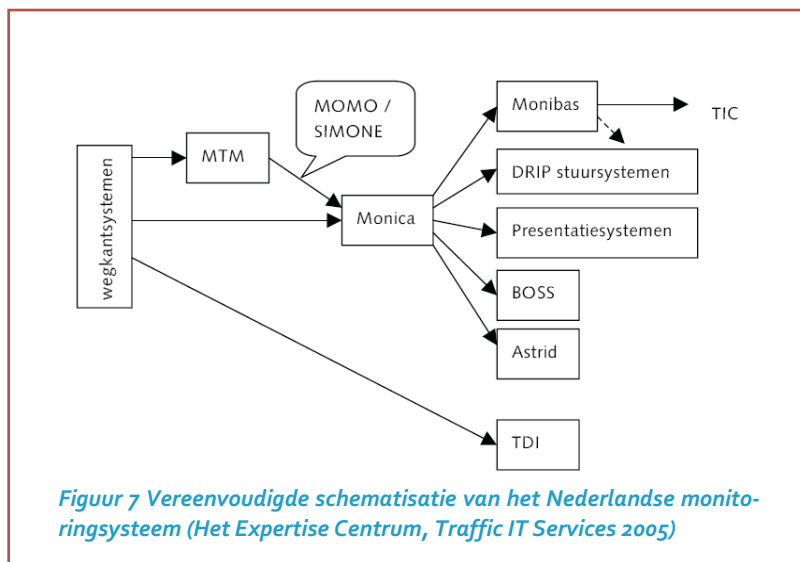
- Dynamisch, dynamische systemen verlangen een permanente stroom van actuele gegevens over de toestand op de weg.
- Statistisch, bij statistische toepassingen worden opgeslagen gegevens achteraf gebruikt voor bijvoorbeeld verkeersonderzoek en evaluatie van het verkeersbeleid.

Daarnaast is binnen de dynamische en statistische gegevens weer onderscheid te maken in subgroepen. Deze verdeling is gebaseerd op het verschil in oriëntatie van de systemen.

In bijlage III is een compleet overzicht te vinden van de verschillende applicaties, die tegenwoordig op het Nederlandse weggennet toegepast worden.

2.3.1 Beschrijving van het huidige verkeersmanagementsysteem

Het verkeersmanagementsysteem zoals op dit moment wordt gebruikt in Nederland is een netwerk van wegkantsystemen, opslag van gegevens, business logic en apparatuur voor de presentatie en bediening. In Figuur 7 is een vereenvoudigde weergave te vinden van het monitoringsysteem. Verzamelen van verkeersgegevens gebeurt in Nederland voornamelijk direct langs de kant van de rijbaan, met behulp van de zogenaamde wegkantsystemen. Wegkantsystemen bestaan uit detectoren en de stations die de informatie van de detectoren (meestal de inductielussen) omzetten naar bruikbare data. Systemen boven de weg om de weggebruiker te attenderen, zoals de MSI (MatrixSignaalgeveerInstallatie) behoren ook tot het wegkantsysteem. Binnen het Nederlandse wegkantsysteem is een tweedeling. Aan de ene kant het



MWKS (Monitorings Weg-KantSysteem). Dit systeem is alleen voor het monitoren van verkeer. De door het MWKS ingewonnen gegevens worden direct doorgestuurd naar Monica (Monitoring Casco). Daarnaast is er een monitoring en verkeerssignaleringsysteem. Deze gegevens worden door het MTM-2 (Motorway Traffic Management, versie 2) gebruikt om weggebruikers te attenderen op bijzondere situaties. Binnen het MTM-2 systeem bevinden

zich verschillende applicaties, bijvoorbeeld het AID (Automatische Incident Detectie) systeem of de DSI (Dynamische SnelheidsInformatie). Vanuit het MTM-2 worden de verkeersgegevens en signaleringgegevens met behulp van Simone (Signalering Monitoring Neofiguratie) naar Monica verstuurd. Monica levert aan de hand van de verkeersgegevens per waarnemingspunt minuutgegevens over de situatie op het wegennet.

De gegevens die Monica levert, worden op hun beurt door andere applicaties gebruikt. Monibas (Monitoring Basisapplicaties) levert "opgewerkte" informatie zoals reistijd en filelengte. Deze informatie kan gebruikt worden voor de verkeersinformatie of om op DRIP's te tonen. De aansturing van de DRIP gaat met een apart stuursysteem (CDMS), dat Monica gegevens gebruikt. In de verkeerscentrale of on-line kunnen de Monica gegevens omgezet worden naar grafische plaatjes. Daarnaast worden de wegverkeerleiders in de verkeerscentrale geholpen met BOSS (Beslissing OnderSteunend Systeem). Astrid (Afname Statistische gegevens Richting Intens Database) zorgt voor het opslaan van statistische verkeersgegevens. Toeritdoseerinstallaties (TDI) werken zonder tussenkomst van Monica of het MTM-2 met een eigen algoritme.

2.3.2 Dynamische Verkeersmanagementtoepassingen

Het gebruik van DVM (Dynamisch VerkeersManagement) toepassingen blijft de laatste jaren gestaag stijgen. Kenmerkend voor dynamische systemen is dat ze real-time gegevens nodig hebben over de toestand op de weg. Hiervoor worden door het monitoringsysteem gegevens beschikbaar gesteld over bijvoorbeeld verkeersintensiteit, snelheden en reistijd.

Twee belangrijke redenen om DVM-toepassingen te gebruiken zijn de veiligheid en een verbeterde verkeersafwikkeling. Een betere verkeersafwikkeling vermindert de kans op kop-staart ongevallen. Minder ongevallen betekent op zijn beurt minder congestie. Het wegennet wordt door het toepassen van de maatregelen beter benut. De laatste tijd spelen steeds vaker milieubelangen een rol voor het toepassen van bepaalde DVM-systemen.

Grofweg zijn DVM-toepassingen in te delen in drie groepen, namelijk:

1. Netwerk georiënteerd
2. Wegvak georiënteerd
3. Wegbeheersystemen



Netwerktoeepassingen

Netwerk georiënteerde DVM-systemen zijn vooral gericht op een verbeterde verkeersafwikkeling door een gedeelte van het wegennetwerk. Kenmerkend voor deze systemen zijn:

1. Beïnvloeding van routekeuze
2. Er gaat meestal geen lokale werking van uit
3. Inzicht per rijbaan is voldoende
4. Minuutgegevens vaak voldoende nauwkeurig

Netwerktoeepassingen in Nederland zijn reisinformatie via allerlei kanalen en de beslissingsondersteunende systemen in verkeerscentrales (DSS). Het doel van deze systemen is het sturen van weggebruikers, zodat de verkeersafwikkeling in het gehele netwerk wordt verbeterd. De situatie op het netwerk wordt op dit moment bepaald op basis van de intensiteiten en snelheden. Met behulp van deze gegevens wordt de plaatst en lengte van congestie bepaald en de reistijden. Om tot betrouwbare netwerktoeepassingen te komen zijn voorspellingsalgoritmen nodig. De gemeten situatie loopt namelijk achter op actuele situatie. Dit betekent dat de snelheden en intensiteiten voldoende nauwkeurig (2-5%) moeten worden ingewonnen.

De lengte van de meetvakken, oftewel de aggregatie in ruimte, speelt ook een belangrijke rol bij de huidige puntmetingen. Zijn de wegvakken te lang, dan komt niet alleen de actualiteit van de gegevens in het gedrang, maar ook de onderscheidenheid. Immers alle verschillen in snelheid binnen het wegvak worden vereffend. Hoe langer het meetvak, hoe moeilijker het wordt om snel congestie te kunnen bepalen.

De kwaliteit van de aangeboden informatie speelt een grote rol. Is deze te laag dan worden adviezen niet opgevolgd en heeft de informatievervalsing geen enkele invloed meer op de netwerkcondities.

Mogelijkheden videomonitoring

Voor het maken van voorspellingen zijn nauwkeurige en betrouwbare gegevens nodig. Het doen van tellingen is voor deze toepassingen het belangrijkste. Een combinatie van telling en het herkennen van voertuigen op basis van eigenschappen of kenteken levert nog meer informatie op over de verplaatsingen.

Voor toepassingen die reisinformatie geven aan de weggebruiker, bijvoorbeeld via een DRIP of in-car systemen geldt dat de informatie actueel en betrouwbaar moet zijn. Wanneer alleen informatie nodig is over de filelengte is het voldoende om observatiecamera's te gebruiken. Het enige wat deze camera's moeten vaststellen is wel of geen congestie. Hoe groter het gebied dat bedekt wordt door de beelden, hoe nauwkeuriger de meldingen.

In het geval van informatie over reistijden zijn meer gegevens nodig. Nadeel van het vaststellen van reistijden is dat dit altijd



Figuur 8 Verkeerscentrale (106)

historische of gerealiseerde gegevens zijn en dus niet actueel. Voor het vaststellen van de actuele reistijden is ten alle tijden een voorspelling nodig met een macroscopisch verkeersmodel. Voor de input van modellen zijn nauwkeurige tellingen van belang. Op dit moment wordt gewerkt met de lokale snelheden en intensiteiten, met behulp van camera's is extra input mogelijk (traject snelheid, dichtheid etc.). Uitgezocht moet worden wat deze gegevens voor extra aanvulling op de resultaten van de verkeersmodellen hebben. Het combineren van de resultaten van observatie en tellingen geeft mogelijkheden om de modellen continue te verbeteren.

De wegverkeersleiders moeten in staat zijn om voldoende snel en op een betrouwbare wijze op te merken dat er iets aan de hand is op het wegennet. Hiervoor is het noodzakelijk dat de verkeersleiders een voldoende nauwkeurig beeld hebben van de actuele situatie en het liefst van de toekomstige situatie (BOSS). Hierdoor is de wegverkeersleider in staat om op gecoördineerde wijze verkeersmanagementmaatregelen in te zetten. Dit is met name belangrijk tijdens niet reguliere situaties (bijvoorbeeld evenementen, werkzaamheden, etc.). De situatie op een wegvak vaststellen is met beelden een stuk makkelijker voor de wegverkeersleider. Wanneer de verkeersgegevens een vreemde afwijking laten zien kan snel overgeschakeld worden naar de beelden om te zien wat het probleem is of de gevolgen van het probleem. Aan de hand van deze informatie kan de wegverkeersleider effectiever en sneller maatregelen inzetten, bijvoorbeeld bepaalde stroken afkruisen. Voor het voorspellen van de verkeerssituatie ten behoeve van het BOSS systeem geldt hetzelfde als voor de modellen die de reistijden voorspellen. Meer inputgegevens en de mogelijkheid om de uitkomsten te verifiëren met de historische beelden maken het mogelijk om de modellen continue te verbeteren.

Tabel 2 Eisen videomonitoring voor netwerktoepassingen

	File informatie	Reistijden	DSS
Type detectie	observatie	telling	telling
Nauwkeurigheid	5%	2~5%	2~5%
Betrouwbaarheid	95~97%	95~97%	95~97%
Aggregatie in tijd	minuut	minuut	minuut
Aggregatie in ruimte	rijbaan	rijstrook	rijstrook
Dichtheid meetlocaties	overlappende beelden	< 500m	< 500m

Wegvaktoepassingen

DVM-systemen, georiënteerd op een wegvak, zijn vooral gericht op een optimale, veilige doorstroming van een wegvak, toerit of kruising en hebben veelal de volgende kenmerken:

1. Geen directe routebeïnvloeding
2. Lokale werking (direct bij de actuator)
3. Inzicht per rijstrook gewenst
4. Korte reactietijden

Wegvaktoepassingen zijn vaak onderdeel van een groter geheel. Zo vallen veel applicaties binnen het MTM-2 systeem. Onderling hebben de toepassingen vaak verschillende doeleinden. Om niet té algemene uitspraken over de mogelijkheden van videomonitoring binnen de wegvaktoepassingen te doen is een onderverdeling van de verschillende toepassingen gemaakt.

- Toepassingen die waarschuwen voor afwijkend rijgedrag. Hier vallen onder andere de AID, LFB, Blokkadedetector, SOS, VAD en spookrijderdetectie onder. Deze toepassingen moeten reageren bij voertuigen die te langzaam rijden, stilstaan, de verkeerde kant op rijden of op allerlei ander vreemde positieveranderingen, bijvoorbeeld door een incident.
- Capaciteit verhogende toepassingen. Een aantal toepassingen worden ingeschakeld op het moment dat de verkeersdrukke toeneemt. Voorbeelden zijn de TDI, DRM, DOV, Dynamisch inhaal-

verbod, DSI en doelgroepstroken. De toepassingen moeten als input een indicatie van de afwijking hebben.

- Toepassingen ten behoeve van handhaving. Deze toepassingen moeten zeer nauwkeurig een variabele, bijvoorbeeld snelheid of voertuigcategorie, kunnen detecteren. Hieronder vallen de trajectcontrole, maar ook de handhaving op doelgroepstroken.

In bijlage III is uitgebreidere informatie over de afzonderlijke wegvaktoepassingen te vinden.

Mogelijkheden videomonitoring voor herkenning afwijkend gedrag

De toepassingen, die waarschuwen voor afwijkend rijgedrag, hebben niet zozeer de behoefte aan zeer betrouwbare tellingen, maar aan het snel en nauwkeurig waarnemen van afwijkend gedrag op rijstrookniveau. Op dit moment betekent het vaststellen van afwijkend gedrag nauwkeurig en betrouwbaar meten van snelheid en intensiteit op rijstrookniveau en bij voorkeur van elk individueel voertuig. Aan de hand van deze gegevens wordt een indicatie van de situatie op het wegvak gegeven.

Een groot gedeelte van deze metingen is te vervangen door middel van observatie vanuit een hoog standpunt. Het gaat namelijk bij deze metingen niet om wat de verhouding tussen de voertuigklassen is of een nauwkeurige indicatie van de intensiteit. Observeren van de verkeersstroom levert informatie op over voertuigen die de verkeerde richting op rijden, het ontstaan van congestie, incidenten, stilstaande voertuigen, aanwezigheid op de vluchtstrook van voertuigen, hoge of lage dichtheid. Deze gegevens zijn al voldoende om de opgesomde wegvaktoepassingen aan te sturen.

In niet alle gevallen is precies te zeggen wat het probleem is. Bijvoorbeeld het verschil tussen een ongeval en congestie. Als aanvulling op de observatie zijn hiervoor de tellingen te gebruiken op de vaste locaties. Hoge intensiteiten en een stilstandmelding duidt op het ontstaan van congestie. Bij lage intensiteiten is het waarschijnlijk een incident of een stilstaand voertuig.

Mogelijkheden videomonitoring voor capaciteit verhogende toepassingen

Deze specifieke toepassingen hebben als belangrijkste input een indicatie van de afwikkeling nodig. Op het moment dat de dichtheid of de intensiteiten te hoog worden en de kans op congestie ontstaat worden de genoemde capaciteit verhogende toepassingen ingeschakeld. Omdat het moment van aangaan niet op de seconde en voertuig nauwkeurig hoeft te worden vastgesteld is het niet nodig om extreem hoge eisen aan de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de tellingen te stellen. De dichtheid tussen de meetlocaties hoeft niet hoog te zijn. Tellingen tussen bijvoorbeeld twee toeritten zijn al voldoende. Deze tellingen zijn aan te vullen met de gegevens over afwijkend rijgedrag. Een gedetecteerd incident benedenstrooms kan, ondanks een lage intensiteit bovenstrooms, aanleiding geven tot het verhogen van



Figuur 9 Toeritdosering

de capaciteit bovenstreams, om bijvoorbeeld voertuigen te bufferen op het bovenstroomse weggedeelte.

Mogelijkheden videomonitoring voor handhaving

In de wegvaktoepassingen zijn voor een aantal systemen extra inputparameters nodig. Handhaving stelt zeer hoge eisen aan het vaststellen van de snelheid. Op dit moment is het niet mogelijk om met video-beelden nauwkeurig en betrouwbaar de locatie en snelheid van een voertuig vast te stellen. Kentekenherkenning is wel mogelijk met camera's en wordt al toegepast.

Bij handhaving op een doelgroepstrook of van een dynamisch inhaalverbod moet onderscheid gemaakt worden in voertuigtypen. Vanuit de lucht is in eerste instantie te detecteren of van een bepaalde strook gebruik wordt gemaakt of dat twee vrachtwagens aan het inhalen zijn. Deze informatie wordt gebruikt door camera's op portalen die exact vaststellen om wat voor voertuig het gaat en indien nodig wordt het kenteken geregistreerd.

Tabel 3 Eisen videomonitoring voor wegvaktoepassingen

	Afwijkend gedrag	Capaciteit verhogend	Handhaving
Type detectie	observatie	telling	observatie/telling
Nauwkeurigheid	1-2%	5%	~0%
Betrouwbaarheid	97%	95%	99%
Aggregatie in tijd	seconde	minuut	individueel
Aggregatie in ruimte	rijstrook	rijstrook	rijstrook
Dichtheid meetlocaties	overlappende beelden	> 250m	vaste locaties

Wegbeheertoepassingen

Bij het wegbeheer gaat het om de instandhouding van de optimale infrastructuur. De verantwoordelijkheid van deze systemen ligt voor een deel bij DWW (Dienst Weg- en Waterbouwkunde). Voorbeelden zijn Gladheidsmelding en "Weigh in Motion". De specifieke gegevens voor deze applicaties kunnen niet gede- tecteerd worden met videobeelden.

Een systeem wat wel gebruikt kan worden in combinatie van videomonitoring is hoogtemeting. Hoogte- meting wordt gebruikt voor het beveiligen van kunstwerken, bijvoorbeeld tunnels en viaducten. Een te hoog voertuig moet op tijd een waarschuwing krijgen en voor het obstakel de rijbaan verlaten hebben.

Mogelijkheden videomonitoring

Het bepalen van de afmetingen van een voertuig met behulp van camera's is alleen mogelijk met twee camera's. Door het combineren van beide beelden is een reconstructie van het 3D-beeld te maken. Aan de hand van deze reconstructie wordt bepaald of een voertuig wel of niet te hoog is.

Bij de plaatsing van de camera's moet gezorgd worden dat occlusie wordt voorkomen. Het is van groot belang dat de hoogte nauwkeurig wordt vastgesteld. Bij occlusie wordt dat onmogelijk gemaakt. De beste locatie is het plaatsen van twee camera's op een portaal.

Eventueel is het systeem te verbeteren door een derde camera te installeren, die de eerste grove schifting maakt (personenwagen vs. vrachtwagen). Hiervoor zou een observatiecamera al voldoende zijn, die van grote hoogte de lengte van voertuigen in de gaten houdt in combinatie met een rijstrookindicatie. Met deze gegevens zijn de twee camera's op het portaal aan te sturen. De camera's op het portaal weten waar een vrachtwagen verschijnt en kunnen indien nodig een aantal instellingen wijzigen en het algoritme ge- richter zijn werk laten doen.

Deze techniek wordt nog niet toegepast door fabrikanten, maar op diverse terreinen heeft al onderzoek plaatsgevonden naar het combineren van camera gegevens (*Interview Computer Vision*).



Tabel 4 Eisen videomonitoring voor wegbeheertoepassingen

Hoogtedetectie	
Type detectie	observatie/telling
Nauwkeurigheid	2~3%
Betrouwbaarheid	99%
Aggregatie in tijd	individueel
Aggregatie in ruimte	rijstrook
Dichtheid meetlocaties	vaste locaties

2.3.3 Statistische Verkeersmanagementtoepassingen

Statistische toepassingen maken gebruik van opgeslagen verkeersgegevens. Achteraf worden deze gegevens gebruikt door verschillende gebruikersgroepen. De belangrijkste statistische toepassingen zijn onder te verdelen in de volgende twee groepen:

- Beleid en statistiek
- Onderzoek

Beleid en statistiek

Op strategisch niveau wordt verkeersmonitoring toegepast voor beleidsdoeleinden. De informatie uit monitoringsgegevens wordt onder meer gebruikt voor:

- Verkennend onderzoek ter voorbereiding op het ontwikkelen van beleid (ex ante); aan de ontwikkeling van (verkeers)beleid gaat in het algemeen beleidsondersteunend onderzoek vooraf. Daarbij wordt de huidige situatie in beeld gebracht en de te verwachten problemen bij de toekomstige afwikkeling van de verkeersstromen. Op basis van die kennis maken beleidsmakers hun afwegingen en keuzes. Hoe beter zij geïnformeerd zijn, hoe beter beleid zij kunnen voeren.
- Het informeren van het bestuur over de recente verkeerssituatie; Verkeersmonitoringsgegevens kunnen worden gebruikt om het bestuur te informeren over recente ontwikkelingen in de verkeerssituatie. Daarnaast kunnen de verkeersgegevens (meestal statistische informatie) worden gebruikt om discussies over beleidsissues te rationaliseren.
- Evaluaties van het beleid (ex post); ex post evaluatie is de evaluatie van uitgevoerd beleid, ofwel het beoordelen van de inhoud, uitvoering, prestaties en effecten van het gevoerde beleid. Ex post beleidsevaluatie dient er primair toe om de effecten van uitgevoerd beleid vast te stellen en om deze te vergelijken met de oorspronkelijke doelstellingen van het beleid.
- Werk in uitvoering; voor een adequaat onderhoud van de wegen is het nuttig om de hoeveelheid verkeer en de samenstelling van het verkeer op de weg bij te houden. Ook kunnen de verkeersgegevens worden gebruikt om vooraf een beeld te vormen van de effecten van de wegwerkzaamheden op de verkeersafwikkeling. Zo kan er adequaat beleid worden opgesteld voor de periode waarin het werk in uitvoering is.

Bij de verwerking van de gegevens wordt meestal gebruik gemaakt van verkeersmodellen. Met behulp van de verkeersmodellen kunnen ruwe gegevens worden omgevormd tot informatie die bruikbaar is voor de verschillende doeleinden.

Belangrijke gegevens voor beleid en statistiek zijn:

1. Voertuigverliesuren
2. Voertuigverdeling (categorie)
3. 24-uurgemiddelden (intensiteit en snelheid)
4. Trajectsnelheden
5. Capaciteit
6. Verstoringen

Mogelijkheden videomonitoring

Als basis voor beleidsondersteunend onderzoek worden veelal uurcijfers gebruikt. Deze gegevens worden vaak gemiddeld over een langere periode dan een etmaal. Zo worden wel uurcijfers verstrekt, maar zijn deze gemiddeld over een hele maand. Deze informatie is minder gevoelig voor uitschieters en betrouwbaarder door controle en eventuele aanvullingen achteraf. Het gaat daarbij over het algemeen om langere wegvakken.

De voordelen van videomonitoring ten opzichte van de conventionele methoden zijn voor beleid en statistiek niet te vinden in het waarnemen van nieuwe verkeersgegevens, maar meer in het beter onderscheid maken binnen de benodigde gegevens. Met videobeelden zijn de voertuigklassen verder uit te splitsen. De voertuigverliesuren zijn beter vast te stellen bij een nauwkeurige vaststelling van de reistijden van voertuigen. Door niet alleen te tellen, maar ook te observeren wat tussen de tellocaties gebeurd is de reistijd nauwkeuriger te bepalen. Verder wordt het mogelijk om tijdens wegwerkzaamheden te detecteren, wat meer informatie geeft over de invloed van de werkzaamheden op de verkeersafwikkeling. En de aanleiding en het gevolg van verstoringen zijn beter in kaart te brengen voor bijvoorbeeld het verkeersveiligheidsbeleid.

Tabel 5 Eisen videomonitoring voor beleid en statistiek

Beleid & statistiek	
Type detectie	telling
Nauwkeurigheid	5%
Betrouwbaarheid	97%
Aggregatie in tijd	kwartier
Aggregatie in ruimte	rijbaan
Dichtheid meetlocaties	wegvakken

Onderzoek

Verkeersmonitoring wordt veel toegepast voor onderzoeksdoeleinden en voor het opstellen en calibreren van verkeersmodellen. Om een maatregel te kunnen sturen, of te kunnen regelen of om de weggebruiker te informeren is voorspelling noodzakelijk. Daarnaast is het van belang om bij nieuw in te voeren concepten (regelsenario's, ontwerpen etc.) de effecten hiervan te voorspellen.

Doordat verkeer een complex proces is met veel onderlinge afhankelijkheden en niet-lineariteiten zijn modellen noodzakelijk om het verkeer te voorspellen en te regelen.

Om zo goed mogelijk de werkelijkheid te kunnen voorspellen is inzicht nodig in een aantal verkeerskundige problemen:

- Fundamentele problemen in het gedrag van weggebruikers
- Problemen aan de input zijde van de modellen zoals Herkomst-Bestemming, routekeuze parameters, gedragsparameters.

Deze twee problemen kunnen voor een groot deel worden opgelost door middel van verkeersmonitoring. Met behulp van wetenschappelijk onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van gegevens van de verkeersstromen kan meer inzicht worden verkregen in het werkelijke gedrag van het verkeer en de effecten van verschillende situaties. De modellen kunnen hierop worden aangepast. Daarnaast kunnen de modellen beter worden gekalibreerd en gevalideerd, hiervoor zijn gegevens van de verkeersstromen nodig.

Benodigde verkeersgegevens kunnen zijn:

1. Herkomst en Bestemming Informatie
2. Volgfstand en Opvolgtijd

3. Acceleratie/Deceleratie
4. Rijstrookverdeling
5. Strookwisselgedrag
6. Voertuigspecificatie (Type en passagiers)

Mogelijkheden videomonitoring

Voor modellen is meestal het gebruik van intensiteiten per voertuigcategorie gebaseerd op minuutgegevens en de herkomst en bestemming van voertuigen een belangrijk uitgangspunt.

Voor het onderzoek naar het gedrag van bestuurders en de effectiviteit van maatregelen zijn vaak allerlei andere gegevens daarnaast interessant. In principe is alles wat met het oog waar te nemen is uiteindelijk ook waar te nemen met videobeelden. Dit betekent dat veel nieuw onderzoek mogelijk wordt.

Op dit moment moet er voor bepaalde onderzoeken speciale gegevens gedetecteerd worden. Hiervoor worden al vaak camera's toegepast. Te denken valt aan het gedrag van voertuigen ter hoogte van weefvakken. Wanneer er veel meer bekend is over hoe gereageerd wordt op bepaalde maatregelen kunnen de maatregelen nog beter afgestemd worden op de situatie of met extra gegevens de maatregelen verder verbeteren.

Voor dynamische modellen is het nuttig om veel informatie te hebben over het vervoersgedrag van mensen. Hoe meer er bekend is over de verplaatsingen, hoe beter het model in staat is om toekomstige situaties te voorspellen.

Tabel 6 Eisen videomonitoring voor onderzoek

	modellen	rijgedrag
Type detectie	telling & observatie	observatie
Nauwkeurigheid	5%	5%
Betrouwbaarheid	95%	95%
Aggregatie in tijd	minuut	individueel
Aggregatie in ruimte	rijbaan	rijstrook
Dichtheid meetlocaties	wegvakken	vaste locaties

3 Filestaartbeveiliging hoofdwegennet

Eén van de wegvak georiënteerde toepassingen is de AID, beter bekend als de filestaartbeveiliging. In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het doel en werking van de AID. Filestaartbeveiliging wordt in het vervolg van het onderzoek gebruikt om de meerwaarde van trajectoriemeetgegevens te onderzoeken. De toepassing kent nog een aantal probleempunten, waar mogelijk verbeteringen te behalen zijn met trajectoriedata. In hoofdstuk 6 worden een viertal nieuwe alternatieven voor de filestaartbeveiliging algoritmen opgesteld, die deze probleempunten moeten verminderen. De benodigde data voor het beoordelen van de alternatieven komt uit drie datasets (hoofdstuk 5).

Zowel in Nederland als in Zweden is filestaartbeveiliging één van de belangrijkste aangeboden DVM-maatregelen (*Remeijn, 1994*). Wanneer de voertuigsnelheden onder een bepaalde drempel komen, en dit voor een vooraf ingesteld aantal stroken gebeurt, wordt het verkeer met behulp van matrixsignaalgevers boven de snelweg gewaarschuwd. Het systeem heeft zich de afgelopen 25 jaar bewezen als een belangrijke factor voor de reductie van secundaire ongelukken. Het geeft daarnaast operators in de verkeerscentrale informatie over de filelocaties. Wanneer congestie ontstaat op een zeer ongebruikelijk traject is dit aanleiding om de oorzaak te onderzoeken. Hierdoor heeft het systeem een soort van incidentdetectie in zich.



Figuur 10 AID op de A13 in 1982 (Beeldbank RWS)

3.1 Historie AID

In de jaren '70 had Rijkswaterstaat de meet- en regeltechniek op autosnelwegen aardig onder de knie. Met behulp van de inductielussen kon men langskomende voertuigen detecteren. Dit betekende het begin van veel nieuwe verkeerskundige mogelijkheden. Een veelbelovende nieuwe toepassing was in die beginperiode het detecteren van incidenten, waardoor op een centraal punt maatregelen getroffen konden worden. Als een incident betrouwbaar en snel genoeg zou kunnen worden gedetecteerd, zou zelfs het aankomend verkeer automatisch voor het incident gewaarschuwd kunnen worden.

Met een dergelijke maatregel zouden kettingbotsingen voorkomen kunnen worden. Het systeem kreeg de naam closed loop AID mee, oftewel zonder tussenkomst van anderen wordt automatisch op het keer gereageerd. In Nederland mondde dit uit in de door RWS en Philips gezamenlijk ontwikkelde auto-snelwegsignalering.

Toen de signalering zo ver was om in gebruik genomen te worden waren uiteindelijk twee algoritme kandidaten gereed om in het onderstation opgenomen te worden: een eenvoudig algoritme dat de verkeers-toestand indeelde in een 2x2-tabel van snelheids- en intensiteitsklasse en een wat ingewikkelder algoritme dat reageerde op verschuivingen van verkeer naar andere rijstroken, zoals dat naar verwachting zou plaatsvinden als men om een incident moest heenrijden. Bij overschrijding van de grenswaarden trad in de centrale een zogenoemd 'AID-alarm' op, een tekstregel op het bedieningsscherm die aangaf waar de overschrijding had plaatsgevonden voorzien van wat aanvullende informatie ter beoordeling.

Al snel bleek dat de intensiteitswaarden geen meerwaarde voor het systeem opleverde en het systeem werd op dat moment alleen aan de hand van snelheden ingesteld. Het vertrouwen in het snelheidsalgoritme was voldoende om het closed loop³ te laten draaien. Het algoritme dat keek naar rijstrookverschuivingen gaf echter doorlopend valse alarmen af, die ook met strengere parameterinstellingen niet afdoende konden worden geweerd.

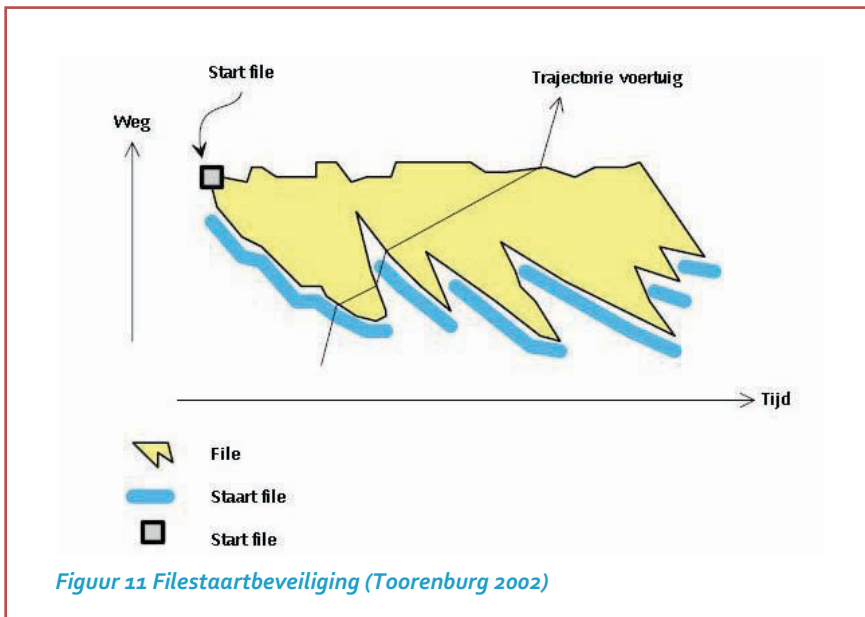
In de verstreken jaren zijn in het systeem maar kleine wijziging doorgevoerd. Al met al is in de laatste decennia weinig aan het AID systeem veranderd. De ambitie om met inductielussen ongevallen te detecteren is langzaam weggeëbd (*Toorenborg 2002*). AID kan men het beste omschrijven als "filestaartbeveiliging". Het algoritme op basis van rijstrookverschuivingen was al vrijwel direct uit de specificatie van het onderstation verdwenen. Opgemerkt moet worden dat de laatste jaren het onderzoek naar incidenten nieuw leven is ingeblazen door de opkomst van spitsstroken (blokkadedetector). De blokkadedetector maakt gebruik van intensiteiten.

3.2 Doel AID

Het primaire doel van het AID is het beveiligen van de filestaart. De doelstelling is om het aantal secundaire ongevallen in de file te verminderen met deze maatregel. Filestaartbeveiliging is het waarschuwen van aankomend vrij verkeer voor het naderen van congestie. Deze taak gaat door totdat het laatste restje file is verdwenen. Het systeem treedt ook in werking als er helemaal geen incident is gebeurd, maar bijvoorbeeld door capaciteitstekort een file is ontstaan.

In Figuur 11 is aangegeven wat het verschil is tussen de detectie van een incident of het beveiligen van een file. Bij incidentdetectie is alleen het punt waar de file start van belang. Het beveiligen van een file bestrijkt een veel groter gebied. Een goed AID-algoritme detecteert een file snel (binnen enkele seconden) en plaatst de beelden dusdanig boven de weg dat het aankomende verkeer zo snel mogelijk wordt gewaarschuwd. Vervolgens moet een betrouwbaar beeld boven de file getoond worden. Een AID dat valse meldingen geeft of continu aan- en uitgaat boezemt weinig vertrouwen in, waardoor de effectiviteit af-

³ zonder tussenkomst van een operator



neemt. Een afweging moet daarom worden gemaakt tussen keurigheid (snel de goede beelden sen) en heid (een stabiel systeem).

3.3 AID-algoritme

Het AID-algoritme werkt op basis van een vergelijking van de gemiddelde snelheid met een grenswaarde. De snelheid wordt per rijstrook berekend en getoetst. Komt de snelheid onder de grenswaarde (deze is ingesteld op 35 km/uur) dan zal het AID aangaan. Komt de snelheid weer boven een grenswaarde dan zal het AID weer uitgaan.

De snelheid voor de toetsing wordt berekend uit de rijtijden (AVV 2000), die door de inductielussen worden gemeten⁴. Om de invloed van foutmetingen te minimaliseren worden de rijtijden eerst gefilterd op te hoge (omgerekend >200 km/uur) en worden snelheden <18 km/uur opgehoogd naar 18 km/uur. De rijtijden die ven, worden vervolgens gebruikt voor de berekening van de afgevlakte rijtijd. De rijtijd wordt afgevlakt om fluctuaties in de snelheden te dempen. Incidentele uitschieters, door bijvoorbeeld meetfouten of één langzaam rijdend voertuig, kunnen het AID hierdoor niet aan of uit krijgen, zodat een stabiel beeld ontstaat. De afgevlakte rijtijd wordt vervolgens omgerekend

Formule afgevlakte rijtijd (P):

Als de gemeten rijtijd kleiner of gelijk is aan de huidige afgevlakte rijtijd:

$$P_{\text{nieuw}} = \alpha_{\text{acc}} * P_{\text{gemeten}} + (1 - \alpha_{\text{acc}}) * P_{\text{oud}}$$

Als de gemeten rijtijd groter is dan de huidige afgevlakte rijtijd:

$$P_{\text{nieuw}} = \alpha_{\text{dec}} * P_{\text{gemeten}} + (1 - \alpha_{\text{dec}}) * P_{\text{oud}}$$

Met voor de α 's:

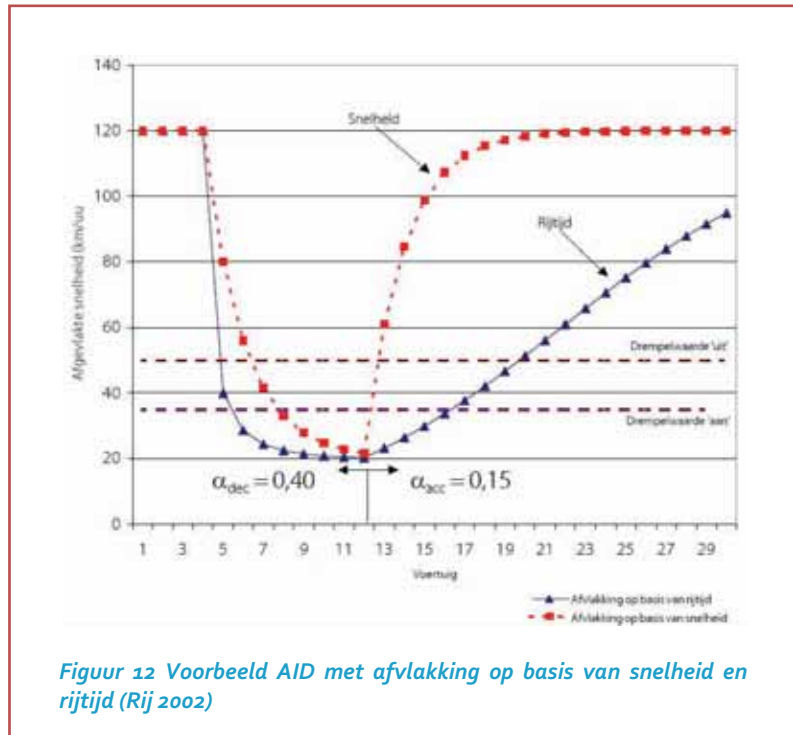
$$\alpha_{\text{acc}} = 0,15 \ \& \ \alpha_{\text{dec}} = 0,40$$

⁴ Relatie tussen rijtijd en snelheid: De rijtijd van een passerend voertuig die door middel van een inductieluspaar gemeten wordt komt overeen met de tijd die nodig is voor het afleggen van een afstand van 2,5 meter (= een lus van 1,5 m plus 1 m tussen de lussen van een luspaar). Een snelheid van 1 km/u komt derhalve overeen met een rijtijd van 9000 ms.



naar de snelheid. Deze snelheid is (bij de huidige instelling) pas geldig als er minimaal 12 correcte rijtijden zijn gemeten.

Door gebruik te maken van twee verschillende α_{acc} en α_{dec} kan de vloed van de gemeten rijtijd op de gemiddelde rijtijd bijzaam rijdend verkeer worden vergroot en bij snel rijdend verkeer worden verkleind. De snelheidsdaling wordt hierdoor minder afgevlakt dan een snelheidsstijging. Het AID zal door sneller reageren op een file indicatie en iets langer aanblijven, zodat te snelle beeldwisselingen worden voorkomen.



Figuur 12 Voorbeeld AID met afvlakking op basis van snelheid en rijtijd (Rij 2002)

De reden waarom bij het afvlakken wordt gerekend met rijtijden in plaats van snelheden is dat een afvlakking op basis van de rijtijd sneller en beter reageert op snelheidsverschillen (Rij 2002). Dit komt omdat in de formule voor het afvlakken een hoge waarde (de rijtijd in milliseconden) een grotere invloed op de uitkomst heeft dan een kleine waarde (de snelheid). In Figuur 12 is een voorbeeld opgenomen van een plotselinge verandering in de snelheid van 120 naar 30 km/uur en weer terug naar 120 km/uur, waarbij dezelfde snelheden worden afgevlakt. De afvlakking op basis van rijtijd reageert sneller op een daling van de snelheid en volgt deze dieper dan de afvlakking op basis van de snelheden. Bij het afvlakken met rijtijden zal bij het 6e voertuig de AID aangaan, en bij de afvlakking op basis van de snelheid pas bij het 8e voertuig. Ook blijft het AID langer aan bij het afvlakken met rijtijden.

De volgende stap is het classificeren van de snelheid op de verschillende rijstroken aan de hand van een onder- en bovengrens. Komt de afgevlakte snelheid onder de ondergrens (huidig = 35 km/uur) dan is er file op de betreffende rijstrook. De klassen in het huidige systeem staan in Tabel 7 gedefinieerd.

Tabel 7 Klassen AID

Klasse	Betekenis
X	Geen data
o	Geen file, snelheid > 50 km/h
D	"Doubtfull", snelheid tussen de 35 en 50 km/h
1	File, snelheid < 35 km/h

Voordat het beeld wordt ingetrokken moet de afgevlakte snelheid hoger zijn dan de bovengrens (huidig = 50 km/uur). Tussen de overgang van file naar filevrij is er een klasse D van 'doubtfull' (twijfelachtig). De klasse D wordt gebruikt als overgang tussen 'geen congestie' en 'congestie' en omgekeerd. Door gebruik te maken van een klasse D wordt voorkomen dat veel beeldwisselingen ontstaan.

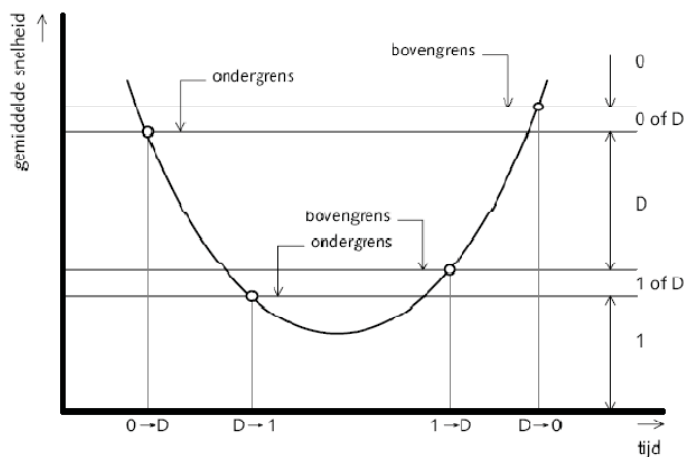
Bij de classificatie kan gebruik worden gemaakt van dubbele boven- en ondergrenzen (Figuur 13). De grenzen zijn aangegeven met bovengrens hoog en laag. De grens laag wordt bij een snelheidsdaling ge-

bruikt voor een overgang van de classificatie, en de grens hoog bij een snelheidsstijging. Het gebruik van de dubbele boven- en ondergrenzen is ook een middel om de stabiliteit te verhogen en te snelle beeldwisselingen te voorkomen.

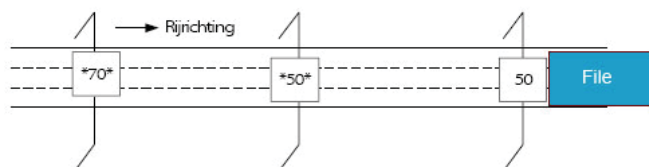
Of er een beeld boven de weg wordt getoond is afhankelijk van de combinatie van de classificaties over de rijstroken. De verschillende combinaties en de bijbehorende beelden zijn opgenomen in een actietabel (Tabel 8).

Tabel 8 Voorbeeld actietabel voor een driestroomsrijbaan

Klasse combinatie	Aanvraag
ooo	Geen maatregel
Doo	Geen verandering
DDo	Geen verandering
DDD	Geen verandering
100	[50]
1Do	[50]
1DD	[50]
110	[50]
11D	[50]
111	[50]



Figuur 13 Werking classificatie met dubbele boven- en ondergrenzen (Rij 2002)



Figuur 14 Plaatsing beelden op portalen (Rij 2002)

De plaatsing van de volledige maatregel gebeurt aan de hand van de volgende stappen:

- Op het portaal stroomopwaarts van het detectorstation waarop congestie is gedetecteerd wordt een [50] geplaatst;
- Afhankelijk van de situatie, bijvoorbeeld in tunnels) wordt de [50] een aantal keren gekopieerd naar stroomopwaarts gelegen portalen;
- Stroomopwaarts van de laatste [50] wordt een inleiding [70] geplaatst;
- Vervolgens worden er kruisrelaties tussen rijbanen aangebracht;
- Tot slot worden flashers (knipperende lampen naast de matrixborden) aan elk eerste [50] en [70] toegevoegd.

Het OS zorgt er vervolgens voor dat de volledige maatregel op de signaalgevers wordt geplaatst. Een maatregel kan ook rechtstreeks uit de verkeerscentrale komen, bijvoorbeeld door een operator.

De configuratie van de detector- en de onderstations is opgenomen in de database. In de database wordt aangegeven welke verkeersstromen kunnen worden onderscheiden en hoe de beelden boven de weg worden geplaatst.

3.4 Verbeterpunten AID

In een in 1998 uitgevoerd onderzoek naar het functioneren van de AID (*Rij 2002*) is uitgebreid gesproken met alle betrokkenen en is een toets in de vorm van een veldevaluatie uitgevoerd. Hieruit kwam naar voren dat de AID als filebeveiliger naar behoren werkt, in die zin dat in zeker 98% van de gevallen aankomend verkeer eerst een snelheidsbeeld ziet en pas dan in de file terechtkomt, terwijl het vrijwel nooit voorkomt dat de AID 'spontaan' aangaat, dat wil zeggen zonder dat er een verkeersverstoring aan ten grondslag ligt.

In een paar situaties laat het AID steken vallen. Dit heeft te maken met:

- Werkvakken waar de monitoring is uitgeschakeld en portalen die helemaal niet werken.
- Te laat waarschuwen, waardoor men eerst in de file terechtkomt en dan pas een snelheidsbeeld tegenkomt; zo'n fout kan fatale gevolgen hebben.
- File die maar niet onder de 35km/h uur komt, waardoor de AID niet aansprijgt.
- Compacte schokgolven die van tijd tot tijd voor de signalering "even uit het zicht verdwijnen" omdat de file net tussen twee meetpunten invalt: de maatregel wordt dan weggehaald maar de schokgolf is natuurlijk nog aanwezig.

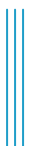
3.5 Onderzoekopzet filestaartbeveiliging

Om de filestaartbeveiliging in de toekomst te verbeteren wordt gekeken naar de mogelijkheden van het verkrijgen van extra gegevens met behulp van trajectmetingen. Individuele trajectoriën van voertuigen zijn schaars. Maar weinig datasets zijn direct beschikbaar. Het onderzoek wordt uitgevoerd met een drietal datasets. De TNO dataset bestrijkt een aantal uren en met behulp van deze dataset is meer te zeggen over het gedrag tijdens schokgolven. De andere twee datasets zijn kort en daarom meer geschikt om het moment van aangaan te evalueren.

In het onderzoek staat de meerwaarde van trajectoriën centraal. Zoals te lezen was in de verkeerskundige inleiding is het mogelijk om met een trajectmeting het ruimtegebruik af te leiden, maar ook de instantane snelheid. Daarnaast is de afgeleide van een trajectorie, de versnelling van een voertuig. Deze drie extra gegevens, ten opzichte van een puntmeting, plus een combinatie van de drie gegevens zijn het uitgangspunt voor de algoritmen. De volgende vier algoritmen worden beschouwd:

- Trajectnsnelheid
- Versnellingen
- Dichtheid op basis van ruimtegebruik
- Combinaties van de drie bovenstaande variabelen

De drie methoden worden geëvalueerd op basis van de resultaten die worden behaald ten opzichte van het huidige AID-mechanisme.



4 Videomonitoring

De vorige hoofdstukken gingen over de verschillende verkeermanagementtoepassingen. Hoofdstuk 4 gaat over de detector (videobeelden), die centraal staat in het onderzoek. Tegenwoordig zijn een aantal complete videomonitoringsystemen beschikbaar. De beschikbare systemen hebben veel overeenkomsten met elkaar. Een aantal van deze systemen zijn in onafhankelijke studies onderzocht op nauwkeurigheid en betrouwbaarheid. Ook zijn in ons eigen land en in het buitenland ervaringen opgedaan met monitoring via videobeelden.

Het automatisch generen van meetgegevens uit videobeelden is een moeilijk proces en is gevoelig voor veel wisselende factoren. Om tot een nauwkeurig en betrouwbaar monitoringsysteem te komen moet elke afzonderlijke component van een goede kwaliteit zijn. Het proces van installatie van de camera naar het volgen van voertuigen door het beeld wordt uitgebreid beschreven in het nu volgende hoofdstuk. Hierbij wordt ingegaan op de verschillende afzonderlijke algoritmen. Aandacht is er ook voor verdere verbeteringen van de systemen door training en datafusie.

Het automatisch verwerken van videobeelden is een belangrijk onderzoeksgebied in de wetenschap. Dit betekent dat de algoritmen voor het verwerken van beelden steeds verder verbeterd worden. In de toekomst wordt steeds meer mogelijk, zoals nieuwe toepassingen. De laatste paragraaf in het hoofdstuk gaat in op de nieuwe mogelijkheden van videomonitoring in de toekomst.

4.1 Stand van zaken

Sinds het eind van de jaren '70 wordt door enkele bedrijven veel onderzoek gedaan naar monitoring met behulp van videobeelden. Wereldwijd zijn tegenwoordig een klein aantal producenten actief op het gebied van verkeersmonitoring met behulp van videobeelden. De gebruikte technieken lijken vandaag de dag nog veel op een vervanging van de inductielus.

4.1.1 Basiscomponenten van VIP-systemen

De techniek om verkeersgegevens uit videobeelden te halen wordt veelal aangegeven met VIP (Video Image Processing). Een VIP-systeem heeft drie basiscomponenten: Input, beeldverwerking en output. De input verwijst naar de gegevensstroom van diverse videocamera's. De output is gewoonlijk een beeld dat een selectie van input en resultaten van het systeem toont. VIP-systemen analyseren de veranderingen tussen opeenvolgende videoframes. Voorbijkomende voertuigen laten pixels in een beeld veranderen. Aan de hand van deze veranderingen worden gegevens uit de voertuigpassages gehaald. Drie type VIP-systemen zijn te onderscheiden (*Martin, Feng en Wang, Detector Technology Evaluation 2003*):

- Tripline
- Closed loop tracking
- Data association tracking

De Tripline systemen zijn een functionele vervanging van de conventionele inductielus. Tripline laat de gebruiker een aantal opsporingsgebieden bepalen in het videobeeld en meet daarbinnen veranderingen in pixels, die door passerende voertuigen worden veroorzaakt. De opsporingsgebieden zijn als het ware virtuele lussen. De virtuele lussen moeten tijdens de configuratie in het beeld aangebracht worden. Closed loop systemen zijn een uitbreiding op de tripline benadering. In zoverre dat de opsporing van voertuigen langs langere trajecten kan worden uitgevoerd. Het systeem volgt onophoudelijk voertuigen door het



camerabeeld. Een voertuig wordt meerdere malen gedetecteerd. Data association trackingsystemen detecteren de voertuigen ook meerdere malen op een traject, maar doen dit op basis van pixeleigenschappen. Clusters van pixels worden in het beeld gezocht en met deze informatie worden de unieke voertuigen herkend.

4.1.2 VIP-productenoverzicht

In de jaren '70 van de vorige eeuw is het onderzoek naar de mogelijkheden van videomonitoring voor verkeerstoepassingen gestart. Dit heeft geleid tot een handvol firma's, die videomonitoringapparatuur produceren en verkopen. De toepassingsgebieden van de fabrikanten lijken veel op elkaar. Elke producent biedt systemen aan die geschikt zijn voor toepassingen op snelwegen, tunnels of in het stedelijk gebied. De producten voor het stedelijk gebied zijn vooral gericht op monitoring voor het regelen van kruispunten. Op snelwegen en in tunnels worden producten geleverd, die geschikt zijn om verkeerskundige parameters te verzamelen of ongevallen en ander vreemd voertuiggedrag te detecteren. Per fabrikant zijn meestal twee opties mogelijk. Ten eerste een beeldbewerkskaart, die geplaatst wordt in een wegkantstation of andere ruimte, waarop een losse camera aangesloten wordt. Of men heeft de keus uit een camera met daarin de verwerkingsmodules geïntegreerd. Op dit moment zijn de volgende complete systemen op de markt. Autoscope (87), dat onderdeel is van Image Sensing Systems Inc, verkoopt hun producten onder de naam Terra⁵. De productlijn is beschikbaar in de Solo uitvoering of Rackvision. Autoscope is in meer dan 55 landen actief. De Nederlandse distributeur voor de Autoscope producten is TEC Traffic Systems (98) uit Nieuwegein. Citilog (89) is een Franse firma en brengt hun producten uit onder de naam VisioPad. VisioPad is niet beschikbaar in een geïntegreerde uitvoering. Het Belgische Traficon (102) richt zich geheel op het ontwikkelen en produceren van voertuigmonitoringapparatuur met behulp van videobeelden en is wereldwijd actief. Traficon heeft de VIP en TrafiCam als belangrijkste producten. Vantage is de naam voor de producten van het Amerikaanse Iteris (93). In Nederland is de distributeur Traffic Development and



Figuur 15 Autoscope Terra producten (Boven Rackvision beneden Solo)

⁵ Naam van de nieuwe productenserie vanaf 2007

Innovation B.V. (101) uit Oosterhout. PEEK (97) levert producten onder de naam VideoTrak. Omdat PEEK het niet voor elkaar kreeg om nauwkeurige algoritmen te maken heeft men de hulp van het Belgische Traficon (102) ingeroepen en zijn de algoritmen van Traficon op dit moment in de PEEK producten te vinden.

Tabel 9 Producenten en producten

Producent	Productnaam Losse componenten	Productnaam Geïntegreerde camera
Autoscope	Terra Rackvision	Terra Solo
Citilog	VisioPad	-
Traficon	VIP	TrafiCam
Iteris	Vantage	Vantage
PEEK	VideoTrak	-

Autoscope heeft een beeldbewerkingprocessor en een communicatie interface in hun producten. Het systeem is in staat om meerdere stroken en meerdere detectiegebieden te verwerken. Autoscope is in staat om voertuigen te herkennen, verkeersgegevens te verzamelen en te gebruiken voor incidentdetectie. Te detecteren variabelen zijn: aanwezigheid, intensiteit, bezetting, dichtheid, snelheid en voertuigclassificatie. Citilog beweert dat VisioPad het enige systeem is, dat niet geconfigureerd hoeft te worden. Het systeem is zelf in staat om alle parameters in te stellen. Met VisioPad is het mogelijk om beelden direct op een hardeschijf op te slaan. Nadeel van dergelijke bewegende onderdelen is, dat het systeem een korte levensduur heeft. De Traficon VIP is een complete verwerkingsmodule met embedded software. Op het beeld worden lijnen aangebracht waarop voertuigen gedetecteerd worden. De kaarten kunnen gegroepeerd worden in racksystemen. De variabelen snelheid, intensiteit en bezetting zijn te verzamelen. Ook zijn kaarten beschikbaar met incidentdetectiesoftware. De TrafiCam is vooral geschikt voor de monitoring bij VRI's. Vantage is enigszins aangepast aan het toezicht en de controle van gesignaleerde kruisingen (het ontdekt voertuigaanwezigheid). VideoTrak is in staat om 32 detectiegebieden te detecteren en het is mogelijk om gegevens van inductielussen te integreren in het systeem.

4.1.3 Ervaringen gebruik van videobeelden voor monitoring

In Nederland is nog weinig ervaring opgedaan met videomonitoring. De systemen worden maar sporadisch toegepast en meestal alleen op plaatsen waar lussen niet goed werken of voor beveiliging in tunnels. Wel zijn door AVV al testen met de systemen uitgevoerd. Wereldwijd wordt meer met videomonitoring gedaan. Rond een aantal steden zijn camera's de belangrijkste informatiebron voor het verzamelen van verkeersgegevens. Daarnaast zijn een aantal studies gedaan naar de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de verschillende systemen.

Ervaringen gebruik VIP

In 2003 heeft AVV het Autoscope Solo Pro systeem en de Traficon VIP getest op het Nederlandse HWN (Bergen 2003). De conclusies van deze tussenrapportage waren niet overweldigend. Het Autoscope systeem vertoonde in eerste instantie teveel afwijkingen (circa 14%) om als alternatief voor lusedetectie te dienen. Correcties zouden het systeem eventueel nog verbeteren. De analyse van de meetgegevens van de Traficon VIP liet fouten oplopend tot 17% zien. De fabrikant heeft wijzigingen aangebracht, maar die zijn door technische problemen niet verder geanalyseerd. Uit de eerste testresultaten bleek dat de lijnverlichting onvoldoende licht leverde om 's nachts correcte lengtemetingen van voertuigen te doen. Aangezien dit een eis is aan de monitoring in Nederland moet hiervoor nog een oplossing gezocht worden.





Figuur 16 Traficon producten (Links VIP, rechts TrafiCam)

De constructie van de ringweg rond Antwerpen bestaat uit gewapend beton. Door de wapening worden de inductielussen gestoord, waardoor deze monitoringmethode onmogelijk is geworden. Monitoring vindt daarom plaats met behulp van videocamera's. Tijdens een bezoek aan het verkeerscentrum in Antwerpen is uitgebreid kennis gemaakt met het monitoringsysteem. Men gebruikt voor de verwerking de Traficon VIP. Langs het traject hangen in lichtmasten op zo'n 18 meter hoogte camera's. Het doel is het meten van verkeersgegevens en de detectie van incidenten. Door gebruik te maken van AID-camera's zijn de verkeersgegevens niet altijd even betrouwbaar. Vooral wanneer de drukte op de weg toeneemt ontstaan problemen met occlusie. Het gevolg is dat de bezetting snel oploopt naar 100%. Incidenten worden met het systeem snel gedetecteerd. Een stilstaande vrachtwagen op de vluchtstrook wordt in enkele seconden geregistreerd en getoond op één van de schermen in de verkeerscentrale.

Ervaringen vanuit de literatuur

Verscheidene evaluaties van de VIP-systemen zijn in de literatuur beschikbaar. Wel moet opgemerkt worden dat de technieken in rap tempo veranderen. Door computers met meer rekenkracht worden de beeldverwerkingalgoritmen steeds krachtiger en daarmee neemt de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de gegevens verder toe.

In een studie van MNDOT (*MNDOT 2002*) wordt de nauwkeurigheid van intensiteiten en snelheden met Traficon en Autoscope producten onderzocht. De systemen werden getest op verschillende locaties met verschillende installatiemethoden, omdat de kwaliteit van de gegevens afhankelijk is van de montagehoogte. Per rijstrook treden ook verschillen op, omdat meestal de camera's langs de wegwijk worden geplaatst in plaats van op portalen boven de weg. Traficon presteerde beter buiten de spits dan tijdens spitsperiodes. De fout lag bij de intensiteiten tussen de 5% en 10%. De opsporingsfout van de snelheid was 8% tot 12%. Bij Autoscope lag de fout bij de intensiteiten tussen de 3% en 10% voor de meeste installatiehoogten, en lager dan 6% in de meeste gevallen voor snelheid.

Martin (*Martin, Feng en Wang, Detector Technology Evaluation 2003*) (*Martin, Evaluation of UDOT's Video Detection Systems: System's Performance in Various Test Conditions 2004*) evalueerde de prestaties van Autoscope, Traficon, Iteris en PEEK VIP-systemen. Traficon behaalde de beste resultaten met een detectie van 96,4% van de voertuigen. Autoscope detecteerde 92% van de voertuigen correct. Iteris en PEEK behaalde respectievelijk 85% en 75,8% correcte metingen.



Figuur 17 Producten Iteris Vantage (links) & Peek VideoTrak (rechts)

Middelton en Parker (*Middleton en Parker, Initial Evaluation of Selected Detectors to Replace Inductive Loops on Freeway 2000*) testte Peek ADR-6000, Autoscope Solo Pro, Iteris Vantage, 3M Microloops en EIS RTMS op het snelwegproefvak van de Texas Transportation Institute. Alleen de tweede en derde zijn VIP systemen. Prestaties van voertuigclassificatie, snelheid, intensiteiten en bezettingen werden onderzocht. De gemiddelde fout in de intensiteit bedroeg bij Autoscope minder dan 5% totdat de snelheid onder de 64 km/h kwam. Op dat moment steeg de fout tot tussen de 10 en 25%. De snelheidsmeting met Autoscope verschilde gemiddeld 5 km/h met de geijkte snelheid. En de gemeten bezetting verschilde 3,9% met de inductielussen. Van het Vantage systeem lag de gemiddelde intensiteit fout op 7%. De nauwkeurigheid van de snelheid zat tussen de 3,6 en 8 km/h. En de bezetting gaf een verschil van 8,1% met de inductielussen.

Middleton en Parker (*Middleton en Parker, Evaluation of Promising Vehicle Detection Systems, Research Report 2002*) testte in een ander onderzoek de nauwkeurigheid van 3M Microloops, SmarTek, SAS-1 en Peek VideoTrak 900. Alleen de laatste is een VIP-systeem. De nauwkeurigheid van de intensiteiten verslechterde aanzienlijk in het donker. Ook nat weer beïnvloedde de metingen negatief. Onder normale omstandigheden was de fout 10% en liep op tijdens nat weer naar 15%. De snelheid werd 2,2 km/h overschat met een standaard deviatie van 11,1 km/h. De snelheidsmetingen verslechterde ook tijdens donkere omstandigheden.

4.2 Opbouw videobeelden

Met de term video wordt een continue chronologische stroom van losse beelden bedoeld. Een typische videostroom bestaat uit 25 tot 30 beelden per seconde. Een video kan gezien worden als het laten voortbewegen van 2D-beelden van de werkelijkheid over een tijd.

4.2.1 Pixels

Elk beeld is opgebouwd uit honderdduizenden elementen, de zogenaamde pixels. Elk met een eigen kleur en helderheid. Kleurenpixels zijn samengesteld uit meerdere subpixels. De kleur van een pixel wordt voorgesteld door een vector, typisch bestaande uit een rode, groene en blauwe kleurcomponent (de rgb-kleurruimte).

In een monochroom beeld heeft elke pixel zijn eigen helderheid. Nul betekend normaal gesproken zwart en de maximale waarde komt overeen met wit. Bijvoorbeeld in een 8-bit beeld komt wit overeen met 255. In een kleurenbeeld heeft elke pixel zijn eigen kleur en eigen helderheid, maar bestaat de kleur meestal uit een trio subpixels. Voor kleur wordt gebruik gemaakt van 16 of 24 bits per pixel.

4.2.2 Resolutie

Het maximaal aantal pixels dat in een beeld beschikbaar is wordt uitgedrukt in de resolutie. Verschillende resolutiewaarden worden gebruikt voor digitale beelden. Het is belangrijk om op te merken dat een hoger resolutieformaat niet betekent dat de afbeelding fysiek groter wordt. Een hoger resolutie formaat, op dezelfde monitor als een lagere resolutie, geeft een hoger PPCM (Pixels per CentiMeter) dichtheid. Door het hoge aantal pixels neemt het detail in het beeld toe. De benodigde verwerking- en opslagcapaciteit neemt echter met dezelfde verhouding toe. Naast de beperkingen van de opslagcapaciteit bij een hogere resolutie speelt het verwerken van de beelden een rol. Een hoger aantal pixels neemt meer tijd in beslag voor de verwerking. Dit speelt mee in de prijs voor de benodigde hard- en software.

Een veelgebruikte resolutie voor digitale videobeelden bij video surveillance is het 4CIF (Quadruple Common Intermediate Format). Dit formaat vertegenwoordigt een datastroom van 30 fps (frames per second), met elk frame opgebouwd uit 576 lijnen met 704 pixels (PAL) per lijn (109).

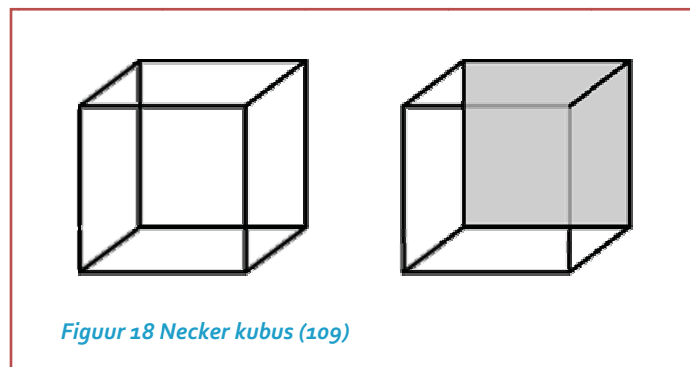
4.3 Raamwerk beeldverwerking

Een compleet videomonitoringsysteem bestaat uit verschillende componenten. Het komen van losse componenten naar een werkend systeem is een moeilijk proces. Elke afzonderlijke component moet van een goede kwaliteit zijn en deze afzonderlijke componenten moeten een nauwkeurig en robuust systeem opleveren. Dit betekent dat het systeem zich makkelijk aan veranderende omstandigheden moet aanpassen. Hiervoor is kennis nodig over de techniek achter de te nemen stappen, onderverdeeld in afzonderlijke algoritmen.

Om een systeem succesvol te laten werken is een goede communicatie tussen de stappen vereist. Feedback zorgt voor het zelf updaten van modellen en het aanpassen van de parameters in de algoritmen.

4.3.1 Dimensies in beeldverwerking

Bij het analyseren van videobeelden wordt gebruik gemaakt van vier dimensies (2D, 2 ½D, 3D, 3½D) (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003). In de eerste plaats is natuurlijk elk frame een 2D-weergave van de werkelijkheid op een bepaald tijdstip. Alleen betekent dit niet dat de inverse van deze weergave terug te herleiden is naar een 3D-beeld. Om de werkelijkheid te reconstrueren uit een 2D-beeld doen zich twee problemen voor. Ten eerste het probleem van de Necker-kubus⁶. Soms kan een beeld zodanig gestructureerd worden dat figuur en achtergrond elkaar afwisselen. Het grijze vlak in de rechter kubus van Figuur 18 kan ofwel gezien worden als grondvlak of als bovenzvlak, maar nooit zijn de twee structuren gelijktijdig moge-



⁶ De Necker-kubus is genoemd naar de Zwitserse kristallograaf Louis Necker, die er in 1832 voor het eerst afbeeldingen van publiceerde.

lijk. De perspectiefwerking is in een dergelijk geval ambigu. Het tweede probleem is occlusie. Twee losse objecten overlappen elkaar zodat één object verdwijnt of maar voor een gedeelte zichtbaar is (Figuur 19). Dit kan ook het gevolg zijn van een slagschaduw. Een reconstructie van het 3D-beeld is onmogelijk worden. In Figuur 19 verdwijnen bijvoorbeeld continue voertuigen achter de lichtmasten. Omdat een exacte reconstructie van het 3D-beeld niet meer mogelijk is wordt gesproken van $2\frac{1}{2}$ D-reconstructie⁷.

Wanneer het toch gewenst is om een zo exact mogelijke reconstructie van de werkelijkheid te krijgen, moet gewerkt worden met modellen van de objecten. De eigenschappen van het model moeten matchen met het object op de 2D-afbeelding. Hierna kan met het model het 3D-beeld gereconstrueerd worden. Als het geconstrueerde 3D-beeld over de tijd gevolgd wordt, is sprake van een $3\frac{1}{2}$ D-beeld.

4.3.2 Installatie camera

Het installatieproces van een camera is de belangrijkste factor voor het nauwkeurig detecteren van verkeersparameters. Fouten in het videobeeld zijn nooit meer softwarematig te herstellen. Allereerst wordt de kwaliteit van het beeld bepaald door het type camera. Moderne camera's zijn normaal gesproken allemaal in staat om beelden met een goede kwaliteit voor de daaropvolgende verwerking te leveren (*Interview Traficon*). Op locaties met openbare verlichting betekent dat, zowel in dag- als in nachtomstandigheden, voertuigeneigenschappen op het beeld herkend worden. Indien geen openbare verlichting aanwezig is worden voertuigen 's nachts herkend aan de koplampen (*Cucchiara, Piccardi en Mello 2000*) (*Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005*). Hierdoor gaan veel voertuigeigenschappen verloren en is het alleen mogelijk om aan de hand van de stand van de koplampen een grove inschatting te maken van het voertuigtype. Met een aantal gestandaardiseerde testen is het mogelijk om de kwaliteit van een camera in een testruimte te bepalen.

Wanneer het type camera is gekozen wordt overgaan tot de daadwerkelijke plaatsing. De plaatsing van een camera is afhankelijk van de toepassing, waarvoor de camera wordt gebruikt. Voor het detecteren



Figuur 19 Beeld met occlusie

⁷ David Marr

van ongevallen is een hoog standpunt met voldoende zicht over het gehele traject gewenst. Plaatsing is dan mogelijk bovenin lichtmasten op 15 tot 20 meter hoogte. Indien een camera gebruikt wordt voor het doen van tellingen is de ideale positie op een portaal (ongeveer 6 meter hoog) boven de weg. Op een mast in de wegwijk is mogelijk, maar levert occlusie op. Occlusie is tot op zekere hoogte met behulp van software te verhelpen, maar op het moment dat een voertuig compleet achter een ander voertuig verdwijnt is detectie onmogelijk. Het lager plaatsen van een camera wordt niet aangeraden vanwege opstuiwend vuil en water, die de lens vies maken (Martin, *Evaluation of UDOT's Video Detection Systems: System's Performance in Various Test Conditions 2004*). Andere belangrijke aandachtspunten zijn dat de horizon niet in beeld mag komen in verband met eventuele zonlichtinval, voertuigen het beste vanaf de voorkant gedetecteerd worden en de camerahoek bij 45 graden naar beneden ideaal is (Interview Traficon).

4.3.3 Wisselende omstandigheden

Beelden vanuit een 'beschermd' omgeving, bijvoorbeeld een tunnel, zijn makkelijker te verwerken. Doordat continue kunstlicht wordt gebruikt en de weersomstandigheden gelijk blijven, spelen voor de beeldkwaliteit minder factoren een rol. In een opstelling buiten zijn echter veel factoren aanwezig, die plotseling de kwaliteit van het beeld verstoren. Een systeem moet zich makkelijk aanpassen aan de wijzigende omstandigheden zonder dat de kwaliteit van de beelden achteruit gaat. Verschillende oorzaken zijn aan te wijzen waardoor de detectieomstandigheden plotseling wijzigen (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005) (Wixson 1996) (Hsieh, et al. 2006):

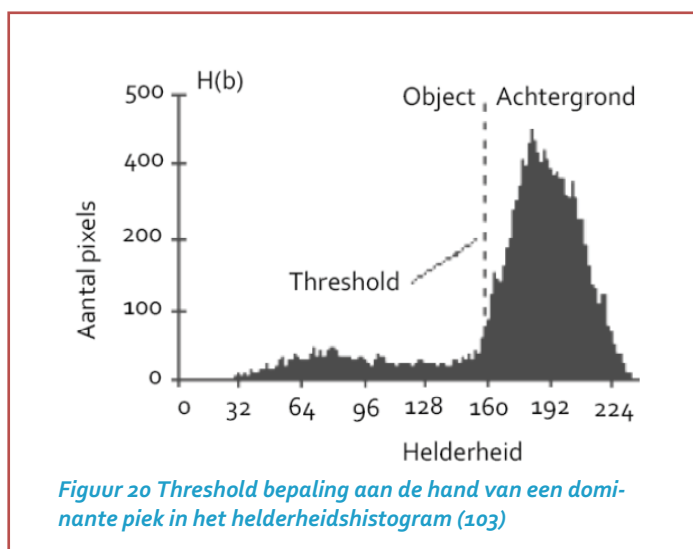
- Overgang van dag naar nacht; Het beeld van een omgeving in de nacht is anders als dezelfde omgeving overdag.
- Lichtintensiteiten; Door veranderingen in de lichtintensiteit (bijvoorbeeld een overdrijvende wolk of schaduw) veranderen de achtergrondkleuren. De verandering van de achtergrond zou gezien kunnen worden als een bewegend object.
- Het camerastandpunt; Vogels, wind, aanrijdingen en dergelijke kunnen het camerastandpunt veranderen.
- Detectiedoelstellingen; Bij het gebruik van een camera voor andere applicaties is het mogelijk dat andere verkeersgegevens nodig zijn.
- Neerslag; Neerslag zorgt voor een beweging op het beeld en in geval van sneeuw voor grote veranderingen op de rijbaan.

4.3.4 Basistechnieken beeldverwerking

Beelden vanuit de camera komen analoog of digitaal bij een verwerkingsunit aan. De eerste stap is het omzetten van de beelden naar een matrix met daarin alle waarden van de afzonderlijke pixels. Per beeld wordt van elke pixel de helderheid bepaald. Bij een 8 bit pixel liggen de waarden tussen de 0 en 255 in. Met behulp van deze matrix worden de beelden verder verwerkt. Tal van beeldverwerkingalgoritmen zijn de afgelopen decennia ontwikkeld. In deze algoritmen komen een aantal ondersteunende technieken steeds weer terug.

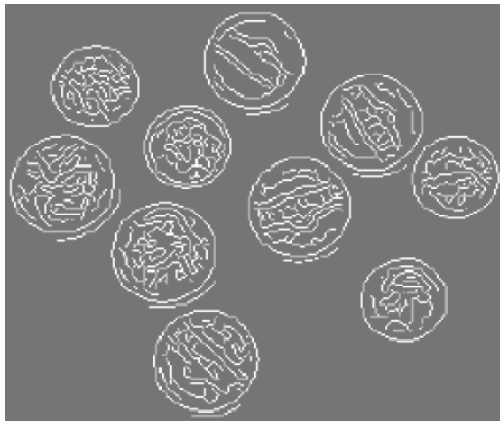
Threshold

Threshold ('drempel') is één van de simpelste manieren om objecten in



Figuur 20 Threshold bepaling aan de hand van een dominante piek in het helderheidshistogram (103)

beelden te onderscheiden. (Kiratiratanapruk, Dubey en Siddhichai 2005) (Maintz 2006) (103) De techniek is gebaseerd op het feit dat voertuigen een andere kleurintensiteit hebben in vergelijking met de achtergrond (asfalt). Niet alleen voertuigen, maar ook de rijbaanelementen zijn met deze techniek te ren. Veel voorkomende waarden voor de helderheid in een beeld komen overeen met de achtergrond en de overige waarden met de voorgrond. Afhankelijk van het type thresholdalgoritme wordt de drempelwaarde bepaald. Het is mogelijk om deze drempelwaarde iteratief te bepalen, aan de hand van een dominante piek in het helderheidshistogram (zie Figuur 20) of zelfs voor elke pixel afzonderlijk. De drempelwaarde deelt de pixels in twee groepen, respectievelijk wel of geen achtergrondpixel.



Figuur 21 Edge detection van een aantal munten (<http://www.mathworks.com>)

Edge detection

Tussen een object en de achtergrond bevindt zich een rand. Randen zijn daarom een goede indicatie voor het onderscheiden van diverse objecten. De edge detectionmethode zoekt naar randen in het beeld (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005) (Kiratiratanapruk, Dubey en Siddhichai 2005) (Lin, Tai en Song 2003) (Song en Tai 2006) (Wang en Chen 2005) (Catudal, Cantin en Savaria 2005) (91). Randen in een beeld den gekenmerkt door discontinuïteiten in de kleurintensiteit van een beeld. Een rand is een overgang van een licht stukje beeld naar een donker stukje beeld. De overgangen tussen licht

en donker worden in de edge detectionalgoritmen vaak opgespoord door een groep pixels (bijvoorbeeld 3x3) te analyseren. Edge detection in combinatie met een thresholdtechniek levert over het algemeen betere resultaten op.

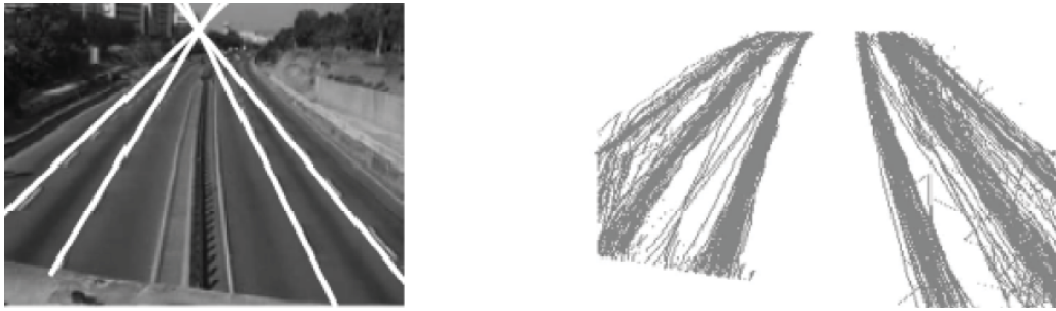
Hough Transformatie

Het vinden van de randen alleen is onvoldoende. De afzonderlijke punten moeten worden samengevoegd tot lijnen. Hiervoor is de Hough Transformatie geïntroduceerd. Met deze methode worden vormen in een beeld opgespoord aan de hand van de eigenschappen. Omdat deze eigenschappen gespecificeerd moeten worden in het algoritme, worden meestal regelmatige krommen opgespoord, zoals lijnen, cirkels, ellipsen enzovoort. Voertuigen zijn vaak op te bouwen uit deze elementen en zijn daardoor in het beeld op te sporen via deze methode. Voordeel van deze techniek is dat het niet gevoelig is voor hiaten in de objectgrenzen en voor ruis in het beeld.

Pyramid, tree en scale space methoden

Een zeer verfijnd algoritme eist meestal veel reken capaciteit. Bij real-timesystemen moet zuinig met de reken capaciteit omgesprongen worden. Pyramid-, tree- en scale spacemethoden proberen zo efficiënt mogelijk om te gaan met de reken capaciteit. Dit wordt bereikt door het werken van grof naar fijn. Het beeld wordt grofweg in regio's ingedeeld waar veranderingen optreden op basis van een selectie van de pixels. Bij de volgende stap wordt dit herhaald, ditmaal alleen voor de regio's. De positie van het te detecteren object wordt met een aantal stappen geïsoleerd en wordt daarna met een verfijnde methode gedetecteerd.





Figuur 22 Rijbaanelementen herkennen door een Road Marking Analysis Model (links) en een activiteitenkaart (rechts) (Hsieh, et al. 2006)

Mathematische morfologie

Mathematische morfologie onderzoekt de geometrische structuur van een beeld door het met kleine patronen te onderzoeken, de zogenaamde structuur elementen van variërende grootte en vorm. Voor het onderzoeken van het beeld zijn verschillende methoden beschikbaar. De algoritmen die op basis van een interpolatie werken behalen de beste resultaten. Nadeel van een iteratief proces is de lange rekentijd (Ledda 2007). De methoden zijn met name te gebruiken voor de verwerking van zwart-witbeelden en hebben vaak technieken voor edge detection, ruisonderdrukking en beeldverbetering in zich. De theorie van mathematische morfologie steunt op twee belangrijke beeldverwerkingsoperatoren: dilatacie en erosie. (Fisher, Perkins en Wolfart 2003). Het beeld wordt omgezet naar een één-pixel-dik skelet, dat de vorm van het object behoudt. Een dergelijk skelet is voor herkenning voldoende en een dergelijk skelet is minder rekenintensief voor latere verwerking. Kenmerkend aan de techniek is dat de vorm van de objecten grotendeels behouden blijft. Dit maakt de methode uitermate geschikt voor toepassingen waar vormen een belangrijke rol spelen.

Samenvattend

De genoemde basistechnieken zijn essentieel voor het herkennen van voertuigen in videobeelden. De technieken zijn terug te vinden in veel algoritmen. Thresholding en edge detection zijn twee technieken, die weinig reken capaciteit vergen. Thresholding werkt beter in combinatie met andere technieken, zoals edge detection. Een combinatie van beide geeft goede resultaten.

De rekensnelheid van de algoritmen is verder te verbeteren met de pyramid-, tree- en scale spacemethoden. Hoe meer pixels verwerkt moeten worden, hoe meer reken capaciteit nodig is. Het isoleren van belangrijke regio's versnelt het rekenproces.

De Hough transformatie is geschikt voor voertuigherkenning, omdat voertuigen op te bouwen zijn uit lijnelementen. Met mathematische morfologie zijn de vormen beter te herkennen en levert skeletten op van objecten, die in de opvolgende stappen veel sneller verwerkt kunnen worden. Bij het gebruik van een iteratieve mathematische morfologie methode gaat een gedeelte van het voordeel verloren, omdat veel reken capaciteit nodig is voor een iteratief proces (Ledda 2007).

4.3.5 Herkennen van rijbaanelementen

Op het moment dat de camera is geïnstalleerd moet het detectiegebied aangegeven worden. Voor de nauwkeurig detectie van verkeersparameters moet het systeem de verhoudingen weten tussen de afstanden op de grond en die op het videobeeld. Daarnaast zijn soms gedeelten in beeld, die niet behoren tot de rijbaan en daarom niet meegenomen hoeven te worden in het detectiegebied. Het inperken van het detectiegebied betekent een afname van de te analyseren pixels en vermindert daardoor de benodigde reken capaciteit voor de vervolgstappen.

De instellingen van het systeem worden in veel gevallen handmatig aangebracht. Per camera nemen de instellingen minimaal twee minuten in beslag. Een gedeelte hiervan is door middel van software over te nemen. Een aantal methoden zijn bekend om automatisch stroken te herkennen (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005) (Hsieh, et al. 2006) (Song en Tai 2006) (Beymer, et al. 1997). Belangrijke wegkarakteristieken, die helpen bij het herkennen van de stroken zijn het visuele verschil van de weg met zijn omgeving, het in een bepaalde richting en positie voortbewegen van voertuigen over een strook en de markeringen met een vaste lengte, die de stroken van elkaar scheiden.

4.3.6 Detectie en segmentatie van objecten

Het detecteren van bewegende objecten en het onderscheid maken tussen de achtergrond en de objecten (segmentatie) is een belangrijke stap in een videomonitoringsysteem. Fouten die in dit gedeelte worden gemaakt zijn in een latere fase moeilijk te corrigeren.

Op voorhand is al een belangrijk onderscheid te maken tussen de algoritmen. Zijn de algoritmen in staat bewegende beelden te verwerken? Slechts enkele algoritmen kunnen dat. In de meeste gevallen worden beelden over de tijd-as vergeleken. Uitgangspunt is dan dat het camerastandpunt statisch is, of dat de beweging gecorrigeerd wordt.

Technieken voor detectie en segmentatie kunnen in de onderstaande beschreven vier groepen worden ingedeeld. Met uitzondering van de eerste groep hebben alle algoritmen een statisch camerastandpunt nodig.



Figuur 23 Voorbeeld Optical Flowveld (McCane, et al. 2001)

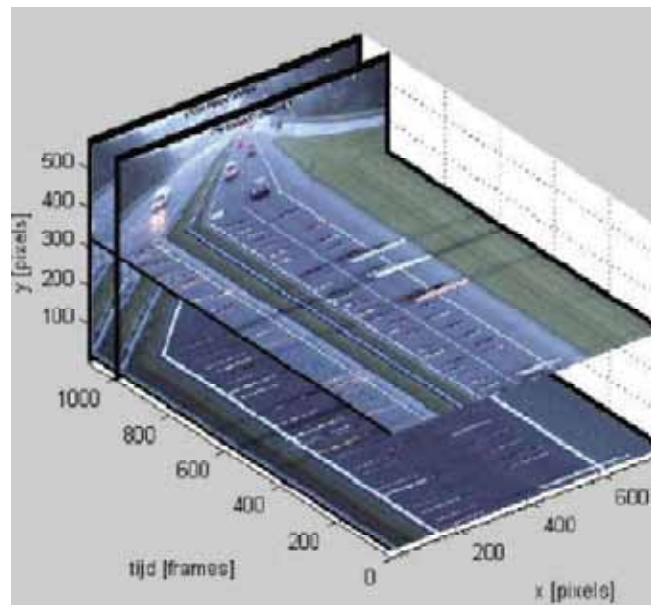
Optical Flow

Wanneer we lopen of ons hoofd draaien beweegt de wereld in ons blikveld. Dit is de basis voor de optical flowtechniek (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Cucchiara, Piccardi en Mello 2000) (Kumar, et al. 2005)(Yi, et al. 2006) (Beauchemin en Barron 1995) (McCane, et al. 2001). Optical flow wordt voorgesteld als een 2D-snelheidsgebied, die de beweging in een beeld beschrijft. De bewegingen ontstaan door objecten die door het beeld voortbewegen of het bewegen van de camera zelf. In de eenvoudigste methoden volgt optical flow een pixel van het ene beeld naar het andere beeld. Het resultaat is een vector voor elke pixel in het beeld. Met behulp van deze vectoren wordt een verdere beeldverwerking toegepast en zijn vormen en voorwerpen te detecteren in een beeld.

De optical flowmethoden worden, naast de detectie en segmentatie van objecten, ook voor trackingalgoritmen toegepast.

Space-time continuity

Door voor een bepaalde periode alle beelden achter elkaar te zetten ontstaat een 3D-xyt-ruimte (TNO Industrie en Techniek 2006). Het is mogelijk om 'slices' uit deze ruimte te snijden. Door de slices met elkaar te vergelijken zijn objecten te detecteren. In een later stadium zijn aan de hand van deze 'slices', parameters vast te stellen. Bijvoorbeeld de positiebepaling van voertuigen. Door op verschillende waarden van y , een xt -slice te maken zijn afzonderlijke voertuigen te volgen door het videobeeld (Figuur 24). Daarnaast kunnen bewegingen van voertuigen goed nagegaan en geanalyseerd worden. Groot nadeel is echter dat het algoritme zeer rekenintensief is en veel beelden in het geheugen opgeslagen moeten worden (Withagen 2006).



Figuur 24 Space time continuity (TNO Industrie en Techniek 2006)

Temporal Differencing

Deze techniek is een simpele en daarom voor real-time situaties attractief. Een frame wordt per pixel vergeleken met een eerder en/of volgend frame (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Cucchiara, Piccardi en Mello 2000) (Wang en Chen 2005) (Kumar, et al. 2005) (Withagen 2006) (Humphries, et al. 2005). Om bewegende objecten te kunnen detecteren wordt gewerkt met een drempelwaarde. Nadeel is dat van objecten met een uniforme kleur, zoals auto's, alleen de randen worden herkend. Meestal wordt de techniek in combinatie met andere algoritmen gebruikt, zoals background modelling.

Background Modelling

Methoden die werken met modellen van de achtergrond zijn populair. Het meest recente beeld wordt in deze methode vergeleken met een objectvrije achtergrond (Piccardi 2004) (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005) (Kiritiratanapruk, Dubey en Siddhichai 2005) (Kumar, et al. 2005) (Humphries, et al. 2005) (Gupte, et al. 2002) (Lee, Ko en Han 2002) (Zhang, et al. 2003)



Figuur 25 Background modelling, links achtergrond beeld en rechts het totaalbeeld (Hsieh, et al. 2006)

(Chen, et al. 2005) (105) De verschillen tussen beide beelden zijn de objecten, die niet tot de achtergrond behoren, bijvoorbeeld een voertuig. De methode is te verbeteren door zich over de tijd te laten trainen (zie hoofdstuk 4.4.1). Het voordeel van een systeem dat zichzelf aanpast is, dat het om kan gaan met veranderende achtergronden. Rekening moet worden gehouden in veranderingen door de lichtintensiteit, verschuiving van het beeld en andere objecten die de achtergrond kunnen verstoren. Algoritmen proberen dit probleem zo goed mogelijk in te dammen, door snel de achtergrond te updaten. Het te snel updaten van de achtergrond kan echter gevolgen hebben voor de detectie van stilstaande voertuigen, die in dat geval snel tot de achtergrond worden gerekend.

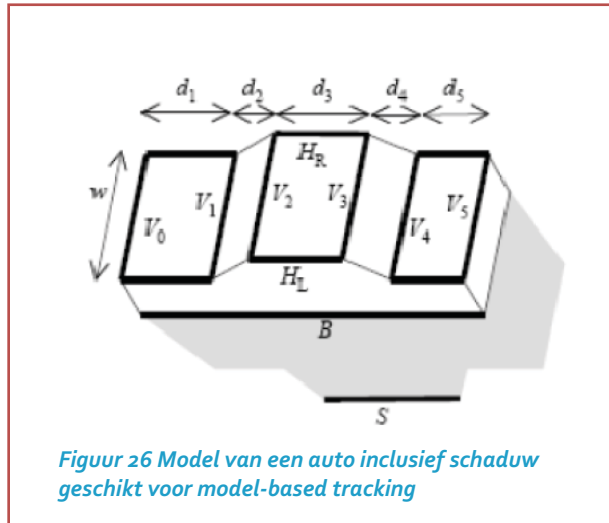
Samenvattend

Algoritmen gebaseerd op background modelling zijn veelbelovend. Deze algoritmen zijn snel te verwerken en geven goede resultaten. Een bekend algoritme is de Stauffer-Grimson methode (interview Dr. Hendriks). Het gebruik van space-time continuity vergt veel reken capaciteit en is ongeschikt om te gebruiken in real-timesystemen. Temporal differencing algoritmen geven problemen bij het detecteren van voertuigen, omdat deze objecten meestal een uniforme kleur (dit geldt met name bij langzaam bewegende voertuigen in combinatie met een lage frame rate) hebben.

4.3.7 Classificeren en volgen van objecten

Gedetecteerde afwijkende situaties moeten gevolgd en/of geclassificeerd worden. In het onderzoek gaat het om detectie van voertuigparameters. Voor enkel de voertuigen is het nodig om ze te volgen in het videobeeld. Andere objecten, die toevallig gedetecteerd zijn, mogen weggelaten worden. Het van tevoren classificeren is daarom efficiënter en robuuster voor het systeem. Classificatie gebeurt aan de hand van de vormeigenschappen van het object. Om een voertuig te herkennen en daarna te volgen door het videobeeld zijn vier methoden bekend (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003) (Beymer, et al. 1997); mo-

del-based, active contour-based (Ching-Po, Jen-Chao en Kai-Tai 2003), region-based en feature-based.



Figuur 26 Model van een auto inclusief schaduw geschikt voor model-based tracking

Model-based

Een afzonderlijk voertuig heeft zijn eigen eigenschappen. Een vrachtwagen is veel langer als een personenwagen en tussen personenwagens zijn tal van andere opties weer mogelijk. Bij deze methoden moet van elk type voertuig op de weg een model aanwezig zijn (Yiu, et al. 2005) (Lou, et al. 2005). De gedetailleerdheid van de modellen is afhankelijk van de detectie-doelstellingen. Een voertuigtype indeling met onderscheid tussen vrachtwagens en personenwagens heeft minder nauwkeurige modellen nodig dan een onderscheid tussen suv's en

stationcars. Al deze modellen worden opgeslagen in een database. Wanneer een object is gevonden met één van de hiervoor besproken technieken, wordt deze gekoppeld aan het best passende model uit de database. Door het model is het voertuig in de daarop volgende beelden weer te herkennen. Nadeel van deze methode is dat het vinden van een model bij het beeld rekenintensief is (Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003).

Active contour-based

In tegenstelling tot de model-based methode is bij de active contour-based methode alleen maar een omtrek van een object bekend (Kass, Witkins en Terzopoulos 1988) (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005) (Lee, Ko en Han 2002) (Hsu, et al. 2003). Nadat een object is gedetecteerd en gesegmenteerd blijft

een regio met pixels over. Een active contour of ook wel snake genoemd vormt zich rond de groep pixels, die binnen het contour passen. Deze contour wordt daarna gebruikt om het object in de daarop volgende beelden terug te vinden. Met een energieminimalisatiemethode wordt het contour steeds aangepast aan de nieuwe beelden. Het active contour wordt continue dynamisch geüpdate.

Region-based

Niet altijd bestaat een object uit één groep pixels, maar uit een regio met verschillende groepen pixels met dezelfde eigenschappen (Maintz 2006) (Gyaourova, Kamath en Cheung 2003). Om deze losse groepen samen te voegen tot een object worden de eigenschappen met elkaar vergeleken. Overeenkomstige eigenschappen zijn te vinden aan de hand van onder andere:

- Kleur
- Helderheid/intensiteit
- Textuur
- Vorm

De kwaliteit van het algoritme is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de segmentatie. Wanneer objecten niet goed uit elkaar zijn gehaald bestaat de kans dat een groep pixels uit meerdere voertuigen bestaat.

Feature based

Feature-based tracking is het volgen van subkenmerken van een voertuig gebaseerd op lijnen, punten of regio's, bijvoorbeeld hoeken van een voertuig of parallelle lijnen (Hsieh, et al. 2006) (Lee, et al. 2003) (Huang en Yen 2004). De gevonden eigenschappen worden gebruikt om in het volgende beeld het object terug te vinden. Probleem bij deze methode is echter, dat sommige voertuigen meerdere kenmerken hebben, die eerst gegroepeerd moeten worden om dubbeltelling te voorkomen.

Samenvattend

Een model-based aanpak is rekenintensief. Vaak verdwijnen tijdens het segmentatieproces een gedeelte van de pixels. Wanneer onvoldoende pixels bekend zijn is het niet mogelijk om het model goed te laten passen met het object. Het object wordt in dat geval niet herkend als een voertuig. Feature-based methoden geven problemen door het opsplitsen van objecten in teveel of juist te weinig kenmerken. Opsplitsing in veel kenmerken zorgt voor kleinere groepen met pixels en de kans op herkenning van meer voertuigen, dan werkelijk aanwezig. Wanneer teveel kenmerken samen worden gevoegd kunnen meerdere voertuigen samen worden herkend als één voertuig. Bij detectie met occlusie verdwijnen vaak kenmerken, waardoor met deze methode nog eerder voertuigen niet meer herkend worden. Het voordeel van een Active-contour aanpak is dat het model zich aanpast aan de gevonden pixels. Deze aanpak is wel rekenintensief en de objecten moeten in z'n geheel worden gedetecteerd. Een snelle aanpak is de region-based methode (Withagen 2006).

4.4 Verbeteren beeldverwerkingalgoritmen

Wanneer een compleet systeem is samengesteld om volgens de gestelde eisen de objecten te detecteren en te classificeren is het van belang om het systeem te gaan optimaliseren. De beschikbare rekenkracht moet zo efficiënt mogelijk ingezet worden. Het optimaliseren is in de meeste gevallen gebaseerd op voorspellingen. Optimalisatie bestaat uit het trainen van de algoritmen, het voorspellen van nieuwe locaties van de voertuigen en het combineren van meerdere camera's en/of databronnen.

4.4.1 Feedback

Op verschillende manier is feedback aan het systeem te geven. Allereerst kunnen op basis van de metingen voorspellingen worden gegeven over de voertuigposities. Daarnaast moet het systeem zichzelf steeds blijven trainen.

Voorspellen

Vanwege de beperkte reken capaciteit is het niet wenselijk om elke keer weer het gehele beeld te doorzoeken op mogelijke objecten. Vooral bij hogere resoluties moet op rekenkracht bespaard worden. Door continue de posities van objecten in de opvolgende beelden te voorspellen, hoeft bij het volgende beeld alleen het gebied met de meest waarschijnlijke positie onderzocht te worden. Aan de hand van deze meting wordt weer een nieuwe voorspelling gemaakt. Bekende toepassingen voor het voorspellen zijn het Kalman filter (*Kalman 1960*) en het particle filter (*Maskell en Gordon 2002*).

Trainen

Zoals al eerder genoemd in dit hoofdstuk hebben videoverwerkingsmethoden veel last van wisselende omstandigheden. Het is daarop van belang dat het systeem zichzelf steeds kan aanpassen aan de heersende omstandigheden. Naast een adaptief systeem is het mogelijk om het systeem steeds beter voertuigen te laten herkennen uit groepen van pixels door het combineren van historische situaties met de huidige metingen. Het doel is om een steeds hogere nauwkeurigheid te behalen. Methoden die vaak worden toegepast voor het trainen van algoritmen zijn patroonherkenning (*Bishop 2006*) en neurale netwerken (*Gurney 1997*).

4.4.2 Stereovision

De tijd dat een camera nog een vermogen kostte ligt al ver achter ons. Tegenwoordig worden camera's al zonder problemen in een telefoon ingebouwd. De lichtgevoelige chips worden steeds beter en in dezelfde chips kunnen de belangrijkste beeldverwerkingstechnieken ingebakken worden. Dit alles heeft ertoe geleid dat de standaard camera's goedkoop zijn geworden. In vergelijking met een aantal jaren terug is het nu mogelijk om voor dezelfde prijs meerdere camera's aan te schaffen en de verwerking van de afzonderlijke beelden gaat steeds sneller.

Met meerdere camera's is het mogelijk om een betere reconstructie van een 3D-beeld te maken. Dit is met name interessant voor toepassingen waar afmetingen van voertuigen een belangrijke rol spelen. Een extra camera is ook te gebruiken om de positie van voertuigen beter te voorspellen. De ene camera geeft de positie van een voertuig of concreter de positie van een nummerplaat aan, waarop de andere camera gericht gaat zoeken in het aangegeven gebied.

4.4.3 Datafusie

Met en weten. Dit principe geldt ook bij het verwerken van videobeelden. Des te meer bekend is over de mogelijke posities van voertuigen des te nauwkeuriger zijn de metingen die gedaan worden. Niet alleen zorgen extra gegevens voor een betere voorspelling, maar ook de outputresultaten worden verbeterd. Wanneer blijkt dat een verhoogde kans op congestie bestaat, dan is een algoritme extra verdacht op het detecteren van congestie.

Datafusie is mogelijk door andere detectoren in combinatie met camera's te gebruiken, maar het gebruik van meerdere camera's levert hetzelfde resultaat op.

4.5 Aanvullende beeldverwerkingstoepassingen

Naast het detecteren van de standaard verkeersparameters zijn voor een aantal applicaties specifieke gegevens nodig.

Kentekenherkenning

Voor het herkennen van kentekens (*Lee, et al. 2003*) zijn zes primaire algoritmen nodig om de software correct te laten werken:

1. Lokaliseren van de kentekenplaat op het beeld
2. Hoek en afmetingen aanpassen aan de vereiste maat



3. Aanpassen helderheid en contrast
4. Segmentatiekarakters
5. Optische karakterherkenning
6. Syntactische en geometrische analyse van de platen

Detectie van afmetingen

Hoogte detecteren in 2D-beelden is lastig. Het classificeren van de voertuigen kan door het vaststellen van de breedte en lengte van voertuigen. Deze twee waarden zijn normaal gesproken voldoende om vrachtwagens en personenwagens te onderscheiden. Indien een nauwkeuriger indeling is gewenst moet gewerkt worden met modellen. Voor elk type voertuig moet een model gemaakt worden waarmee het waargenomen object moet matchen. Met deze modellen kan ook een inschatting van de hoogte worden gemaakt. Bij hoogtedetectie is het primaire doel het beveiligen van kunstwerken. Een uitgestoken lading kan al funest zijn. Een 2D-beeld zal niet in staat zijn alle gevallen eruit te halen, omdat hieruit het 3D-beeld niet goed gereconstrueerd wordt. De beste methode is een reconstructie van het 3D-beeld door twee of meer camera's te gebruiken.

4.6 Fouten en onnauwkeurigheid

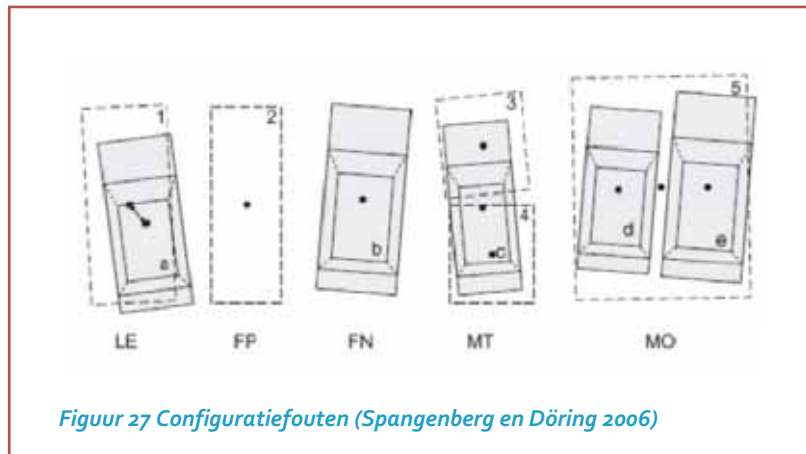
Fouten ontstaan door tal van factoren, zoals camerapositie of omgevingsfactoren. Per locatie ontstaan mogelijk verschillende problemen. Afhankelijk van de wensen van de klant wordt een systeem zo ingesteld dat het de beste detectieresultaten geeft of de minste valse alarmen. Meestal is de instelling afhankelijk van de toepassing waarvoor de videomonitoring wordt gebruikt. Altijd moet een afweging tussen performance en kwaliteit gemaakt worden. Wanneer je elke honderdste seconde real-time gegevens wilt hebben, dan zal de kwaliteit van de gegevens minder zijn. En aan de andere kant geven hoge resolutie beelden betere resultaten, maar zal de performance achteruit gaan.

4.6.1 Meetfouten

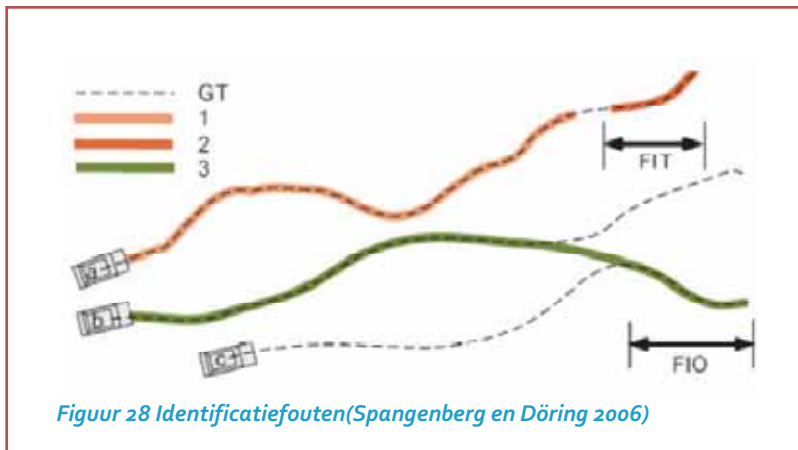
In het detecteren van verkeersgegevens kunnen fouten optreden. Deze fouten kunnen het gevolg zijn van een verkeerde configuratie van het algoritme of het verkeerd identificeren van een voertuig (*Spangenberg en Döring 2006*). De eerste

configuratiefout (Figuur 27) is het waarnemen van een tuig, maar de locatie verkeerd doorgeven (Localization error, LE). Het is mogelijk dat een voertuig wordt

men, wat helemaal niet aanwezig is (False Positive, FP). Omgekeerd gebeurt wanneer een voertuig niet wordt gedetecteerd (False Negative, FN). Een andere mogelijke fout is het volgen van meerdere



objecten door het splitsen van een voertuig in twee objecten (Multiple Tracker, MT). De fout die hierop lijkt is het waarnemen van één object, dat uit twee voertuigen bestaat (Multiple Object, MO). Met name op drukke trajecten kunnen deze fouten de detectie onnauwkeurig maken.



Fouten in het identificeren van objecten zorgt voor het foutief vaststellen van de voertuigtrajectoriën. Identificatiefouten treden op twee manieren op. In Figuur 28 zijn drie voertuigen aangegeven met hun werkelijke trajectoriën (Ground Truth, GT). De trajectorie van voertuig A wordt in eerste instantie door 1 vastgesteld, maar op een later moment door 2. Deze

fout wordt een falsely indetified tracker (FIT) genoemd. De tweede fout ontstaat als de identificatie plotseling omslaat naar de trajectorie van een in de buurt rijdend voertuig. De falsely indetified object (FIO) is een veel voorkomende fout.

4.6.2 Kwaliteit systeem

Kwaliteit is uit te drukken in twee termen. Precision is het percentage correct gemeten objecten van het totaal aantal objecten dat is gemeten en Recall is het percentage detecties van de voorbijgekomen objecten. Het beste systeem heeft beide waarden zo hoog mogelijk. Voorafgaand aan de aanschaf moeten hier duidelijke eisen over geformuleerd zijn. Per klant of toepassing is het mogelijk dat deze indicatoren verschillen. Een hoge recall kan leiden tot een lage precision. Door de fabrikanten wordt continue onderzoek gedaan naar het verbeteren van fouten. De laatste jaren is veel vooruitgang geboekt op verbetering van de monitoring tijdens regen of sneeuw. Met een iteratief proces wordt steeds vergeleken wat een verandering het algoritme voor invloed heeft op de monitoring. Feit blijft echter dat geen beeld geen data oplevert. Camera's op grote hoogte met dichte mist zien geen voertuigen meer en de detectie is niet meer mogelijk. Camera's op portalen bij dichte mist zien nog wel genoeg om voertuigen te detecteren.

4.7 Toekomstverwachtingen videomonitoring

Op het gebied van videomonitoring wordt veel onderzoek gedaan, niet alleen op verkeerskundig gebied maar ook bijvoorbeeld in de medische wereld. Dat betekent dat het in de toekomst mogelijk wordt om steeds meer informatie uit beelden te halen. Meer informatie betekent op zijn beurt dat nieuwe toepassingen mogelijk worden. In deze paragraaf wordt een doorkijkje naar de toekomst gegeven om een idee te krijgen wat zoal theoretisch mogelijk wordt met videomonitoring in Nederland.

4.7.1 Toekomstbeeld beeldverwerking

Nog altijd wordt veel onderzoek gedaan naar het continu verbeteren van de algoritmen. Traficon besteedt bijvoorbeeld 20% van de omzet aan nieuw onderzoek (*interview Traficon*). De komende jaren zal de kwaliteit van de camera's blijven toenemen. Camera's kunnen steeds beter overweg met veranderende lichtomstandigheden. Daarnaast neemt de rekenkracht van de computer verder toe. Dit zorgt ervoor dat nog gedetailleerde beelden real-time verwerkt kunnen worden. De huidige generatie camera's, die voor de meeste toepassingen al voldoen, zullen verder in prijs dalen. Met goedkopere camera's wordt het mogelijk om tegen gelijkblijvende aanschafkosten meer camera's te plaatsen. Ook in dit vakgebied geldt de uitdrukking: "meten is weten". Hoe meer door camera's gezien wordt, hoe beter bepaalde voertuigen getraceerd kunnen worden en hoe minder valse detecties plaatsvinden. Verder is een grote onderzoeksgroep bezig met videoverwerking. Een groot gedeelte van het onderzoek richt zich op geheel andere toepassingsgebieden, maar de meeste problemen komen in alle onderzoeksgebieden terug. Dat betekent niet dat alle systemen onderling uitwisselbaar zijn, omdat bijvoorbeeld voor het detecteren van personen hele andere eigenschappen gebruikt moeten worden als voor voertuigen (personen bewegen zich niet zo

rechtlijnig voort als voertuigen). Maar op algoritmeniveau zijn veel overeenkomsten te vinden. Al het onderzoek versterkt elkaar daardoor.

De huidige verkeerskundige videomonitoringmarkt biedt nog weinig echt vooruitstrevende technieken. Tellingen gebeuren met virtuele lussen (tripline), omdat eigenlijk alle applicaties uitgaan van input uit lussen. Een uitzondering vormen de AID-toepassingen van de fabrikanten, deze zijn wel vernieuwend omdat ze een totaal andere benadering hebben voor het opsporen van afwijkend gedrag. Door de vraag naar een aantal nieuwe toepassingen, bijvoorbeeld het volgen van gevaarlijke stoffen in stadscentra en de opkomst van spitsstroken, richt het onderzoek zich met name op het herkennen van unieke voertuiggegevens, bijvoorbeeld de oranje platen op vrachtwagens met informatie over de inhoud en wordt gezocht naar algoritmen, die om kunnen gaan met bewegende camera's. Tot op heden wordt alleen gewerkt met vaste camera's, maar in een aantal gevallen is behoefte aan camera's die bewegen. Een toepassingsgebied voor bewegende camera's is het automatisch afscannen van spitsstroken naar obstakels voordat deze opengesteld worden. Op dit moment gebeurt dat ook met camera's, maar is het schouwen handwerk.

Producenten laten zich met name leiden door de ontwikkelingen in de vervoersmarkt. Op het moment dat de vraag naar een bepaald type monitoring bestaat, zijn de producenten bereid om te investeren. Zolang alleen vraag is naar de traditionele manier van monitoring, probeert de producent een gelijkwaardig concurrerend product op de markt te brengen. Wanneer wegbeheerders bereid zijn om de huidige applicaties aan te passen aan nieuwe invoervariabelen is in de toekomst veel meer mogelijk met videobeelden. De producenten willen op dat moment meer investeren in onderzoek. Op dit moment is het namelijk onzeker of een nieuwe toepassingen geïmplementeerd wordt binnen de huidige verkeerssystemen. Hierdoor is het risico voor de producenten te groot dat het geïnvesteerde bedrag niet terugverdiend wordt.

4.7.2 Toekomstbeeld verkeersmanagementtoepassingen

In het hoofdstuk over de verkeersmanagementtoepassingen zijn voor de verschillende toepassingsgroepen de mogelijkheden van videodetectie genoemd. Het huidige hoofdstuk heeft een overzicht gegeven van de mogelijkheden van de diverse beeldverwerkingalgoritmen. Het combineren van de huidige toepassingen en de mogelijkheden van beeldverwerking biedt mogelijkheden voor verbetering van de toepassingen. In de volgende hoofdstukken wordt daar dieper op ingegaan, wanneer gekeken wordt naar de mogelijkheden om de filestaartbeveiliging te verbeteren. Het is niet alleen mogelijk om de huidige toepassingen te verbeteren, maar videomonitoring biedt ook mogelijkheden voor nieuwe of aanvullende toepassingen. In het onderstaande gedeelte volgen een aantal voorbeelden van nieuwe mogelijke toepassingen, die op dit moment al mogelijk zouden zijn gezien de huidige stand van zaken op videodetectiegebied en een aantal toepassingen, die gezien de onderzoeken in de nabije toekomst mogelijk moeten worden. Het classificeren van de toepassingen gebeurt aan de hand van de classificatie, die in hoofdstuk 2 is gemaakt tussen de verschillende toepassingen. Per groep wordt een voorbeeld van een nieuwe toepassing genoemd.

Netwerkt toepassingen

Het wordt mogelijk om het vervoer van gevaarlijke stoffen te controleren door het netwerk. De oranje borden worden automatisch met een camera uitgelezen, zodat precies bekend is wat voor chemicaliën op een gedeelte van het netwerk zich bevinden. Deze informatie is te gebruiken bij ongevallen, maar ook voor het controleren van routes waar geen gevaarlijke lading vervoerd mag worden.

Wegvakt toepassingen

Camera's kunnen een bijdrage leveren aan de verbetering van de verkeersveiligheid. Allereerst is veel meer waar te nemen. Een voorbeeld is de detectie van afgevalen lading. Op het moment dat afgevalen lading van een voertuig is gedetecteerd wordt de rijstrook waarop de lading ligt automatisch afgekruid. In de verkeerscentrale is op het scherm te zien om wat voor lading het gaat en wordt indien nodig meteen actie ondernomen om de juiste opruim behoeftes op de locatie te krijgen.

Wegbeheertoepassingen

Door de beelden is het mogelijk om een eerste globale inspectie te doen van de wegkwaliteit. Wanneer de kwaliteit te wensen overlaat wordt ter plaatse een nieuwe inspectie gedaan of een reparatie uitgevoerd.

Beleid en statistiek

Door een reconstructie van het 3D beeld te maken is informatie beschikbaar over de lengte, breedte en hoogte van de voertuigen. Een verdere, uitgebreidere uitsplitsing van de voertuigklassen is op deze manier te maken. Naast de gebruikelijke voertuigklassen wordt het met video-beelden mogelijk om motorrijders te detecteren. Met lussen is het niet goed mogelijk.



Figuur 29 Incidentdetectie (Traficon AID)

Onderzoek

Van elke videostroom loopt een geschiedenis van een minuut mee. Op het moment dat een incident is gedetecteerd wordt de geschiedenis weggeschreven naar een server. De beelden zijn te gebruiken voor onderzoek naar het ontstaan van het incident. Hierdoor wordt een bijdra-

ge geleverd aan het verkeersveiligheid onderzoek. Het is zelfs mogelijk dat de beelden door verzekeringsmaatschappijen gebruikt worden.

Het bepalen van de positie van een voertuig niet alleen in de x richting, maar ook in de y richting geeft informatie over de positie op de rijbaan. Deze informatie bevat veel gegevens over het gedrag van weggebruikers in tal van situaties, bijvoorbeeld bij invoegingen.



5 Datasets van trajectoriën

Om de meerwaarde van videomonitoring ten opzichte van de huidige inductielussen te analyseren wordt onderzocht wat trajectoriedata kan bijdrage aan de verbetering van de filestaartbeveiliging. Dit hoofdstuk gaat in op de gebruikte datasets en de verwerking van deze datasets tot de gewenste input voor de filestaartbeveiliging. Vanwege het feit dat op kleine schaal gebruikt wordt gemaakt van videomonitoringstechnieken, die trajectoriën van voertuigen construeren, is op dit moment maar een klein aantal datasets beschikbaar met trajectoriën van voertuigen. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van drie datasets: NGSIM, helikopterdata van Everdingen en TNO cameradata. Deze datasets worden gebruikt voor verkeerskundig onderzoek en zijn niet met commerciële systemen verkregen.

De datasets zijn in matlab verwerkt. Allereerst zijn de grootste fouten eruit gehaald en daarna zijn de afzonderlijke trajectoriën verwerkt tot wiskundige functies. Omdat het alleen bij de TNO data gaat om gegevens uit een videomonitoringsysteem en de andere datasets een gebied van enkele honderden meters bestrijken zijn de andere datasets in stukken van 50 en 100 meter geknipt. Afstanden tot honderd meter zijn onder goede omstandigheden in beeld te brengen met een camera. Door twee afstanden te nemen is later te bepalen of de trajectlengte een grote invloed heeft op de resultaten.

Het huidige AID-mechanisme wordt vergeleken met nieuwe filestaartbeveiligingmethoden. Omdat het huidige AID-mechanisme werkt op basis van lusgegevens zijn deze gegevens nodig voor de analyse. Deze gegevens zijn gereconstrueerd uit de datasets.

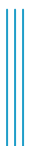
5.1 Verzamelen van trajectoriegegevens

Videobeelden, verkregen met behulp van camera's boven de rijbaan, omzetten naar trajectoriën is nog niet veel toegepast. Daarom is maar weinig videodata beschikbaar, op de videogegevens van TNO na. Naar het verzamelen van verkeersgegevens vanaf grote hoogte (gebouwen of helikopter) is al meer onderzoek gedaan. Aangezien het voor het onderzoek in eerste instantie niet uit maakt hoe de trajectoriën zijn verkregen, zijn dergelijke gegevens naast de videodata gebruikt.

Via een drietal kanalen zijn verkeersgegevens verkregen, waarmee trajectoriën van voertuigen te onderzoeken zijn. Het gaat om twee locaties op het Nederlandse HWN en een testlocatie in de Verenigde Staten.

5.1.1 TNO data

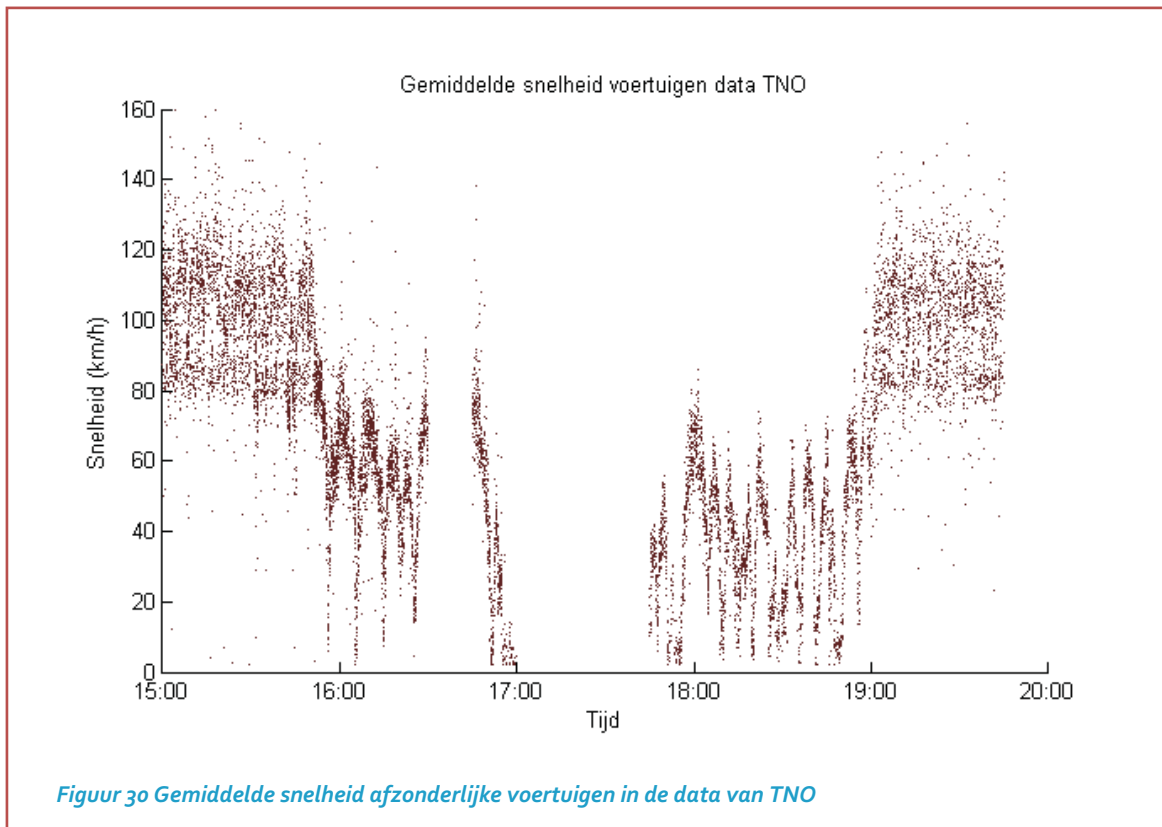
In opdracht van AVV heeft TNO onderzocht of het mogelijk is met behulp van automatische beeldanalyse het rijgedrag van voertuigen vast te leggen, te analyseren en te presenteren (*TNO Industrie en Techniek 2006*). Hiervoor zijn in eerste instantie opnames gemaakt op 5 snelwegen. Per locatie zijn meerdere dagen



non-stop opnames gemaakt. Tot op heden heeft TNO nog maar van één locatie de beelden verwerkt. Dit is de locatie A1 Zuid ter hoogte van hectometerpaaltje 89,3. De locatie betreft een rijksweg met 2 rijstroken. Figuur 31 geeft een opnamemoment weer. Bij de opname is gebruik gemaakt van een recorder met een zogenaamde proprietary codec⁸. Hierdoor was het niet mogelijk om direct de digitale data uit te lezen. Bij de verwerking is de originele recorder gebruikt om een analogoog signaal te genereren waarna het signaal opnieuw werd gedigitaliseerd. Deze omslachtige methode kan leiden tot kwaliteitsverlies, waardoor handmatig controleren ter controle van het proces noodzakelijk was. Het bleek dat de recorder niet in staat was om urenlang storingsvrij het gewenste signaal te genereren. Hierdoor zijn een aantal 'gaten' in de data te zien (Figuur 30).

Beschrijving studiegebied

De camera is geplaatst op circa 8 meter boven het wegdek en is schuin naar beneden gericht. Voertuigen worden van achter gedetecteerd. De onderste beeldlijn bevindt zich op circa 12,5 meter horizontale afstand van de camera. Met deze opstelling wordt het wegdeel tot op een afstand van circa 150 meter in beeld gebracht. Omdat objecten op grote afstand te klein worden en niet goed meer van elkaar zijn te onderscheiden is het effectieve bereik van de camera 80 tot 100 meter. Over deze afstand zijn de voertuigtrajectoriën bepaald.



Figuur 30 Gemiddelde snelheid afzonderlijke voertuigen in de data van TNO

⁸ Software module van een fabrikant dat compressie of decompressie van digitale videobeelden mogelijk maakt



In het videobeeld (Figuur 31) is een toerit te zien. Sommige voertuigen op de toerit zijn gedetecteerd. Tijdens het cleaningsproces zijn deze voertuigen verwijderd uit de dataset.

Data analyse

Uit Figuur 30 is de situatie ter plaatse al duidelijk af te leiden. In de figuur zijn de gemiddelde trajectsnelheden van alle afzonderlijke voertuigen geplot. In eerste instantie is er sprake

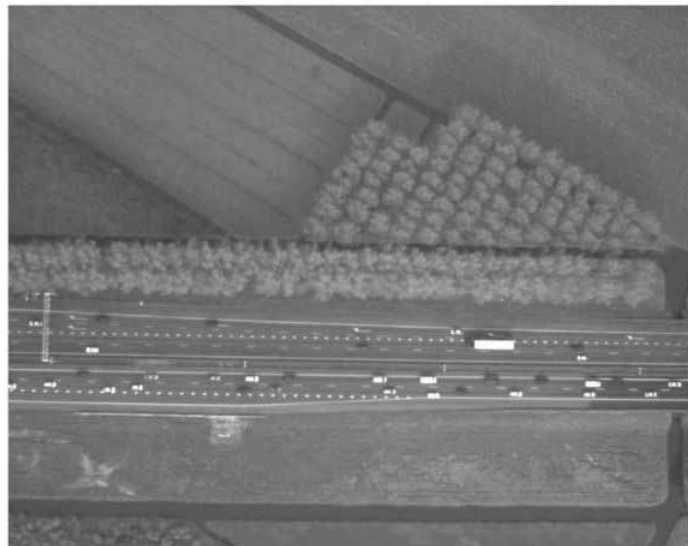
van een free flow situatie. De snelheden variëren tussen de 80 en 130 km/h. Een normale situatie op het Nederlandse HWN met vrachtwagens en een maximum snelheid ter plaatse van 120 km/h. Iets voor vier uur begint het congestieregime. Tijdens het congestieregime zijn duidelijk de schokgolven te zien van stop & go verkeer. Rond zeven uur verdwijnt de congestie en is weer sprake van een free flow situatie. De data is niet alleen geschikt om de AID te testen op het moment van aangaan, maar ook om het gedrag tijdens schokgolven te analyseren.

5.1.2 Helikopterdata Everdingen

Een andere methode om naar de positie van voertuigen te kijken is vanuit een hoog standpunt. In opdracht van AVV heeft de TU Delft een haalbaarheidsstudie gedaan naar de mogelijkheid om gegevens vanuit de lucht te verzamelen (108). De nadruk in het betreffende onderzoek lag op situaties met congestie.



Figuur 31 Opnamevoorbeeld vaste camera op de A1 (TNO Industrie en Techniek 2006)



Figuur 32 Beeld vanaf een helikopter (NB niet de situatie uit de dataset)

Beschrijving studiegebied

Het haalbaarheidsonderzoek is door de TU Delft uitgevoerd boven het knooppunt Everdingen (A2/A27). Het traject bestaat uit drie rijstroken. De afstand van het traject dat in beeld gebracht is bedraagt circa 500 meter.

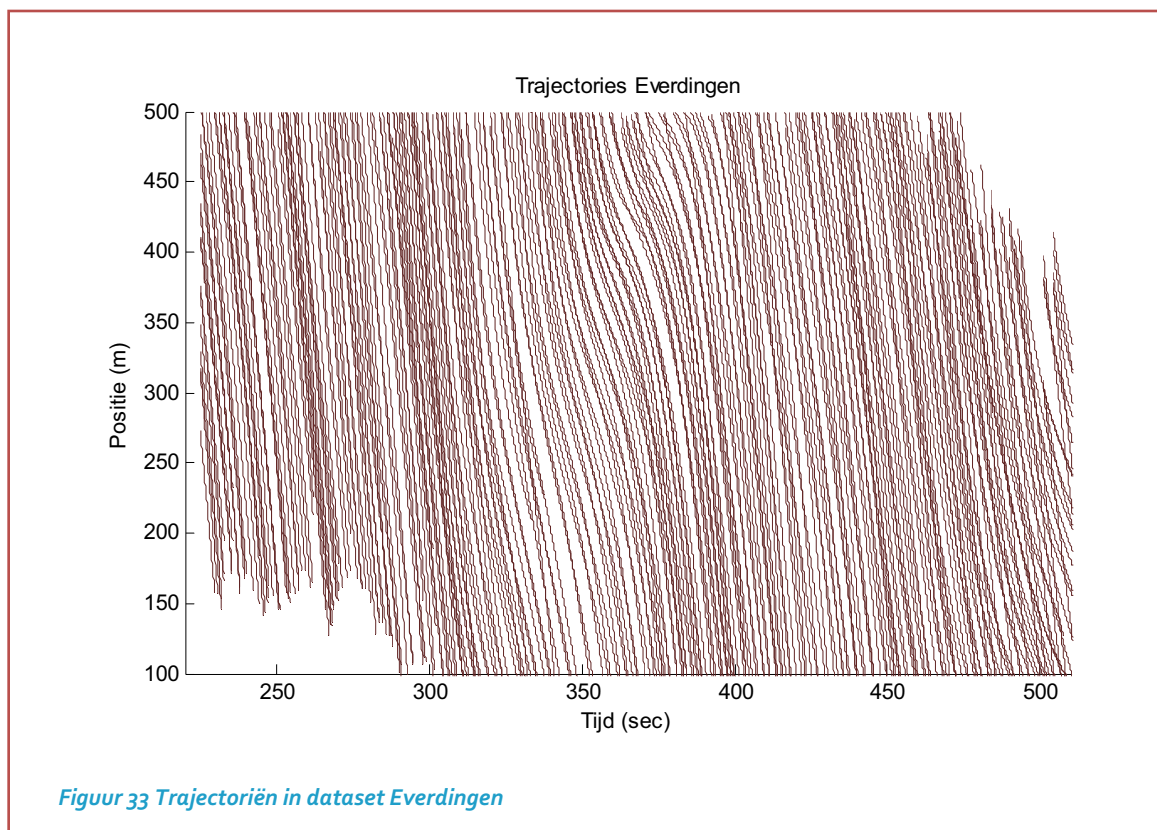
Onder de helikopter was een digitale fotocamera gemonteerd, die ongeveer 10 foto's per seconde maakt. Omdat een helikopter nooit helemaal stil in de lucht kan hangen, worden handmatig een aantal herkenningpunten aangegeven. Bijvoorbeeld de vangrail ten zuiden van de weg of de belijning. In de beelden worden de herkenningpunten opgezocht en geroteerd net zolang tot de herkenningpunten op het basisbeeld overeenkomen met die op de helikopterbeelden.

Door middel van de verschillen in het achtergrond beeld (beeld zonder voertuigen) en de werkelijke beelden worden de posities van de voertuigen elke 0,1 seconde bepaald. Met herkenningsoftware worden de afzonderlijke voertuigen getraceerd door de tijd heen, zodat trajectoriën te bepalen zijn. In de dataset is 98% direct gedetecteerd, waarna de data handmatig is aangevuld tot een detectiepercentage van 100%.

Data analyse

De trajectoriën in Figuur 33 gaan niet zoals gebruikelijk van een lage positie naar een hogere positie. De ontwikkeling van de x-posities gaat in negatieve richting vanwege de gekozen rijrichting. Bij de analyse van de trajecten en de lussen moet hiermee rekening worden gehouden.

De totale tijdsduur bedraagt rond de 300 seconden, oftewel 5 minuten. In dit tijdsinterval bevindt zich één schokgolf. In Figuur 33 is een afname van de snelheid te zien, die zich naar achteren verplaatst wat duidt op het ontstaan van congestie. Met de data is het aangaan van de AID te testen. Omdat maar één schokgolf bekeken kan worden in deze dataset is het lastig om harde uitspraken te doen over de situatie tussen



Figuur 33 Trajectoriën in dataset Everdingen

de schokgolven in. Op het traject bevinden zich drie rijstroken.

5.1.3 NGSIM data

NGSIM (Next Generation Simulation) valt onder het ministerie van verkeer in de Verenigde Staten en heeft als doel het ontwikkelen van gedragsalgoritmen ten behoeve van verkeerssimulaties in combinatie met ondersteunende documentatie en validatie (92). De nadruk ligt op microscopische modellering. Producten worden door de NGSIM vrij ter beschikking gesteld aan derden.

De gebruikte datasets bestaan uit trajectoriën van voertuigen op snelwegsegmenten onder verschillende verkeersregimes (free flow tot congestie). De voertuigtrajectoriën worden met behulp van videoalgoritmen automatisch uit videobeelden gehaald.

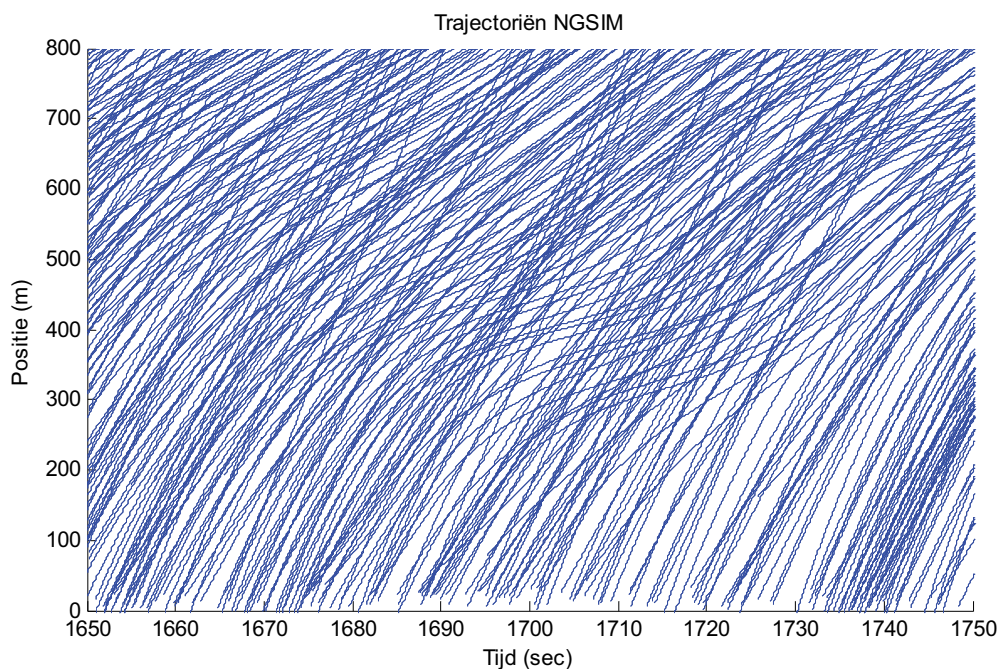
De gebruikte dataset komt uit het zogenaamde Berkley Highway Laboratory (BHL). De BHL is een testgebied van 2,7 mijl op de Interstate-80 ten oosten van de San Fransisco-Oakland Bay Bridge. Het gaat om de prototype dataset, die gratis via de website van NGSIM wordt verspreid.

Beschrijving studiegebied

De testfaciliteiten omvatten in totaal 14 toezichtcamera's en 16 dubbele inductielussen ten behoeve van



Figuur 34 NGSIM Camera (92)



Figuur 35 Gedeelte van de Trajectoriën NGSIM data

verkeersmonitoring. De prototype dataset is gemaakt met behulp van 6 camera's op hoge gebouwen die elkaar overlappen. Totaal is een traject van meer dan 2952 voet (circa 1 kilometer) in beeld gebracht. De voertuigen zijn gedetecteerd met behulp van lijnsegmenten. Door lijnen van gedetecteerde objecten te koppelen aan 3D-objecten werden individuele voertuigen gedetecteerd. Op basis van het uiterlijk is een voertuig door het beeld te volgen. Op de punten waar de camera's elkaar overlappen is gezocht naar overeenkomsten tussen voertuigen in beide beelden. Ruim 90% van de trajectoriën in deze dataset werden automatisch verwerkt. Het andere gedeelte is met de hand aangepast.

Data analyse

De data bestrijkt een tijdsduur van 1800 seconden oftewel 30 minuten. Van 14:35 tot 15:05. Tijdens deze 30 minuten ontstaat congestie, maar van duidelijke opeenvolgende schokgolven is geen sprake. Aan de hand van deze dataset zullen daarom de prestaties tijdens stop & go verkeer niet uitgebreid geanalyseerd worden. Op de zes rijstroken is wel sprake van een snelheidsdaling en het ontstaan van congestie.

5.1.4 Betrouwbaarheid gegevens

Om betrouwbare waarden voor een trajectorie te krijgen zijn voldoende punten nodig. Te weinig waarden geeft een onnauwkeurig beeld. Een voertuig met minder dan 10 detecties wordt als gemist geclassificeerd. Tijdens de datacleaningstap (5.2.1 Datacleaning) bleek in de TNO dataset van 5,5% van de voertuigen onvoldoende gegevens beschikbaar te zijn om een juiste trajectorie te maken. In beide andere datasets waren voldoende detecties aanwezig om voor elk voertuig een trajectorie te maken.

Alleen voor de TNO data is de nauwkeurigheid bekend. Voor de dataset geldt dat de positie in 95% van de gevallen een fout heeft die kleiner is dan 15 cm. In de twee andere datasets zullen ook fouten in de posities van voertuigen zitten, maar hoe groot deze fouten zijn is niet bekend. Via de opgestelde trajectoriën worden de snelheden, versnellingen en volgafstanden berekend. Dat betekent dat de foute positie van de voertuigen verder doorwerkt in de gebruikte variabelen en alleen maar groter wordt.

Doordat de lusgegevens vanuit de datasets geconstrueerd worden, hebben deze dezelfde afwijking. In hoeverre deze verschillen met de werkelijke situatie ter plaatse is niet bekend. Opgemerkt moet worden dat metingen met inductielussen ook niet 100% nauwkeurig zijn en sommige voertuigen daarbij niet gedetecteerd worden.

5.2 Dataverwerking

Voordat met de trajectoriën de variabelen berekend worden, moeten eerst een aantal stappen genomen worden. Allereerst is de data gecontroleerd op fouten en zijn de fouten uit de data verwijderd. Met name bij de TNO data was deze stap belangrijk. Met de overgebleven gegevens zijn wiskundige functies gemaakt, die overeenkomen met de voertuigtrajectoriën. Daarnaast moest de data zoveel mogelijk lijken op cameradata, waarvoor het nodig was om de trajecten op te splitsen in kleinere gedeeltes van 50 en 100 meter. Voor het reconstrueren van een puntmeting voor de lusdata is nog een extra bewerkingsstap gemaakt.

5.2.1 Datacleaning

De gebruikte data van TNO bevatte een aantal fouten. In de analyse van de trajectoriën bleken een aantal voertuigen, volgens de gegevens uit de dataset, af en toe opeens een videoframe achteruit te rijden. Aangezien dit gedrag onder normale omstandigheden niet op de snelweg voorkomt (en hier ook geen aanleiding toe was) zijn deze intervallen weggelaten uit de dataset. Een andere fout in de TNO dataset waren dubbele metingen. Op een bepaald tijdstip waren twee plaatsbepalingen aanwezig. In deze specifieke gevallen is de eerste meting als uitgangspunt genomen. De datasets van NGSIM en Everdingen kenden deze problemen niet en zijn vooraf niet bewerkt.

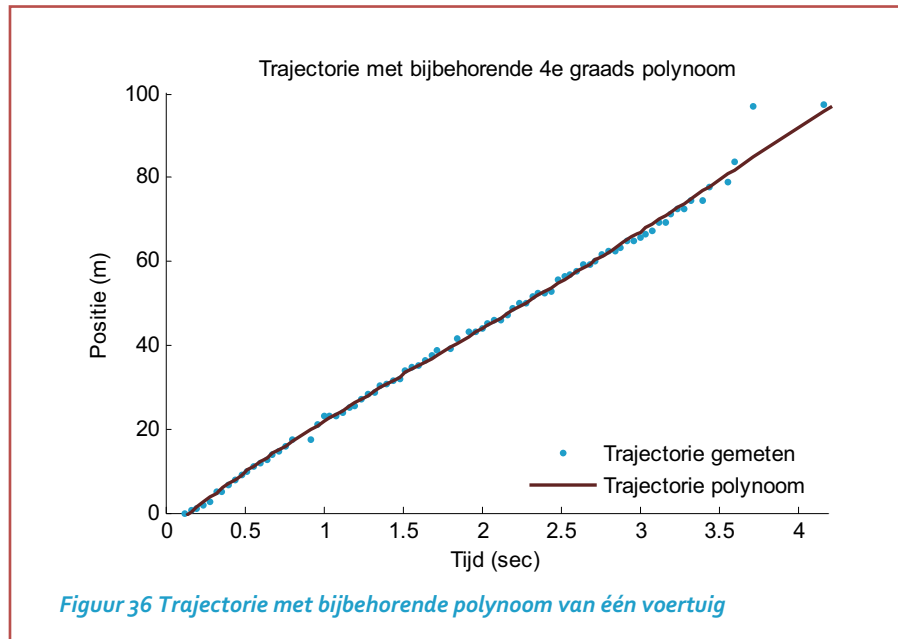


5.2.2 Opstellen van polynomen

De datasets bestaan uit matrices met de tijd en positie van de voertuigen. Vanwege de verwerking van de trajectoriën naar snelheden en versnellingen heeft het werken met een wiskundige functie voor de afzonderlijke voertuigtrajectoriën de voorkeur.

De afzonderlijke trajectoriën zijn benaderd met een unieke vierdegraads polynoom. Met deze unieke polynoom is de positie van een voertuig te bepalen op een bepaald tijdstip door dit tijdstip in de polynoom in te vullen. De snelheid is te berekenen door de tijd in seconden in de afgeleide van de polynoom in te voeren en de versnellingen

zijn te verkrijgen door de tweede afgeleide te berekenen.



Figuur 36 Trajectorie met bijbehorende polynoom van één voertuig

De benadering van de trajectoriën met een vierdegraads polynoom is geanalyseerd met behulp van de R-Kwadraat (R^2) waarde. De gemiddelde R^2 waarde van de gebruikte trajectoriën komt uit op 0,999. Waarmee geconcludeerd mag worden dat de berekende trendlijn een goed benadering van de trajectoriën geeft.

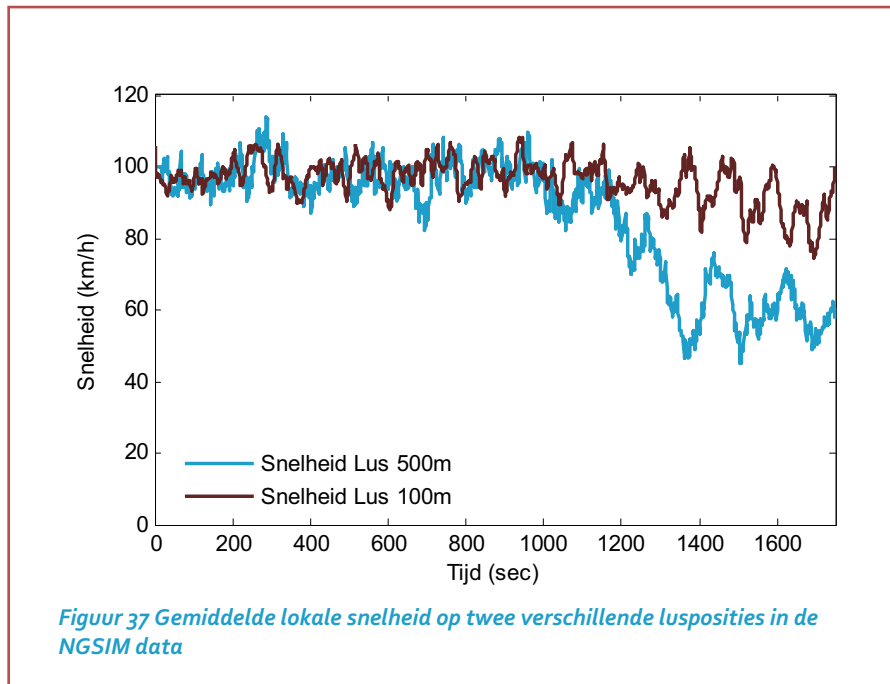
5.2.3 Splitsen trajectoriën

De datasets van NGSIM en Everdingen bestrijken respectievelijk een afstand van 900 en 550 meter. Aangezien in het onderzoek uit wordt gegaan van camera's geplaatst op portalen, is het bereik slechts 50 tot 100 meter. De trajectoriën zijn om deze reden gesplitst in gedeelte van 50 en 100 meter. Van beide datasets zijn daardoor meerdere segmenten beschikbaar. In Figuur 37 zijn twee segmenten afgebeeld waarin duidelijk te zien is, dat de congestie benedenstrooms start en bovenstrooms het verkeer zich in free flow situatie bevindt.

De dataset van TNO is afkomstig van een camera op een portaal en is niet verder opgesplitst.

5.2.4 Lusgegevens

Van de beschouwde trajecten zijn geen lusgegevens beschikbaar. Om de nieuw te ontwikkelen algoritmen te vergelijken met de huidige werking van het AID-systeem zijn de lussen nagebootst in de onderzochte data. Een lus is te beschouwen als een meting op een vaste locatie (Zie uitleg in paragraaf 2.1.2). Doordat de snelheid wordt vastgesteld aan de hand van een rijtijd over 2,5 meter, is het eigenlijk een trajectnelheid over een heel klein traject. Een identiek voertuig wordt op een bepaald tijdstip éénmaal gedetecteerd door de lussen. Voor het meetinterval is in de gebruikte data gekozen voor een afstand waarop een voertuig met 150 km/h minimaal eenmaal gedetecteerd is. Het tijdstip waarop het voertuig in dit meetinterval is gedetecteerd, volgens de gegevens uit de dataset, is ingevuld in de afgeleide van de polynoom, zodat de snelheid van het voertuig bekend is. De uitkomst van de snelheid voor elk voertuig is de input voor het huidige AID-algoritme. Indien tijdens het beschouwde interval een voertuig meerdere ma-



len gedetecteerd wordt, dient de eerste meting als uitgangspunt. In Tabel 10 is het overzicht te vinden met de gebruikte meetintervallen voor de verschillende datasets.

Tabel 10 Gebruikte meetinterval voor reconstructie lusdata

Dataset	Frames per seconde	Meetinterval (m)
NGSIM	15	2,8
Everdingen	10	4,2
TNO	25	1,7

5.2.5 Gebruik gewijzigde datasets

De originele datasets zijn gewijzigd in afzonderlijke datasets. Voor elk tijdstip waarop een meting is gedaan zijn met de geconstrueerde polynoom een nieuwe positie, snelheid en versnelling berekend. Deze dataset wordt gebruikt bij de algoritmen voor trajectnsnelheid, versnelling, dichtheid en de combinatie van variabelen. De andere dataset is de gesimuleerde lusdata en wordt gebruikt om het huidige AID-algoritme te analyseren. In het volgende hoofdstuk worden de alternatieven besproken en in hoofdstuk 7 zijn de resultaten te vinden van de verschillende algoritmen in de drie afzonderlijke situaties.

6 Alternatieve algoritmen voor filestaartbeveiliging

De omgewerkte datasets zijn meetgegevens, die theoretisch uit videocamera's te halen zijn. Om tot een verbeterd AID-algoritme te komen zijn voor de gegevens een aantal nieuwe algoritmen ontwikkeld. Niet alleen is gekeken naar de afzonderlijke variabelen, maar ook is gekeken naar een statistisch verband tussen de variabelen onderling. Hiervoor is een Principal Component Analysis gebruikt.

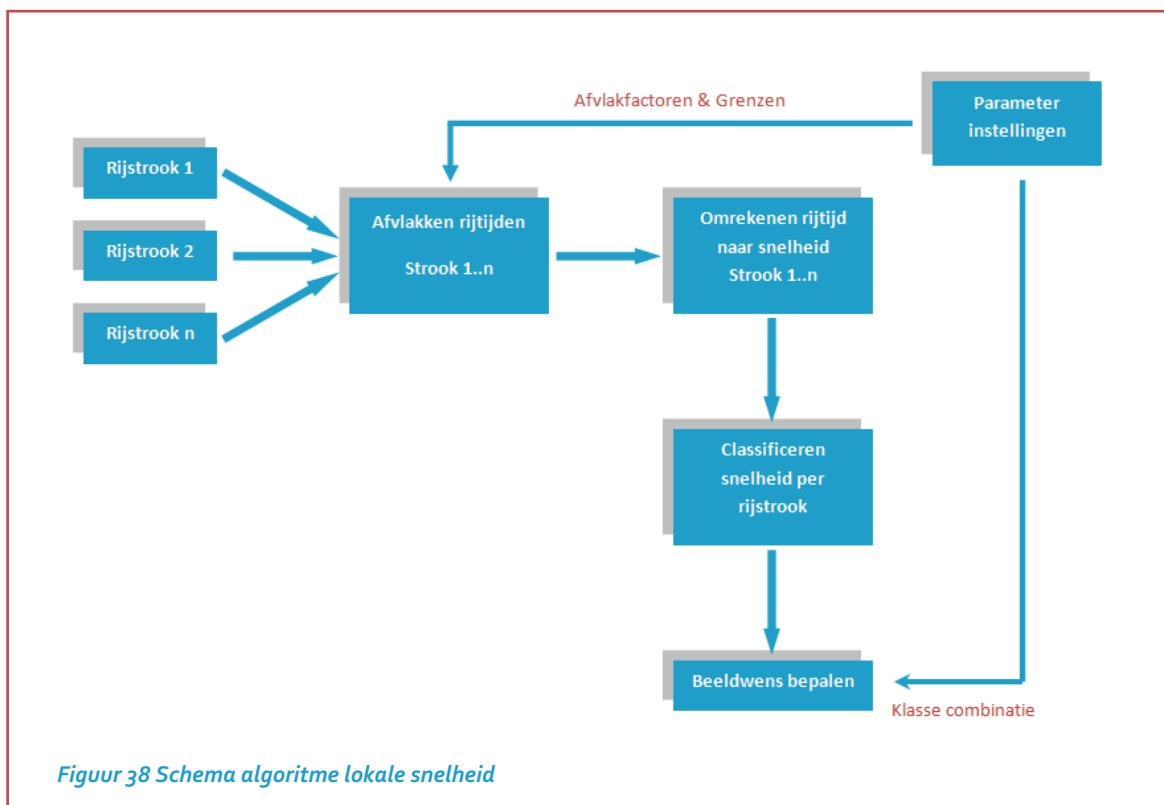
In het nu volgende hoofdstuk worden de gebruikte algoritmen in hoofdlijnen uitgewerkt. Waarna hoofdstuk 7 de definitieve resultaten getoond worden. Om de correctheid van de ontwikkelde programmatuur te testen is een testdataset gemaakt, die makkelijk met de hand door te rekenen is.

6.1 Alternatieven

In deze paragraaf worden de ontwikkelde algoritmen beschreven. Allereerst wordt het huidige AID-algoritme verwerkt en deze dient in het vervolg van het onderzoek als basis voor de verdere analyses. Daarna komen de vier nieuwe algoritmen (traject snelheid, versnelling, dichtheid en een combinatie) aan bod. De algoritmen worden verduidelijkt met een opsomming van de genomen stappen en figuren van de uitkomsten. Verdere analyses op de resultaten zijn in hoofdstuk 7 te vinden.

6.1.1 Lokale snelheid

De methode, zoals beschreven in hoofdstuk 3, is de basis voor het eerste algoritme. De uitkomst van de



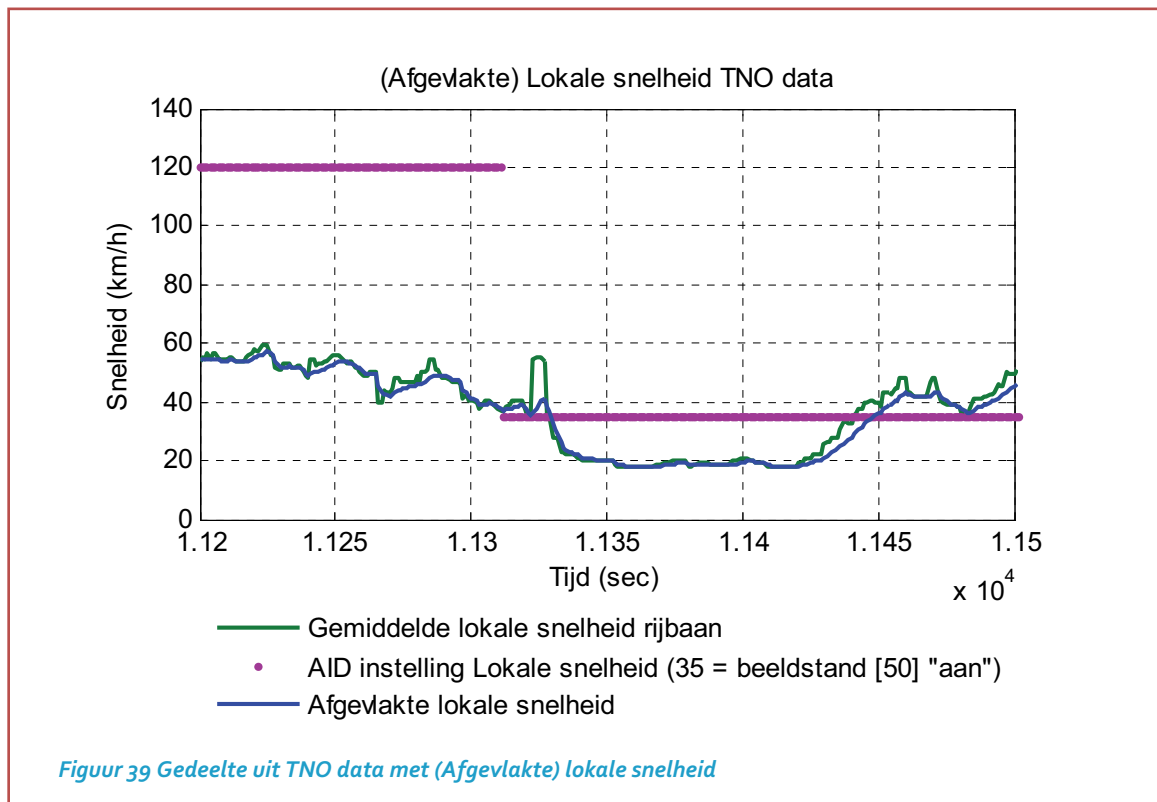
AID-instelling bij de lokale snelheid is hoe het systeem in werkelijkheid zou reageren op de beschouwde verkeerssituatie

Omschrijving methode

Allereerst is de gegenereerde lusdata gesplitst in afzonderlijke data per rijstrook. Per rijstrook en voor elk afzonderlijk voertuig worden de snelheden naar rijtijden verwerkt. Voor elke seconde wordt de gemiddelde rijtijd berekend. Wanneer geen auto gepasseerd is wordt de rijtijd van de voorgaande seconde aangehouden. Achtereenvolgens wordt de afgevlakte rijtijd bepaald en de daarbij behorende afgevlakte snelheid. Met behulp van de afgevlakte rijtijd wordt de AID-klasse per rijstrook bepaald en als laatste de definitieve AID-instelling per seconde. Hiervoor is de actietabel uit Tabel 8 gebruikt. Een schema van de gebruikte methode is te zien in Figuur 38.

Gebruikte parameters

Voor het algoritme zijn de standaard instellingen gebruikt, zoals die in hoofdstuk 3 genoemd zijn. De grenswaarden voor de snelheid liggen op respectievelijk 18 en 200 km/h. Voor de afvlakfactoren worden 0,4 en 0,15 (α_{dec} en α_{acc}) gebruikt. De AID gaat aan wanneer de afgevlakte snelheid onder de 35 km/h komt en gaat weer uit als de afgevlakte snelheid boven de 50 km/h uitkomt. In Figuur 39 is voor een gedeelte van de TNO data de lokale snelheid aangegeven. De grenswaarde van 18 km/h als minimum is duidelijk in de figuur aanwezig. De afvlakfactoren zijn zichtbaar in de afgevlakte snelheid. De afgevlakte snelheid gaat snel naar beneden, maar is trager met snelheidverhogingen. De AID-instelling is aangegeven met de rode punten. Ter hoogte van een snelheid van 35 km/h zal de AID het beeld [50] tonen. De rode punten in de figuur ter hoogte van 120 km/h geven aan dat geen beeld wordt getoond.



Gevoeligheid

De keuze voor de afvlakfactoren heeft een grote invloed op de werking van het algoritme. In een onderzoek naar de optimalisatie van de parameterinstellingen (*Rij 2002*) zijn voor de AID de optimale afvlakfactoren bepaald. Deze parameters zijn in het onderzoek gebruikt. Andere waarden voor de afvlakfactoren zorgen voor grote veranderingen in het aan- en uitgaan van de AID. Een hogere waarde voor α_{dec} laat de

AID eerder reageren, maar wordt daarmee gevoelig voor incidentele snelheidsdalingen. Een lagere waarde voor α_{dec} vlak de snelheid veel meer uit, waardoor de AID heel traag op een snelheidsdaling reageert. Het nog verder uitvlakken van de snelheid gebeurt ook met een lagere waarde voor α_{acc} . Dat zorgt ervoor dat het veel langer duurt voordat de afgevlakte snelheid de gemeten snelheid volgt, waardoor de AID veel langer aan blijft staan. Een hogere waarde voor α_{acc} laat de afvlakking dichter in de buurt van de gemeten snelheid blijven, zodat de AID sneller uitgaat. Om de AID bij schokgolven aan te houden is een lage waarde voor α_{acc} nodig.

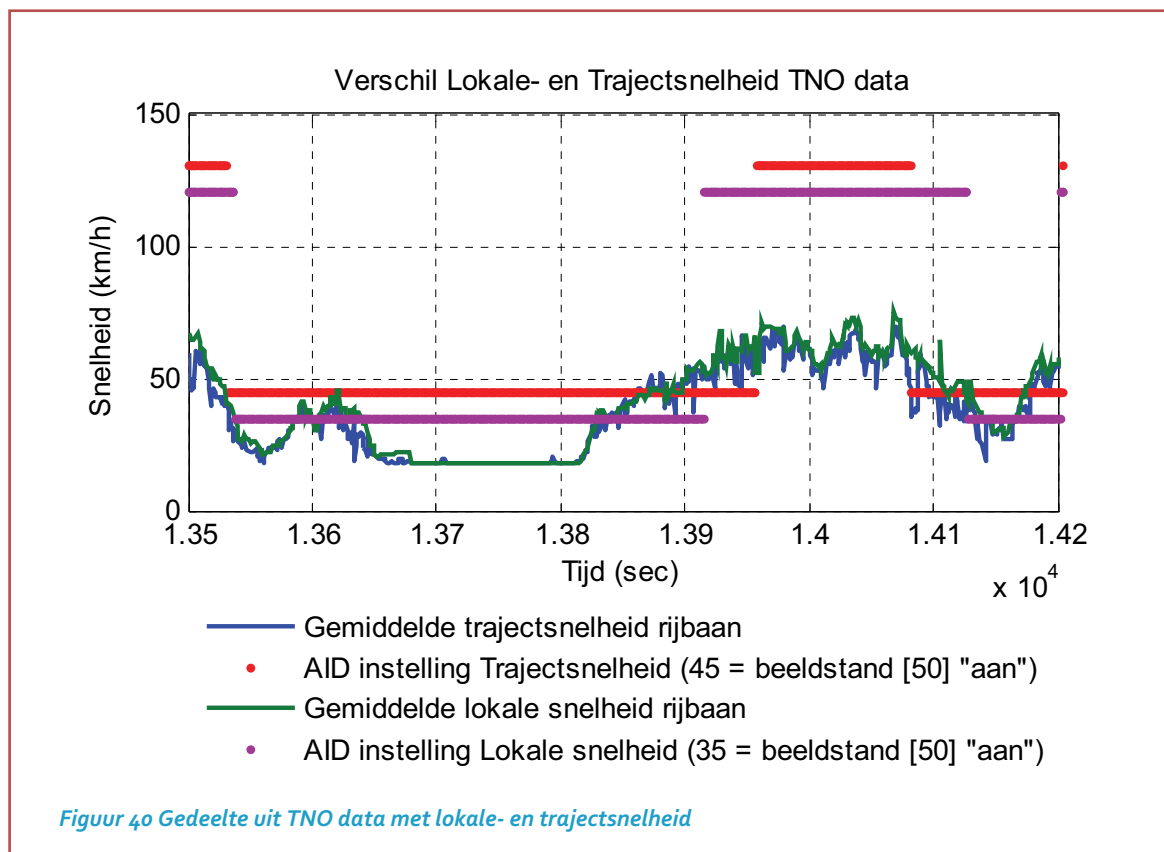
De drempelwaarden voor de snelheid zijn sterk bepalend voor het aan- en uitgaan. Het spreekt voor zich dat het hoger of lager leggen van de drempel de AID op een ander moment laat aan- of uitgaan.

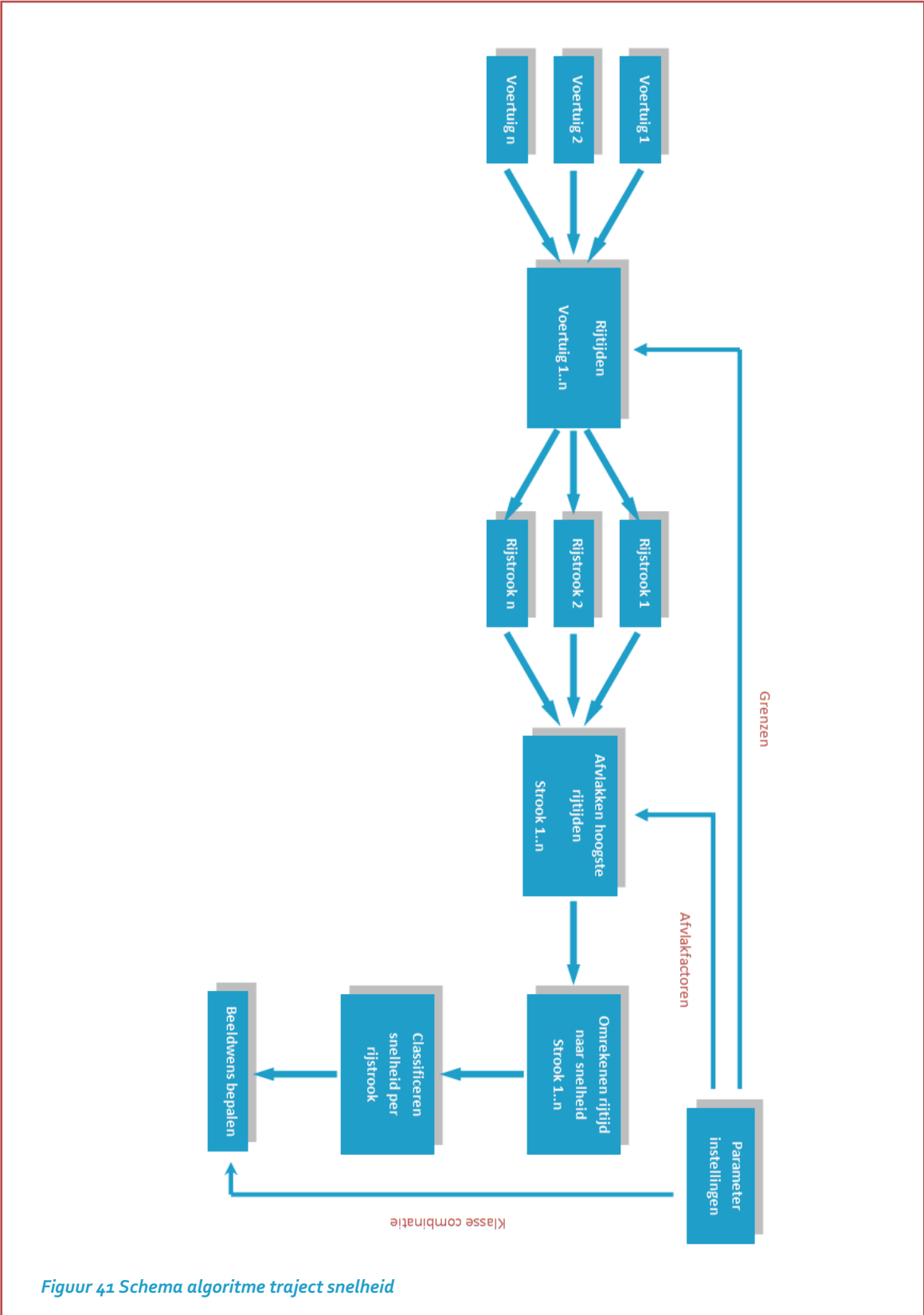
6.1.2 Trajectnsnelheid

Om de AID op basis van snelheden goed te laten reageren is het belangrijk dat lage snelheden van voertuigen zo snel mogelijk gedetecteerd worden. Daarnaast heeft een trajectmeting het voordeel dat het aandeel snelle voertuigen niet overschat wordt (paragraaf 2.1.2.). In het algoritme voor de trajectnsnelheden worden elke seconde de laagste snelheden op de rijstroken geregistreerd. De hypothese bij het algoritme voor de trajectnsnelheid op basis van de laagste snelheden is dat voertuigen met een lage snelheid niet onderschat, en daarnaast eerder gedetecteerd worden, zodat het systeem de weggebruiker eerder waarschuwt voor een file.

Omschrijving methode

Het grote verschil tussen het algoritme voor de trajectnsnelheid en dat voor de lokale snelheid is dat in het traject snelheid algoritme de snelheden van voertuigen over een traject van 50 tot 100 meter bekeken. Voor de rest zijn de algoritmen grotendeels gelijk aan elkaar. Een schematisch overzicht van het algoritme is te vinden in Figuur 41.





Figuur 41 Schema algoritme traject snelheid

Allereerst wordt van elk voertuig dat zich op het traject bevindt de snelheid omgezet naar de rijtijd. De snelheden zijn aan de hand van het unieke voertuigpolynoom berekend. Per seconde wordt van elk voertuig de gemiddelde rijtijd berekend. In de TNO data zijn de gegevens op 25 frames per seconde gebaseerd, dat betekent dat maximaal het gemiddelde van 25 rijtijden wordt genomen. Voor de andere data-sets ligt dit aantal lager (Tabel 10). De rijtijden per seconden van de afzonderlijke voertuigen worden in-



gedeeld op de rijstrook waar de voertuigen zich bevonden. Elke seconde wordt de laagste snelheid per rijstrook op het traject genomen. Dit betekent dat per seconde de hoogste rijtijd als uitgangspunt dient. Met deze hoogste rijtijd per seconde per rijstrook worden de AID-instellingen bepaald.

Gebruikte parameters

De standaard AID-grenzen en afvlakfactoren (hoofdstuk 3) zijn voor het algoritme gebruikt. In Figuur 40 is het resultaat te vinden van het algoritme samen met dat van de lokale snelheid. Het verschil tussen de twee algoritmen is in het figuur duidelijk zichtbaar. Verdere analyses op dit algoritme zijn te vinden in het volgende hoofdstuk.

Gevoeligheid

Bij het algoritme voor de trajectnsnelheid zijn dezelfde parameterinstellingen gebruikt als bij de lokale snelheid. Het algoritme voor de trajectnsnelheid zal hetzelfde reageren op de beschreven parameterveranderingen van het algoritme voor de lokale snelheid.

6.1.3 Versnelling

De tweede afgeleide van de gebruikte vierdegraads polynoom geeft de versnellingen van een voertuig. Deze extra variabele die uit trajectoriën gehaald worden, is mogelijk een goede indicatie van congestie. Voor het bereiken van de lage snelheid tijdens het congestieregime moet een vertraging plaatshebben. Het registreren van een grote vertraging zou in dat geval de start van congestie betekenen. Omdat de vertraging vooraf optreedt is het mogelijk om eerder te waarschuwen.

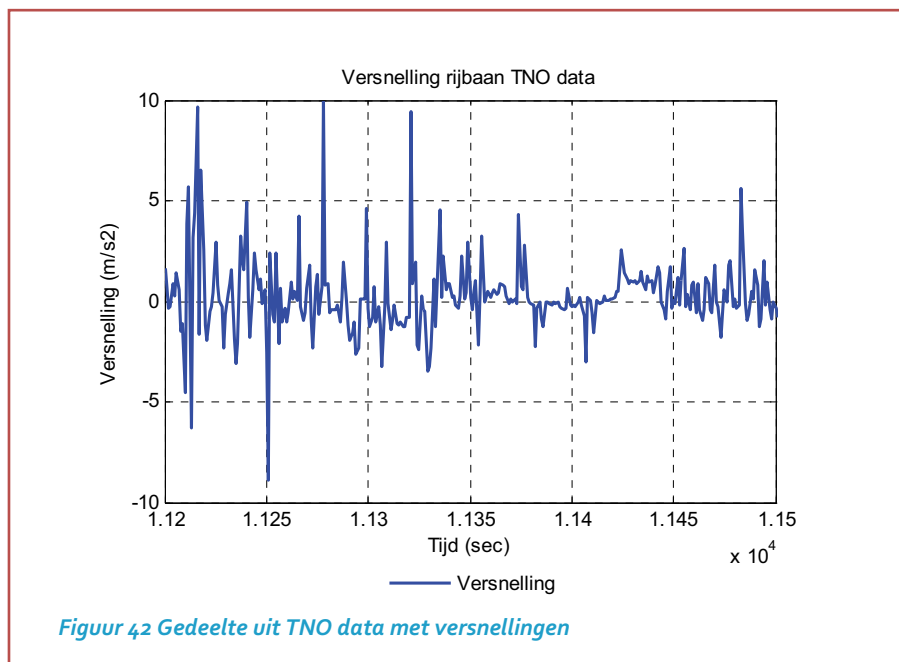
Omschrijving methode

Als basis dienen weer de afzonderlijke voertuigtrajectoriën. Per seconde wordt de gemiddelde versnelling van het voertuig berekend. Om extremen te voorkomen wordt een grens ge-

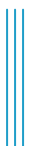
steld op 10 en -10 m/s². De versnellingsgegevens van alle voertuigen per seconde worden gesplitst op basis van de rijstrookpositie van een voertuig. Voor de afzonderlijke rijstroken is elke seconde gekeken naar de gemiddelde versnelling op de rijstrook. Indien geen voertuigen aanwezig zijn wordt de versnelling nul.

Gebruikte parameters

In Figuur 42 is een voorbeeld te zien van de versnellingen. In de data was geen duidelijk verband tussen congestie en versnelling te vinden. Daarom is het algoritme niet verder uitgewerkt en zijn geen parameters gebruikt om het moment van aangaan te bepalen. Meer over de problemen bij het gebruik van versnellingen is in het volgende hoofdstuk te lezen.



Figuur 42 Gedeelte uit TNO data met versnellingen

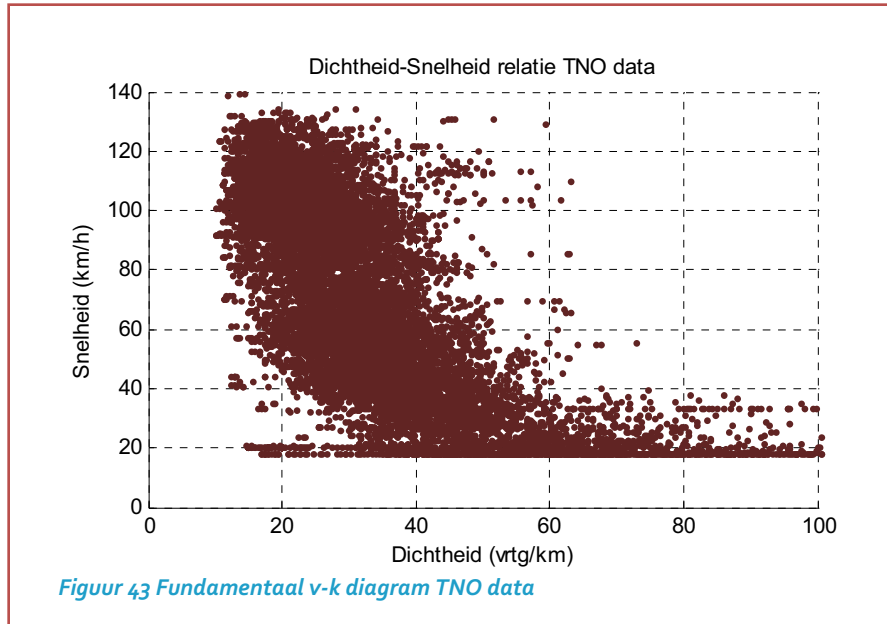


Gevoeligheid

Gezien de resultaten (zie de grafieken in bijlage VI) is het algoritme zeer gevoelig voor relatief kleine snelheidsverschillen. Die gevoeligheid zorgt ervoor dat het algoritme niet werkt zoals in de hypothese werd verondersteld.

6.1.4 Dichtheid

Door een groter meetinterval te kiezen wordt het mogelijk om de dichtheid te berekenen. De dichtheid is



het aantal voertuigen op een lengte eenheid. Oftewel door de gemiddelde afstand tussen de voertuigen te berekenen en de lengte eenheid door dit gemiddelde te delen is de dichtheid bekend. Uit het fundamenteel diagram is af te leiden dat een hogere dichtheid zich bevindt in een congestieregime. De hypothese is dan ook, dat een hoge dichtheid congestie impliceert.

De reden om te werken met de afstand tussen de voertuigen in plaats van het tellen van het aantal voertuigen elke tijdstap is vanwege het feit dat dan het aantal voertuigen per kilometer op een traject van 100 meter altijd een dichtheid afgerond op tientallen oplevert.

Omschrijving methode

De eerste stap is elke hele seconde de positie van een voertuig te berekenen. Zowel de positie in de rijrichting als de strookpositie. Per strook wordt elke seconde de afstand tussen de voertuigen berekend. Aan de hand van de volgafstanden wordt de dichtheid bepaald. De methode is te verduidelijken met een rekenvoorbeeld. Stel op een traject van 100 meter bevinden zich vier voertuigen. Voertuig 1 bevindt zich op 90 meter van het camerastandpunt, voertuig 2 op 75, voertuig 3 op 50 en voertuig 4 op 15. De afstand tussen de opeenvolgende voertuigen zijn respectievelijk 15, 25 en 35 meter. De gemiddelde afstand tussen de voertuigen komt daarmee op 25 meter. De dichtheid wordt daarmee $1000/25 = 40$ vrtg/km.

Gebruikte parameters

Om tot een analyse van de resultaten voor het dichtheid algoritme te komen is allereerst aan de hand van het fundamenteel v-k diagram (Figuur 43) twee drempelwaarden voor het algoritme bepaald. Bij een dichtheid van 50 vrtg/km gaat de AID aan (beeldstand [50]) en gaat uit zodra de dichtheid weer onder de 20 vrtg/km zakt. Om extremen eruit te filteren wordt voor de dichtheid een voortschrijdend gemiddelde over 10 metingen gebruikt. Voor alle datasets zijn met behulp van het fundamentele diagram passende drempelwaarden gekozen.

Gevoeligheid

Het dichtheid algoritme is zeer gevoelig voor de keuze van de parameters. Per situatie moet bekeken worden welke drempelwaarde het meest geschikt is. Het systeem is zelflerend te maken door historische

gegevens te bewaren over snelheid en dichtheid en aan de hand van het met de data geconstrueerde fundamenteel diagram steeds nieuwe drempelwaarden te berekenen.

Wanneer voor de hoogste drempelwaarde een hogere waarde wordt genomen zal het veel langer duren voordat het algoritme ergens op reageert. Een lagere waarde laat het algoritme veel te snel aanspringen, zodat valsmeldingen ontstaan. Een hogere waarde voor de laagste drempelwaarde doet het algoritme sneller uitgaan, waardoor het systeem kan gaan knippen. Een te lage waarde zal daarentegen ervoor zorgen dat het algoritme te lang aanblijft.

6.1.5 Principal component analyse

De PCA (Principal component analyse) wordt in de statistiek gebruikt om in data, die meervoudige dimensies omvatten, de belangrijkste verbanden die daarin besloten liggen te ontdekken en om de onderlinge samenhang tussen de variabelen na te gaan. Bij de PCA-methode tracht men uit een hoeveelheid variabelen een mogelijke samenhang tussen bepaalde bekende variabelen te identificeren (in feite te extraheren) waarbij onbekende variabelen kunnen ontstaan (*Shlens 2005*).

In dit onderzoek is sprake van drie dimensies, snelheid, dichtheid en versnelling. Op dit moment is alleen gekeken naar de afzonderlijke dimensies. Met de PCA wordt geprobeerd om tussen de dimensies onderling verbanden te vinden. Verbanden zouden een betere afstelling van de AID kunnen opleveren.

Omschrijving methode

Als basis voor de PCA-methode zijn de verkregen secondegegevens gebruikt. Omdat de drie dimensies bestaan uit totaal verschillende eenheden wordt de data eerst gestandaardiseerd. Hiervoor wordt de standaarddeviatie van de data berekend. Met andere woorden de gemiddelde afwijking van het gemiddelde. De dimensies worden gestandaardiseerd door de waarden te delen door de standaarddeviatie. De gestandaardiseerde waarden voor snelheid, versnelling en dichtheid worden verder verwerkt met de PCA methode in matlab (*Shlens 2005*).

Gebruikte parameters

De PCA-rating schommelt rond de nul. Een hogere waarde betekent meer kans op congestie en onder de nul betekent normaal gesproken geen congestie. Op basis van iteratieve testen op de drie datasets zijn een hoge drempelwaarde van 1 en een lage drempelwaarde van -1 als meest optimaal bepaald. Dat betekent dat de AID aangaat op het moment dat de PCA-rating boven de 1 komt en pas weer uitgaat als de PCA-rating onder de -1 komt te liggen. Voordeel van de PCA-methode is dat de drempelwaarden in elke situatie werken. In alle drie de datasets zijn dezelfde drempelwaarden gebruikt.

Gevoeligheid

Zoals bij alle andere AID-algoritmen geldt bij de PCA-methode ook dat een andere drempelwaarde de AID anders laat reageren. Een hogere waarde voor de hoogste drempel laat de AID later aangaan en een lagere waarde voor de hoogste drempel laat de AID eerder aangaan, zodat valsmeldingen zich eerder voordoen. De laagste drempelwaarde zorgt ervoor dat de AID niet zo snel aan- en uitgaat achter elkaar. Een hogere waarde betekent dat het systeem eerder uitgaat en vaak op momenten dat het nog niet gewenst is. Een lagere waarde laat het systeem langer aanstaan.

6.2 Verificatie algoritmen

De ontwikkelde algoritmen zijn in eerste instantie getest op rekenfouten door een testdataset. Hiervoor is handmatig een kleine dataset aangemaakt. De gemaakte dataset heeft als hoofddoel het controleren van de methoden om de variabelen te berekenen. Controles of de algoritmen op het juiste moment de AID inschakelt zijn eenvoudig te controleren door een grafiek te plotten met de afgevlakte snelheden en de AID-instellingen.

Omschrijving methode

Als uitgangspunt van de methode dient een willekeurige trajectorie met de formule:

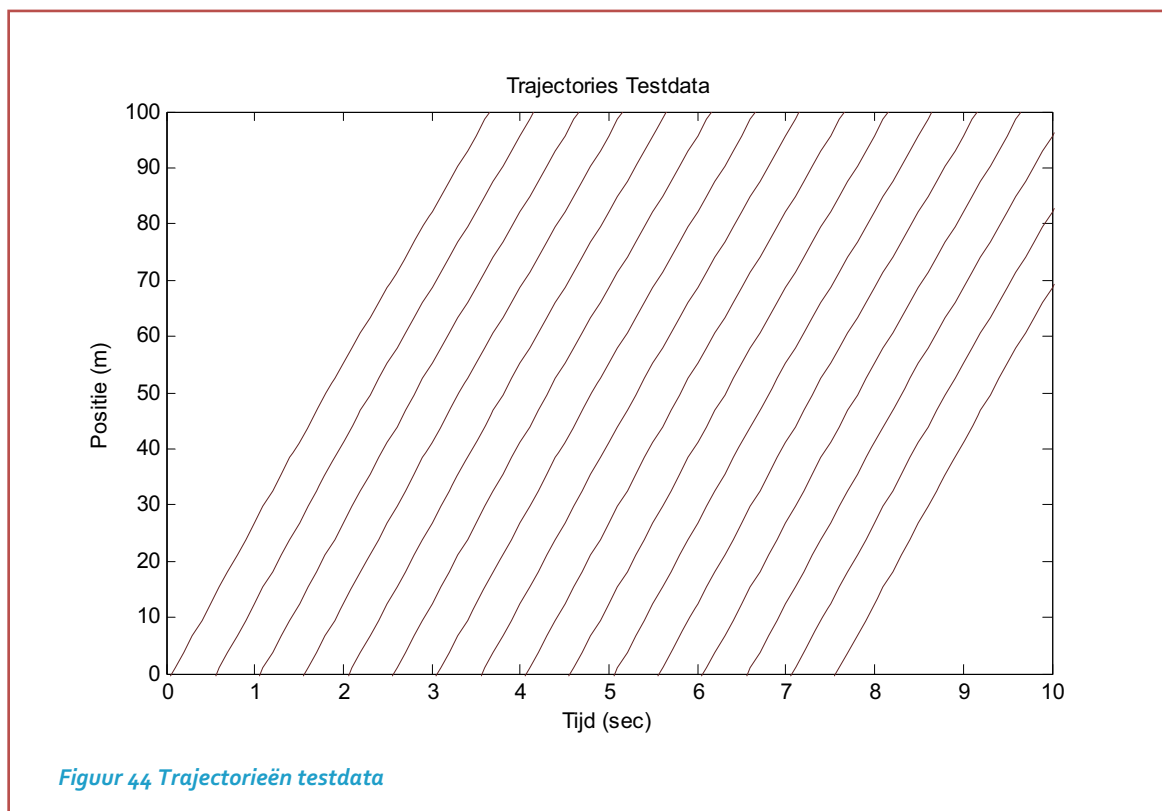
$$y = 0,135x^4 - 0,990x^3 + 1,921x^2 + 27,47x - 1,701. \quad x = [0;10] \text{ \& } y = [0;100]$$

De afgeleide (snelheid) en tweede afgeleide (versnelling) worden respectievelijk:

$$y' = 0,5400x^3 - 2,9715x^2 + 3,8434x + 27,4750.$$

$$y'' = 1,62x^2 - 5,9430x + 3,8434.$$

Totaal zijn 16 voertuigtrajectoriën opgesteld (Figuur 44). Deze trajectoriën zijn allereerst met de gemaakte algoritmen doorgerekend en daarna met de hand uitgewerkt. De resultaten van beide zijn vergeleken om te controleren of de algoritmen doen wat werd verwacht. Na deze controle zijn de andere datasets verwerkt. De uitkomsten per dataset zijn in het volgende hoofdstuk te vinden.



Figuur 44 Trajectorieën testdata



7 Beoordeling van de alternatieven

De data is verwerkt met de beschreven algoritmen in het vorige hoofdstuk. In het nu volgende hoofdstuk worden de resultaten getoond van de alternatieven om het AID-mechanisme aan te sturen. De alternatieven worden geanalyseerd aan de hand van vooraf bepaalde streefwaarden en de resultaten ten opzichte van het standaard AID-algoritme. De resultaten van de algoritmen zijn in Tabel 12 tot en met Tabel 14 te vinden. Een uitgebreide lijst van alle meldingen is in Bijlage V toegevoegd. In eerste instantie wordt een overzicht gegeven van het totaalresultaat waarna dieper wordt ingegaan op de afzonderlijke algoritmen. Vanwege de grootte van de datasets, met name die van TNO, is voor de overzichtelijkheid een gedeelte van de resultaten weggelaten

7.1 Streefwaarden algoritmen

In hoofdstuk 3 zijn de belangrijkste verbeterpunten van de AID vastgesteld. Het systeem moet op tijd aangaan en tijdens schokgolven mag het systeem niet "knippen". Op basis van deze punten zijn voor de geanalyseerde data streefwaarden voor het aan- en uitgaan opgesteld. Op het moment dat het gemiddelde snelheidsverloop op de rijbaan duidelijk inzakt richting congestie moet het systeem reageren en tijdens schokgolven moet de AID aanblijven. Het uitgaan moet zodra het snelheidsverloop duidelijk het einde van de congestie aangeeft. Dit resulteert in de streefwaarden voor de verschillende situaties zoals vermeld in Tabel 11.

Tabel 11 Streefwaarden voor de AID

	Aan	Uit
TNO deel 1	3340	>5000
TNO deel 2	<10000	14200
NGSIM 300m	1320	1720
NGSIM 400m	1350	1750
NGSIM 500m	1310	1750
Everdingen 300m	85	290
Everdingen 400m	90	290
Everdingen 500m	110	290

7.2 Resultaten algoritmen

De werking van de AID voor de verschillende algoritmen is geanalyseerd met behulp van de drie datasets. De resultaten zijn in onderstaande tabellen opgesomd. Punten waarnaar gekeken is, zijn:

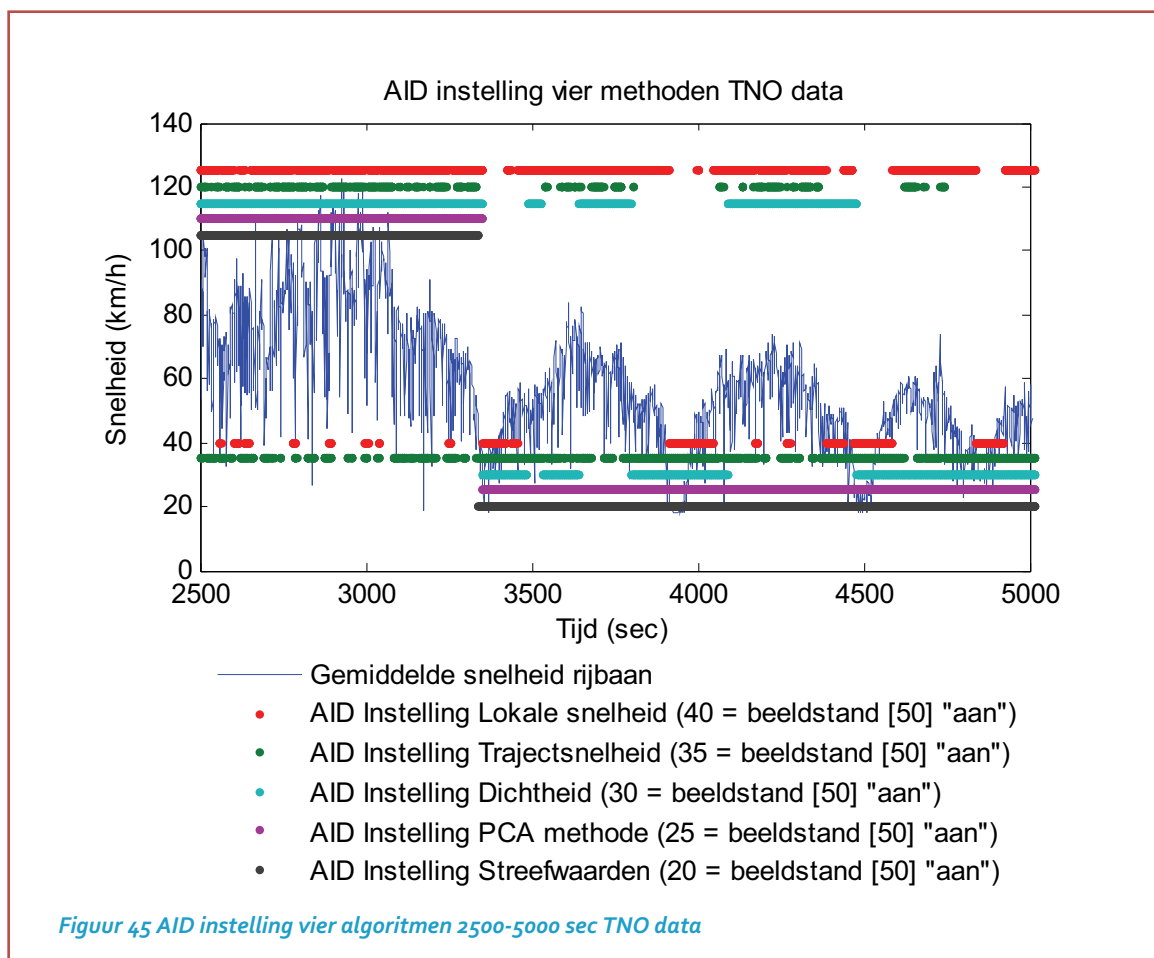
- Aantal meldingen, Het totaal aantal keren dat de AID aanspringt.
- Totaal seconden 'aan', Het totaal aantal seconden dat de AID aanstaat gedurende de beschouwde periode.
- 'aan' < 10 seconden, Aantal keren dat de AID aanspringt, maar binnen 10 seconden weer uitgaat. Deze waarden is een indicatie, dat of het algoritme veel knippert of dat het algoritme veel valse meldingen geeft.
- Percentage eerder 'aan' t.o.v Lokaal, In hoeveel procent van de gevallen is een melding eerder dan de melding van de lokale snelheid. Een hoog percentage geeft aan dat het systeem in veel gevallen op tijd aan gaat.
- Aantal extra gewaarschuwde voertuigen t.o.v Lokaal, Deze waarde is gebaseerd op de gemiddelde intensiteit. In de TNO data komen bijvoorbeeld 12626 voertuigen in 17098 seconden langs. Per se-

conde geeft dat een gemiddelde van 0,74 voertuigen. Het verschil in Totaal seconden 'aan' tussen twee algoritmen vermenigvuldigd met het aantal voertuigen per seconde geeft de waarde voor het aantal extra gewaarschuwde voertuigen in het beschouwde tijdsinterval.

Tabel 12 Overzicht resultaten TNO data

	Tijd	Lokaal	Traject	Dichtheid	PCA				
Aantal meldingen	2500-5000 sec	17	44	4	1				
	10000-15000 sec	11	21	13	1				
Totaal seconden 'aan'	2500-5000 sec	584	1722	1053	1647				
	10000-15000 sec	3001	3479	3123	4250				
'aan' < 10 seconden	2500-5000 sec	3	17,6%	14	31,8%	0	0,0%	0	0,0%
	10000-15000 sec	1	9,1%	7	33,3%	0	0,0%	0	0,0%
Percentage eerder 'aan' t.o.v Lokaal	2500-5000 sec	*	92,8%	50%	100%				
	10000-15000 sec	*	75%	69,2%	100%*				
Aantal extra gewaarschuwde voertuigen t.o.v Lokaal	2500-5000 sec	*	840	346	785				
	10000-15000 sec	*	353	90	922				

* Starten tegelijk op t=10000

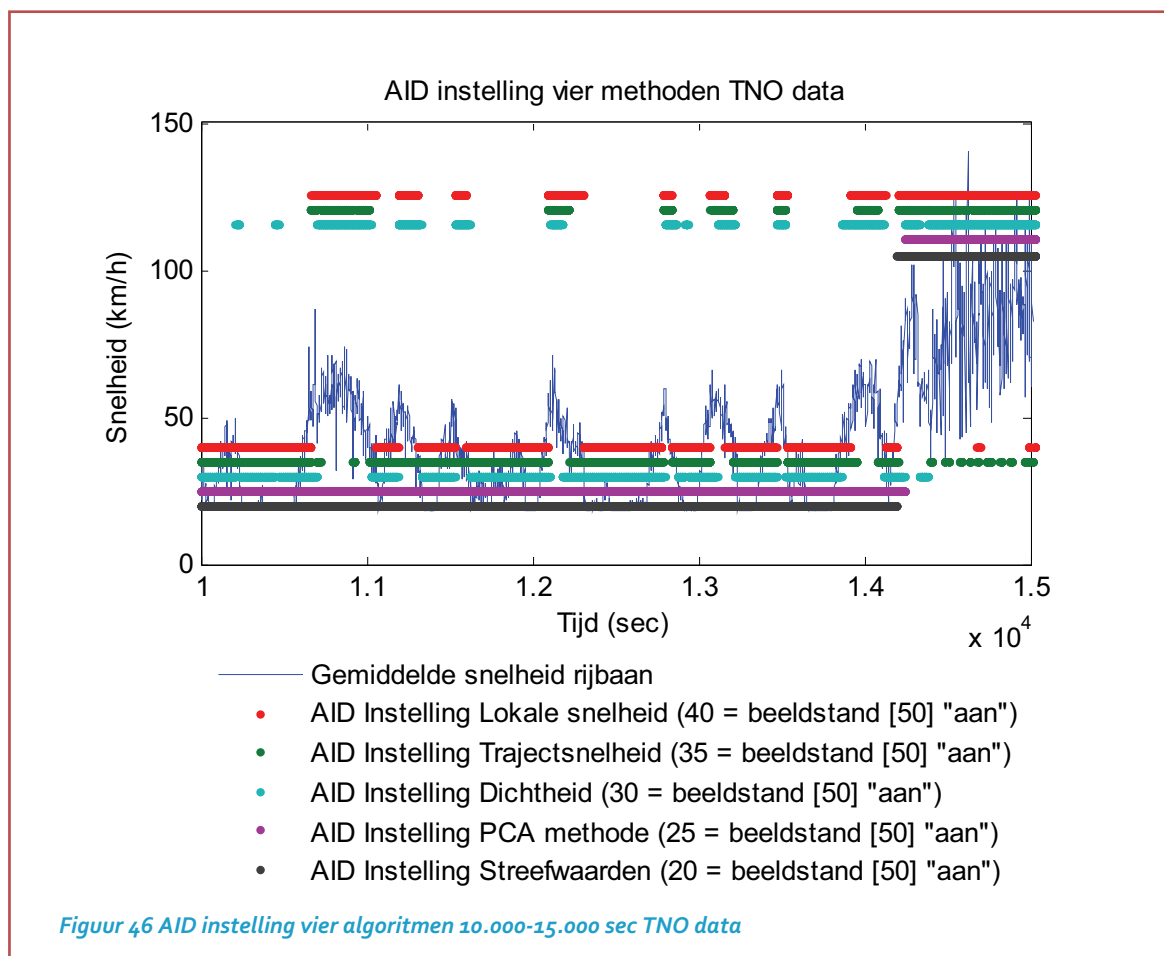


In Tabel 12 zijn de resultaten van de TNO data te vinden. In deze data zitten verschillende regimes (free flow, congestie, schokgolven), waardoor deze voor de analyse zeer interessant is. Omdat het om vier uur aan data gaat is een splitsing gemaakt. Allereerst een gedeelte met congestieopbouw en schokgolven en het tweede gedeelte schokgolven waarna de congestie verdwijnt.

De verschillen zijn in de TNO data grafisch aangegeven (Figuur 45 & Figuur 46). In deze figuren zijn de AID-instellingen van alle algoritmen aangebracht. Dit geeft een goed beeld van de werking van de verschillende algoritmen.

De NGSIM en Everdingen data bestrijken een veel kleiner tijdsinterval. Hierdoor is veel minder informatie uit de gegevens te halen. Het aantal meldingen voor elk algoritme ligt erg laag en het percentage dat eerder aangaat dan lokaal is niet veelzeggend. Hiervoor moet het algoritme langer getest worden. Wel zijn een aantal overeenkomsten te zien met de TNO data. Zo ligt in alle gevallen het aantal meldingen met de PCA methode laag en blijft dit algoritme veel langer aanstaan, zodat meer voertuigen gewaarschuwd worden.

De invloed van het meetgebied is meegenomen in de resultaten. Een splitsing is gemaakt in trajecten van 50 en 100 meter. Op de trajecten van 100m wordt eerder een melding gegeven en blijft de AID langer aan.



Tabel 13 Overzicht resultaten NGSIM data

	Traject	Lus	Lokaal	Traject	Dichtheid	PCA
Aantal meldingen	50m	300m	2	2	2	1
		400m	3	3	2	1
		500m	3	3	1	1
	100m	300m	2	2	1	1
		400m	3	3	1	1
		500m	3	2	1	1
Totaal seconden 'aan'	50m	300m	87	112	71	427
		400m	151	215	271	441
		500m	246	295	397	425
	100m	300m	87	124	224	444
		400m	151	242	400	532
		500m	246	337	423	527
'aan' < 10 seconden	50m	300m	0	0	0	0
		400m	0	0	0	0
		500m	0	0	0	0
	100m	300m	0	0	0	0
		400m	0	0	0	0
		500m	0	0	0	0
Percentage eerder 'aan' t.o.v. Lokaal	50m	300m	*	100%	0%	100%
		400m	*	100%	50%	100%
		500m	*	100%	100%	100%
	100m	300m	*	100%	0%	100%
		400m	*	100%	100%	100%
		500m	*	100%	100%	100%
Aantal extra ge-waarschuwde voer-tuigen t.o.v Lokaal	50m	300m	*	66	-42	894
		400m	*	168	316	763
		500m	*	129	397	471
	100m	300m	*	97	360	939
		400m	*	239	655	1002
		500m	*	239	465	739

Tabel 14 Overzicht resultaten Everdingen data

	Traject	Lus	Lokaal	Traject	Dichtheid	PCA
Aantal meldingen	50m	300m	3	2	1	1
		400m	2	1	1	1
		500m	2	2	2	1
	100m	300m	3	2	1	2
		400m	2	2	2	1
500m		2	2	2	1	
Totaal seconden 'aan'	50m	300m	61	65	19	172
		400m	53	55	36	164
		500m	81	84	51	159
	100m	300m	61	87	38	131
		400m	53	66	107	164
500m		81	95	97	162	
'aan' < 10 seconden	50m	300m	0	0	0	0
		400m	0	0	0	0
		500m	0	0	0	0
	100m	300m	0	0	0	0
		400m	0	1*	0	0
500m		0	0	0	0	
Percentage eerder 'aan' t.o.v. Lokaal	50m	300m	*	100%	0%	0%
		400m	*	100%	0%	0%
		500m	*	50%	0%	100%
	100m	300m	*	100%	100%	100%
		400m	*	100%	0%	0%
500m		*	50%	50%	100%	
Aantal extra ge-waarschuwde voer-tuigen t.o.v Lokaal	50m	300m	*	4	-46	121
		400m	*	2	-18	121
		500m	*	3	-32	85
	100m	300m	*	28	-24	76
		400m	*	14	59	121
500m		*	15	17	88	

* Einde van meting, waardoor dit waarschijnlijk start van nieuwe congestie betekend

7.3 Resultaten trajectsnelheid

Het eerste wat opvalt in de trajectsnelheid resultaten zijn de vele extra meldingen ten opzichte van de AID-referentiesituatie (lokale snelheid). Vooral in de situaties buiten de congestie ontstaan veel meer meldingen. De reden van deze extra meldingen is vanwege het feit dat elke seconde de laagste snelheid van een voertuig op het traject wordt gemeten. Bij een inductielus passeert niet elke seconde een voertuig. Wanneer elke seconde een meting wordt gedaan heeft een trajectmeting veel meer metingen. Niet alleen meer metingen, maar ook elke keer de laagste. Het gevolg is dat bij een corrupte meting of een incidentele lage snelheid het aflakalgoritme veel sneller onder de 35km/h duikt, waardoor de AID aanspringt. De problemen ontstaan nu in de perioden net voor en na de congestie, maar ook in gedeelte van congestie waar nog grote fluctuaties in snelheid voorkomen (Figuur 45 & Figuur 46). Dit AID-gedrag is niet gewenst en zorgt voor veel onnodige onrust bij weggebruikers. Aanpassingen aan het algoritme zouden

dit ongewenst gedrag eruit kunnen halen. Verder onderzoek is gewenst bij het eventueel toepassen van deze methode.

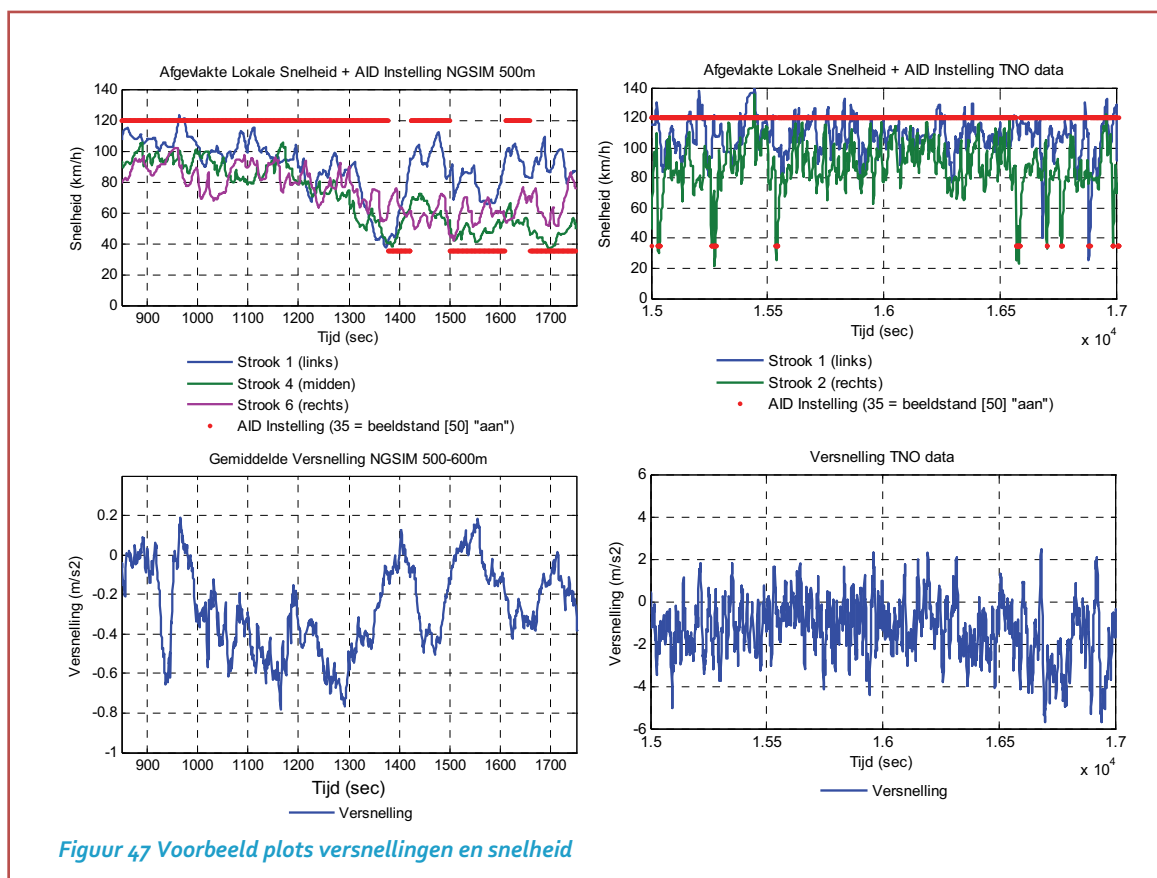
In een duidelijk congestieregime met weinig grote fluctuaties (Figuur 46) is het beeld stabiel. De AID blijft langer aan en in de meeste gevallen wordt eerder (gemiddeld 15 tot 20 sec) gewaarschuwd. Soms springt de AID minder snel aan doordat in de grote fluctuaties van de traject snelheid de afvlakking ervoor zorgt dat het even duurt voordat deze onder de 35km/h komt.

Een vergelijking op basis van de streefwaarden laat zien dat het algoritme net iets later reageert als gewenst. Wanneer een algoritme op basis van de snelheden reageert, is dat begrijpelijk. Het algoritme moet eerst zeker weten dat de snelheidsdaling werkelijk het begin van congestie aangeeft. Hierdoor gaan altijd een aantal seconden verloren. Het uitgaan is net iets later als gewenst. Grote afwijkingen tussen de traject snelheid en de streefwaarden zijn tijdens de schokgolven en free flow situaties te zien. In deze periodes zijn veel meer meldingen.

Samengevat doet tijdens congestie het algoritme wat gevraagd wordt, eerder waarschuwen en minder snel aan en uit gaan. In totaal worden veel meer auto's gewaarschuwd voor naderende congestie. In een klein gedeelte van de gewaarschuwde weggebruikers gaat om een valse melding. Dat wil zeggen dat de voertuigen zich in het einde van de congestie bevinden en de snelheid aan het stijgen is. Waarschuwingen op dat moment verstoren het oplossen van de congestie.

7.4 Resultaten versnelling

De hypothese, dat voorafgaand aan congestie een deceleratie te zien is, blijkt volgens de resultaten waar te zijn. In Figuur 47 zijn twee voorbeelden uit de datasets genomen. In de linker figuren is duidelijk te zien dat een snelheidsdaling vooraf wordt gegaan door een vertraging. Echter in het free flow gedeelte zijn ook een aantal flinke vertragingen te zien. In de rechter figuren is hetzelfde te zien. De snelheden zijn op



peil, dat wil zeggen tussen de 80 en 120 km/h op een aantal uitzonderingen na. Hoge snelheden leiden niet tot een constante versnelling van rond de 0 m/s². Het verschil tussen een versnelling als het gevolg van opkomende congestie of versnellingen in een free flow gedeelte zijn slecht uit elkaar te houden. Daarbij komt nog eens dat het einde van congestie niet uit de versnellingen is af te leiden. Met versnellingen wordt het lastig om te bepalen wanneer de AID uit mag. Redenen waarom het algoritme op basis van versnellingen niet werkt zijn:

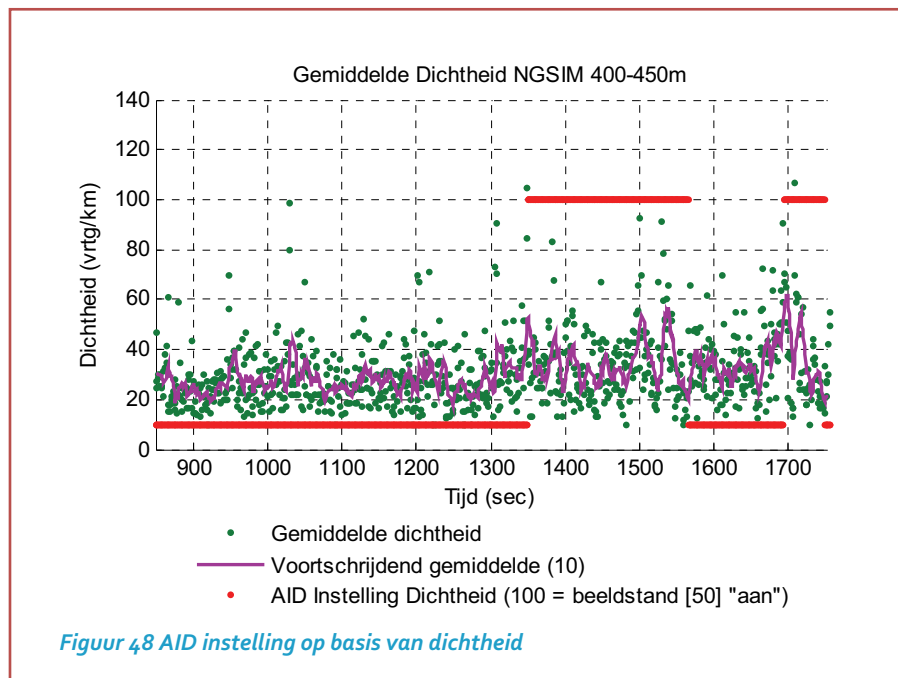
- In een free flow situatie bestaan veel momenten waar hard wordt afgeremd. Te denken valt aan vrachtwagens die elkaar inhalen of andere voertuigen die langzaam aan het inhalen zijn op de linker rijstrook. Achteropkomend verkeer met een hoge snelheid remt in dergelijke gevallen vaak sterk op het laatste moment. Bij weinig verkeer zijn de snelheidsverschillen vaak groter en ontstaan deze situaties eerder.
- Weinig voertuigen rijden een constante snelheid. Bestuurders moeten zich continue aanpassen aan het verkeer rondom hen. Vooral bij drukte zorgen strookwisselingen en invoegingen voor veel onrust, wat regelmatig gepaard gaat met hard remmen.
- Aan het einde van de congestie zal door bestuurders versneld gaan worden. Echter bij schokgolven wordt ook versneld. Een versnelling als gevolg van een schokgolf of het einde van een file is daarom niet uit elkaar te halen.

Het op tijd waarschuwen van bestuurders voor congestie aan de hand van de vertragingen is wel mogelijk maar levert enorm veel foutmeldingen op, omdat alle vertragingen die niet het gevolg zijn van congestie meegenomen worden. Het tweede doel om het steeds aan- en uitspringen te voorkomen is met de versnellingen niet op te lossen. Een duidelijk punt dat het einde van congestie aangeeft is niet aan te wijzen. De belangrijkste probleempunten van de AID zijn niet op te lossen, waardoor verdere uitwerking van dit algoritme achterwege is gelaten.

7.5 Resultaten dichtheid

De grafieken (Figuur 48) met daarin de dichtheid uitgezet tegen de tijd laten op het eerste gezicht mooie resultaten zien. Bij congestie is een toename van de dichtheid te zien en de schokgolven zijn waar te nemen door verdichtingen en verdunningen in de verkeersstroom.

Toch is de dichtheid geen robuuste variabele om congestie te detecteren. De AID springt niet altijd eerder aan in vergelijking met de referentiesituatie (lokale snelheid) en de streefwaarden. In sommige gevallen verschijnt een waarschuwing te laat. Op het punt van aan- en uitspringen scoort het algoritme beter. Tijdens schokgolven



Figuur 48 AID instelling op basis van dichtheid

zijn weinig wisselingen te zien. En tijdens de perioden zonder congestie komen geen meldingen door. Het algoritme is in deze gevallen stabiel. Wanneer een melding doorkomt is het meteen een serieuze melding, wat af te leiden is uit het feit dat zeer korte waarschuwingen niet worden gegeven.

Toch is het niet voldoende om het algoritme te gaan gebruiken. Probleem bij dichtheid is dat er niet altijd een duidelijke relatie met congestie bestaat. Congestie hoeft namelijk niet te ontstaan door een hoge dichtheid, bijvoorbeeld bij een ongeval. In dergelijke gevallen duurt het een tijd voordat met de dichtheid een melding wordt gegeven. En bij inhalende vrachtwagens zal de dichtheid tijdelijk hoger zijn, maar dat houdt geen congestie in

7.6 Resultaten PCA

In de resultaten van het algoritme voor de trajectnelheid en het algoritme voor de dichtheid waren in beide gevallen voor- en nadelen te vinden. De trajectnelheid reageert snel, soms te snel. Terwijl de dichtheid wat betreft de meldingen veel betrouwbaarder is. Tijdens free flow situaties geeft het algoritme geen meldingen en in de congestiefase alleen wanneer er echt wat aan de hand. Een combinatie van beide zou theoretisch mooie resultaten moeten opleveren. Aan de hand van de PCA is de mogelijkheid van combinaties vergeleken.

De PCA is in eerste instantie geanalyseerd met de TNO dataset, omdat hierin duidelijk de geschetste problemen in voorkomen (free flow, congestie en schokgolven). Door de schokgolven gaat de AID continue aan en uit. En bij enkele lage snelheden schiet de AID vaak weer aan. Totaal zijn drie combinaties met elkaar vergeleken:

1. Trajectnelheid – Dichtheid – Versnelling
2. Trajectnelheid – Dichtheid
3. Trajectnelheid – Versnelling

De resultaten van de eerste hoofdcomponent zijn grafisch weergegeven in de figuren van bijlage VI. Aan de hand van deze figuren is een eerste analyse gemaakt. Uit Figuur 67 blijkt de combinatie van Trajectnelheid en Versnelling een heel vlak beeld te geven terwijl de andere twee combinaties duidelijke overeenkomsten met elkaar hebben qua verloop. De invloed van de versnelling is zeer gering. In deze paragraaf worden de resultaten van de tweede methode (Trajectnelheid – Dichtheid) besproken. Gekozen is voor deze methode omdat versnelling weinig toevoegt en met twee variabelen (Trajectnelheid en Dichtheid) voldoende gegevens beschikbaar zijn om een duidelijk verloop in de PCA-rating te hebben. In de meeste gevallen verklaarde de eerste hoofdcomponent ruim 75% van de data, dat is voldoende om aan de hand van de eerste hoofdcomponent uitspraken over de resultaten van de AID-instelling te doen.

De incidentele lage snelheden en eventuele fouten zijn in de PCA-methode gewoon meegenomen. Daarom wordt bij deze data eerst een afvlakking toegepast. Hiervoor is een voortschrijdend gemiddelde genomen over 10 metingen.

Het resultaat van de methode zijn zeer goed. Allereerst de resultaten op het punt van eerder aanspringen. In alle datasets springt, wanneer een melding wordt gegeven, met deze methode de AID eerder aan. Het aanspringen gebeurt alleen op momenten dat daadwerkelijk de snelheden richting congestie verschuiven. Tijdens free flow gedeelten reageert deze methode niet. Op het punt van aan- en uitspringen is de score ook zeer goed. Tijdens schokgolven blijft met deze methode de AID continue aan.

De PCA-methode komt het dichtste in de buurt van de streefwaarden. Het aan- en uitgaan verschilt maximaal 30 seconden met de gewenste situatie. Op het gebied van stabiliteit scoort de PCA-methode maximaal.



7.7 Score algoritmen filestaartbeveiliging

In Tabel 15 zijn de scores opgenomen van de geanalyseerde algoritmen. De punten waarop de score is gebaseerd zijn de problemen waarmee het huidige AID-algoritme te kampen heeft (Hoofdstuk 3). Ten eerste of het algoritme voertuigen op tijd waarschuwt. Het liefst worden bestuurders zo vroeg mogelijk gewezen op eventuele congestie. In de streefwaarden is het ideale moment van aangaan voor de beschouwde situaties gegeven. Geen één van de algoritmen was in staat om op dat moment al een waarschuwing te geven. De hoogste score is daarom aan geen één alternatief toegewezen. De PCA-methode werkt het beste. Deze methode is aan het begin van congestie gelijk of iets eerder als de referentiesituatie, maar waarschuwt vooral veel extra voertuigen tijdens schokgolven. Dichtheid scoort heel wisselend op dit onderdeel.

Het tweede probleem is, dat wanneer de congestie niet onder de 35 km/h komt het huidige AID-algoritme niet aanspringt. Bij de trajectsnelheid verandert dit niet, omdat in dat geval nog steeds de snelheden boven de 35 km/h uur liggen. Doordat in dergelijke gevallen de dichtheid wel toeneemt reageert deze methode sneller. Maar een combinatie van beide scoort in deze situatie beter, doordat een lagere snelheid indicatie in combinatie met een hogere dichtheid stabielere reageert.

Het laatste punt is het aan- en uitgaan van de AID door bijvoorbeeld schokgolven. Het alternatief op basis van de trajectsnelheid scoort redelijk tijdens schokgolven. Het blijft wel langer aan, maar gaat af en toe nog wel uit. De echte problemen ontstaan bij grote snelheidsfluctuaties. In dergelijke gevallen springt het mechanisme snel aan en uit. De dichtheid is iets stabielere. Wanneer het systeem aanspringt blijft het ook een tijdje aan, maar knippen tijdens schokgolven blijft zich voordoen. De PCA is heel stabiel en gaat pas uit wanneer de congestie daadwerkelijk voorbij is.

Tabel 15 Scoretabel AID algoritmen

	Op tijd waarschuwen	Snelheden blijven in congestie te hoog	Knippen
Traject Snelheid	+/-	--	+/-
Dichtheid	-	+	+
PCA methode	+	++	++

++ = zeer goed

-- = zeer slecht

8 Conclusies en aanbevelingen

Tot slot van dit rapport is het onderzoek samen te vatten in de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

8.1 Conclusies

De conclusies worden ingedeeld in drie deelconclusies. Ten eerste conclusies over het videomonitoring systeem. Het tweede gedeelte behandelt de conclusies aangaande nieuwe algoritmen voor de AID. En als laatste conclusies over de verhouding AVV en videomonitoring.

8.1.1 Conclusies videomonitoringsystemen

In de systemen is een tweedeling aan te brengen. Aan de ene kant staan de systemen, die tellingen uitvoeren. Bij videomonitoring zijn de tellingen verder uit te breiden met meetgegevens uit trajectmetingen (volgafstand, trajectnelheid). De ideale positie voor de camera bij tellingen is op een portaal, met daarbij de camera via een hoek van 45 graden gericht op de voorkant van de voertuigen. Aan de andere kant staan de observatiesystemen. In feite zijn deze systemen de werkelijke toegevoegde waarde van een videomonitoringsysteem. Via observaties zijn wegvakken van ruim 300 meter in de gaten te houden. Camera's voor observatie doeleinden zijn in de (verstevigde) lichtmasten in de middenberm aan te brengen.

De keuze van een videomonitoringsysteem hangt sterk af van het doel wat voor ogen staat. De kwaliteit van het systeem staat en valt bij de keuzes die worden gemaakt wat betreft de installatie. Wanneer nauwkeurig tellingen gewenst zijn is het niet mogelijk om met hetzelfde systeem een groot gebied (> 75m) in beeld te brengen. Het op grote hoogte overzien van een traject (> 300m) gaat ten kostte van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van tellingen, maar is wel in staat door de andere output gegevens de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van andere toepassingen te verbeteren (incidentdetectie).

Voor segmentatie en detectie van voertuigen is een algoritme, dat verschil maakt in voor- en achtergrond objecten, het meest geschikt. Voorwaarde is wel dat het gaat om een adaptief algoritme om zich aan te kunnen passen aan de wisselende omstandigheden.

Het herkennen van gedetecteerde voertuigen in de volgende beelden is het makkelijkste door naar eigenschappen van de voertuigen te zoeken. Bijvoorbeeld de kleur en vorm. Het voorspellen van een nieuwe positie zorgt voor het efficiënter zoeken en betere resultaten

Resultaten uit eerdere testen laten zien dat de huidige systemen nog niet in staat zijn om de functionele eisen van AVV te halen. De testen zijn ruim drie jaar of langer geleden uitgevoerd. In die tijd is een hoop veranderd op het gebied van de algoritmen, maar ook de camera's zijn steeds beter geworden. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid de laatste jaren waarschijnlijk met een paar procent is toegenomen tot een nauwkeurigheid van gemiddeld rond de 5%. Het aangeven wel of geen voertuig is al mogelijk met een betrouwbaarheid van richting de 97-99%. Het voordeel bij observatie doeleinden is, dat eventuele twijfelgevallen door de operator als supervisor zijn te controleren.

Het gebruik maken van meerdere camera's levert voordelen op wat betreft het beter kunnen voorspellen van voertuigposities en vanaf twee camera's wordt het mogelijk om 3D-beelden te reconstrueren.

8.1.2 Conclusies nieuwe AID-algoritme

Het algoritme op basis van trajectnelheden blijft langer aan en reageert in bijna alle gevallen sneller (ruim 80%), maar heeft als groot nadeel dat veel nieuwe meldingen worden gegeven. Deze extra meldingen zijn



allemaal korte meldingen en meestal vals. De reden van deze extra meldingen en het soms te laat reageren ligt aan het feit dat bij het algoritme elke seconde een snelheidsmeting beschikbaar is. Bij lussen is niet elke seconde een snelheidsmeting beschikbaar. Doordat elke seconde een meting beschikbaar is van de laagste snelheden schiet deze soms te snel door tot onder de 35 km/h. Een nieuwe methode voor de afvlakking en/of voor de drempelwaarde kan misschien het euvel verhelpen.

Versnellingen zijn geen goede methode om congestie te detecteren. Versnelling is een eigenschap dat zowel in free flow als in een congestieregime optreedt. Bij hoge intensiteiten maar met nog hoge snelheden treden altijd veel verstoringen op. Dit wordt nog eens versterkt door bijvoorbeeld in- en uitvoegers. Voertuigen komen met een hoge snelheid achterop een langzaam inhalend voertuig rijden en vertragen op het laatste moment sterk. Een vertraging die de indruk van congestie zou kunnen wekken maar in werkelijkheid geen reden voor een waarschuwing geeft.

De relatie dichtheid en congestie is niet een duidelijke. Congestie ontstaat namelijk niet altijd door een hoge dichtheid. Het gevolg is dat het algoritme op basis van de dichtheid niet op tijd reageert. Voordeel van het algoritme is dat wanneer daadwerkelijk een melding wordt gegeven het 100% zeker is dat congestie optreedt. Als stand-alone algoritme is het niet robuust genoeg voor filestaartbeveiliging.

Een combinatie van trajectnsnelheid en dichtheid met behulp van een PCA is een ideale combinatie. De twee eigenschappen zijn goede aanvullingen op elkaar. Een algoritme op basis van de PCA-methode resulteert in een waarschuwing eerder of tegelijkertijd ten opzichte van de referentiesituatie. Het aan- en uitgaan van de AID behoort tot de verleden tijd. In een congestieregime blijft het algoritme continue aan. Het algoritme is een adaptief systeem. Over een langere tijd moeten metingen van snelheid en dichtheid binnenkomen waarmee de nieuwe variabelen met de PCA worden berekend.

Het meten over een afstand van 50 of 100 meter heeft invloed op de resultaten. Over een afstand van 100 meter wordt eerder gewaarschuwd en blijft de AID langer aanstaan. Gevolg is dat meer voertuigen worden gewaarschuwd en daardoor de verkeersveiligheid verbeterd.

8.1.3 Conclusies AVV en videomonitoring

De huidige methode van functioneel specificeren staat de toepassing van videomonitoring op het HWN in de weg. Het optimaal laten werken van videomonitoring is afhankelijk van de toepassing. Het idee dat je met één detectiemethode alle applicaties kan aansturen is niet haalbaar, tenzij je gaat inleveren op de betrouwbaarheid van de applicatie.

Voordat gebruik gemaakt kan worden van videomonitoring in Nederland moet men eerst af van het idee dat een monitoringsysteem alle denkbare systemen moet kunnen aansturen. Op dit moment wordt in bijna alle gevallen alleen van meetgegevens uit tellingen gebruik gemaakt om DVM-toepassingen aan te sturen. In werkelijkheid is die behoefte aan nauwkeurige telgegevens bij veel applicaties helemaal niet aanwezig en zou volstaan worden met minder nauwkeurige gegevens over de toestand op het wegvak (bijvoorbeeld veel of weinig voertuigen aanwezig, goede doorstroming of langzaam rijdend verkeer etc.). Het inzetten van bijvoorbeeld een inhaalverbod hoeft niet precies bij een vaste waarde voor de intensiteit te gebeuren, maar moet ingezet worden om moment dat de afwikkeling daar aanleiding toe geeft. Het waarschuwen voor een file is niet alleen afhankelijk van een snelheid van 35km/h, maar moet ingezet worden als de afwikkeling ernstig wordt gehinderd. Bij videomonitoring is het belangrijk om eerst af te vragen wat je met een systeem wil bereiken en welke gegevens daarvoor nodig zijn. Per variabele zou het kunnen zijn dat een bepaald camerastandpunt gewenst is.

Voor het opstellen van eisen is het beter om een soort van programma van eisen te maken. Een voorbeeld van een programma van eisen voor incidentdetectie kan zijn: 97% van de ongevallen moet gedetecteerd worden, totaal mag maar 5% van de meldingen vals zijn en de resultaten moeten door de operator snel

gecheckt kunnen worden. Een aanbieder van inductielussen probeert door een dergelijk programma van eisen algoritmen te ontwikkelen, die nauwkeurig en betrouwbaar een incident detecteren. Een aanbieder van radar systemen zal hetzelfde proberen alleen met heel andere gegevens. Op deze manier worden aanbieders van monitoring veel meer gestimuleerd om alle mogelijkheden van hun producten te benutten. Om een wildgroei aan verschillende systemen te voorkomen is het ook mogelijk om een programma van eisen niet voor één applicatie te maken, maar bijvoorbeeld op basis van alle benodigde systemen op een wegvak.

Marktpartijen richten zich vandaag de dag nog volledig op het vervangen van inductielussen. Dat blijkt onder meer uit het feit dat men virtuele lussen gebruikt voor het verzamelen van de verkeersgegevens. Voordat daadwerkelijk nieuwe toepassingen, met input van cameragegevens, gemaakt kunnen worden moet een duidelijke visie opgesteld worden. Fabrikanten zullen niet uit eigen beweging allerlei nieuwe opties toevoegen aan hun algoritmen. Zolang er geen markt is voor nieuwe producten is voor hun geen commercieel voordeel te halen. Wanneer duidelijk behoefte is aan een nieuwe toepassing moet contact worden gezocht met de detectorproducenten en gezocht worden naar de mogelijkheden. Marktpartijen hebben een stimulans nodig om verdere ontwikkelingen te doen.

Bij aanschaf moet erop gelet worden of het gaat om embedded software of dat in het systeem bewegende onderdelen zijn verwerkt, bijvoorbeeld een harde schijf. Bewegende onderdelen zijn sterk onderhevig aan slijtage, waardoor de levensduur veel korter is dan dat van embedded systemen. De levensduur van een standaard computer is ongeveer 5-7 jaar. Systemen met embedded software gaat meer dan 20 jaar mee.

Het huidige AID-mechanisme werkt naar behoren op een aantal schoonheidsfoutjes na. Het is maar de vraag of gezien de resultaten veel geld gestoken moet worden in methoden om trajectoriën te verkrijgen en daarmee het AID-algoritme verbeteren. Een beter alternatief is het gebruik maken van AID-camera's. Vanaf een standpunt op ongeveer 20 meter boven de rijbaan is een groot gebied (300 meter) in beeld te brengen. Met relatief weinig camera's is het mogelijk om trajecten geheel dekkend te maken met AID. Niet alleen wordt elke filestaart dan gedetecteerd, maar is automatische incidentdetectie opeens een stuk gemakkelijker. Daarnaast zijn beelden van ongelukken beschikbaar, waardoor deze veel beter geanalyseerd kunnen worden. Een dergelijk systeem kan al ingevoerd worden naast het huidige systeem. Eventueel zijn de inductielussen op den duur te vervangen door monitoringcamera's. Deze camera hebben dan alleen het doel om verkeersgegevens te verzamelen.

8.2 Aanbevelingen

In de aanbevelingen voor verder onderzoek wordt een splitsing gemaakt tussen de wegbeheerder (AVV) en de filestaartbeveiliging. De aanbevelingen richting AVV zijn vooral gericht op een eventueel gebruik van videomonitoring en de daarbij behorende openstaande vragen. De aanbevelingen voor de filestaartbeveiliging richten zich vooral op een uitgebreider onderzoek en naar mogelijke verbeterpunten van de in dit onderzoek gerealiseerde alternatieven.

8.2.1 Aanbevelingen voor de wegbeheerder

Een nieuwe manier van tellen, bijvoorbeeld trajectnelheden in plaats van lokale snelheden is niet één op één over te zetten in onderstations. Een nieuwe methode betekend andere afvlakfactoren en/of drempelwaarden. Onderzoek moet daarom niet alleen aan de monitoring kant gebeuren, maar ook aan de inputzijde van de onderstations.

Voor het beter gebruik maken van de markt zal een nieuwe manier van functioneel specificeren ontwikkeld moeten worden. Dat betekent richting een programma van eisen gaan voor een individuele toepassing of op wegvakniveau.



Gezien de huidige staat van videomonitoring is het aan te raden om het systeem in fases in te voeren. Gestart kan worden met observatiecamera's ter aanvulling op de lustellingen. Over een aantal jaren zijn de mogelijkheden van tellingen met camera's verder vergroot en zou de tellingen van lussen overgenomen kunnen worden.

Voordat een systeem daadwerkelijk geplaatst wordt moet een goed testprogramma worden opgezet om de camera's en de algoritmen te testen.

Niet alleen moeten de systemen uitvoerig getest worden, ook moet goed nagedacht worden over de installatie. Bij het installeren van camera's in lichtmasten moet rekening worden gehouden met de invloeden van wind. Kleine bewegingen zijn door de systemen eruit te filteren, maar grote uitwijkingen maken een goede detectie van objecten onmogelijk.

In het onderzoek is niet veel stilgestaan bij het onderhoud van videosystemen. Lenzen van camera's worden smerig. Om de lens schoon te houden zijn automatische systemen beschikbaar om de lenzen te wassen, maar een jaarlijks onderhoud blijft noodzakelijk. Een mogelijkheid is om nieuwe portalen voor camera's te ontwerpen waarop volgens de regels onderhoud gepleegd kan worden, zodat het niet nodig is om voor onderhoud rijstroken af te kruisen.

Verder onderzoek naar het dataverkeer is nodig. In dit onderzoek is geen rekening gehouden met de capaciteit die nodig is om beelden te versturen naar bijvoorbeeld een centrale. Vooral bij het gebruik van veel camera's loopt het dataverkeer hard op. Extra onderzoek is nodig naar welke beelden beschikbaar moeten komen en of eventueel in de wegkantsystemen de beelden gecomprimeerd kunnen worden.

Voor het gebruik van observatiecamera's zijn nieuwe algoritmen nodig voor aansturing van toepassingen. In samenspraak met een eventuele producent moet gekeken worden welke output het systeem levert en op welke manier die gegevens gebruikt kunnen worden. Mogelijke nieuwe toepassingen die onderzocht kunnen worden zijn filestaartbeveiliging, incidentdetectie, stilstaande voertuigen, afgevallen lading etc.

8.2.2 Aanbevelingen filestaartbeveiliging

Het onderzoek is gebaseerd op drie datasets, waarvan twee zelfs nog geen uur aan data bevatten. Voordat daadwerkelijk gekozen gaat worden voor een nieuwe manier van filestaartbeveiliging is uitgebreider onderzoek gewenst. De beschreven resultaten geven een goede indicatie van de mogelijkheden, maar zijn zeker nog geen complete algoritmen voor filestaartbeveiliging.

De gebruikte polynoom om de trajectoriën smooth te maken is niet te gebruiken in een on-line situatie. Bij het verwerken van trajectoriën in een real-time situatie moet gezocht worden naar een andere methode om de ruis uit de metingen te halen.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van trajectsnelheden voor de filestaartbeveiliging moet gezocht worden naar andere instellingen voor afvlakfactoren of een compleet andere methode om de afvlakking te maken. Dit moet het vele malen aan- en uitgaan verminderen.

Voor de gemaakte algoritmen moeten de drempelwaarden verder onderzocht worden. De gebruikte drempelwaarden zijn aan de hand van grafieken bepaald. Verder onderzoek naar een ideale instelling voor drempelwaarden kan de werking van de filestaartbeveiliging verder verbeteren.

De PCA is verder te verbeteren door meer data te gebruiken om de nieuwe variabelen te bepalen. De methode zou zelfs per rijstrook uitgevoerd kunnen worden.

De methoden op basis van dichtheid en de PCA zijn gebaseerd op rijbaan gemiddelden. Het bepalen van de AID-instelling per rijstrook, zoals gedaan wordt in de snelheidalgoritmen, zou het systeem verder kunnen verbeteren. Dat wil zeggen eerder aan laten gaan.

Een nieuwe methode om te monitoren levert nieuwe meetgegevens op. De vraag is in hoeverre deze meetgegevens een meerwaarde leveren voor allerlei toepassingen. Het onderzoek heeft zich gericht op de filestaartbeveiliging, maar voor alle andere toepassingen zou hetzelfde gedaan kunnen worden. Bijvoorbeeld onderzoek naar de input van modellen om de voorspellingen, zoals de voorspelling van reistijden verbeteren.



Bibliografie

1. Anandan, P. „A computational framework and an algorithm for the measurement of visual motion.“ *Internat. J. Comput. Vision* 2. 1989. 283-310.
2. AVV. „Specificatie Onderstation MTM-2.“ 2000.
3. Beauchemin, S.S., en J.L. Barron. „The computation of Optical Flow.“ In *ACM Computing Surveys*, 433-467. 1995.
4. Benschop, A.W. „Informatieanalyse voertuigdetectie.“ TNO, 1995.
5. Bergen, J.N. van. „MOOI Eerste rapportage.“ In *Alternatieve detectie systemen in het kader van het inwinnen van monitoring gegevens*. 2003.
6. Beymer, D., P.F. McLauchlan, B. Coifman, en J. Malik. „A real-time computer vision system for measuring traffic parameters.“ In *Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97)*, 495-501. 1997.
7. Bishop, Christopher M. *Pattern recognition and Machine Learning*. Springer, 2006.
8. BVOM. „Concept Voorschrift Meetmiddelen Politie.“ Bureau Verkeershandhaving Openbaar Ministerie, 2001.
9. Catudal, S., M.A. Cantin, en Y. Savaria. „Parameters estimation applied to automatic video processing algorithms validation.“ In *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS '05)*, 3439- 3442. 2005.
10. Chen, Shu-Ching, Mei-Ling Shyu, Srinivas Peeta, en Chengcui Zhang. „Spatiotemporal vehicle tracking: the use of unsupervised learning-based segmentation and object tracking.“ In *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 50-58. 2005.
11. Ching-Po , Lin, Tai Jen-Chao, en Song Kai-Tai. „Traffic monitoring based on real-time image tracking.“ In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '03)*, 2091- 2096 . 2003.
12. Cho, Y., en J. Rice. „Estimating Velocity Fields on a Freeway From Low-Resolution Videos.“ In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 463-469. 2006.
13. Comaniciu, Dorin, en Visvanathan Ramesh. „Mean Shift and Optimal Prediction for Efficient Object Tracking.“ *Proceedings of the International Conference on Image Processing Vol.3*. 2000. 70-73.
14. CROW. „Doelgroepvoorzieningen.“ CROW, 2000.
15. Cucchiara, R., M. Piccardi, en P. Mello. „Image Analysis and Rule-based Reasoning for a Traffic Monitoring System.“ In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 119-130. 2000.
16. Duda, R., en P. Hart. *Pattern Classification and Scene Analysis*. 1973.
17. Fisher, Robert, Simon Perkins, en Erik Wolfart. „Hypermedia image processing.“ 2003.
18. Fleet, D.J., en A.D. Jepson. „Computation of component image velocity from local phase information.“ *International Journal of Computer Vision*. 1990. 77-104.
19. Gang-Yi, Jiang, Yu Mei, Wang Sheng-Nan, en Rang-Din. „New approach to vehicle tracking based on region processing.“ In *Proceedings of the 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 5028- 5033. 2005.
20. Gonzalez, R., en R. Woods. *Digital Image Processing*. 1992.
21. Goudappel Coffeng. „Voertuigdetectie: wensen en mogelijkheden.“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, V&W, 2002.
22. Grontmij. „Regeltactieken spookrijden; Kader voor regeltactieken om weggebruikers te waarschuwen voor en/of te beschermen tegen spookrijders.“ Divisie Verkeer en Infrastructuur, HKU, 1999.

23. Gupte, S., O. Masoud, R.F.K. Martin, en N.P. Papanikolopoulos. „Detection and classification of vehicles.“ In *Systems, IEEE Transactions on Intelligent Transportation*, 37-47. 2002.
24. Gurney, Kevin N. *An Introduction to Neural Networks*. 1997.
25. Gyaourova, A., C. Kamath, en S.C. Cheung. „Block Matching for Object Tracking.“ In *Lawrence Livermore National Laboratory*. 2003.
26. Hamel, B., T. Adams, en T.D.J. van den Brink. „Manual of Dynamic Motorway Lighting.“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, V&W, Rotterdam, 2006.
27. Han, B., D. Comaniciu, en L. Davis. „Sequential kernel density approximation through mode propagation: applications to background modeling.“ *Proceedings ACCV*. 2004.
28. Heeger, D.J. „Optical Flow using Spatiotemporal Filters.“ *International Journal of Computer Vision Vol.1*. 1988. 279-302.
29. Het Expertise Centrum, Traffic IT Services. „Configuratiebeheer DVM-systemen.“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, V&W, Rotterdam, 2005.
30. Horn, B.K.P., en B.G. Schunck. „Determining optical flow.“ *Artificial Intelligence Vol 17*. 1981. 185-203.
31. Hsieh, Jun-Wei, Shih-Hao Yu, Yung-Sheng Chen, en Wen-Fong Hu. „Automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification.“ In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 175-187. 2006.
32. Hsu, W.L., H.Y.M. Liao, B.S. Jeng, en K.C. Fan. „Real-time vehicle tracking on highway.“ In *Proceedings of the Intelligent Transportation Systems*, 909-914. 2003.
33. Huang, Mao-Chi, en Shwu-Huey Yen. „A real-time and color-based computer vision for traffic monitoring system.“ In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME '04)*, 2119- 2122 . 2004.
34. Humphries, M., P. Radev, M. Shirvaikar, en . „A realtime vehicle tracking system.“ In *Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory (SSST '05)*, 357-361. 2005.
35. Jong, P. de. „Verkeerstechnische specificatie voor een toeritdoseerinstallatie .“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, V&W, Rotterdam, 2004.
36. Kalman, R.E. „A new approach to linear and prediction problems.“ *Transactions of the ASME - Journal of basic engineering 82 (series D)*. 1960. 35-45.
37. Kass, M., A. Witkins, en Terzopoulos. „Snakes: active contour models.“ *International Journal Computer Vision*. 1988. 321-331.
38. Kastrinaki, V., M. Zervakis, en K. Kalaitzakis. „A survey of video processing techniques for traffic applications.“ In *Image and Vision Computing 21*, 359-381. 2003.
39. Kiratiratanapruk, K., P. Dubey, en S. Siddhichai. „A gradient-based foreground detection technique for object tracking in a traffic monitoring system.“ In *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS '05)*, 377-381. 2005.
40. Knabben, E.H.M. „het Mist; analyse mistproblematiek op rijkswegen.“ HKU, 2001.
41. Knibbe, W.J.J. „Een zoektocht naar kansrijke DRM-toepassingen : Dynamische rijstrookmarkeringen (DRM).“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, V&W, Rotterdam, 2003.
42. Kock, R.W., en M.J.M. van der Vlist. „Ontwikkeling BOSS : beslissingsondersteuning in RVMC s in beeld.“ AVV, Goudappel Coffenq, 2001.
43. Kumar, P., S. Ranganath, Huang Weimin, en K. Sengupta. „Framework for real-time behavior interpretation from traffic video.“ In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 43-53. 2005.
44. Ledda, Alessandro. „Mathematische morfologie in de beeldverwerking.“ 2007.



45. Lee, Hwajeong, Daehwan Kim, Daijin Kim, en Sung Yang Bang. „Real-time automatic vehicle management system using vehicle tracking and car plate number identification.“ In *Proceedings of the 2003 International Conference on Multimedia and Expo*, 353 - 356. 2003.
46. Lee, Ilkwang, Hanseok Ko, en David K Han. „Multiple vehicle tracking based on regional estimation in nighttime CCD images.“ In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, IV/3712-IV/3715. 2002.
47. Lee, Tae-Seung, et al. „Implementation of Traffic Flow Measuring Algorithm Using Real-Time Dynamic Image Processing.“ In *Computer Vision Systems: Third International Conference (ICVS 2003)*, 78-87. Graz, Austria, 2003.
48. Lin, Ching-Po, Jen-Chao Tai, en Kai-Tai Song . „Traffic monitoring based on real-time image tracking.“ In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '03)*, 2091- 2096 . 2003.
49. Lou, Jianguang, Tieniu Tan, Weiming Hu, Hao Yang, en S.J. Maybank. „3-D Model-Based Vehicle Tracking.“ In *IEEE Transactions on Image Processing*, 1561- 1569. 2005.
50. Lucas, B.D., en T. Kanade. „An iterative image registration technique with an application to stereo vision.“ *Proceedings of Imaging understanding workshop*. 1981. 121-130.
51. Maintz, J.B.A. „Digital and Medical Image Processing.“ Universiteit Utrecht, 2006.
52. Martin, P.T. „Evaluation of UDOT's Video Detection Systems: System's Performance in Various Test Conditions.“ 2004.
53. Martin, P.T., Yuqi Feng, en Xiaodong Wang. „Detector Technology Evaluation.“ In *University of Utah Traffic Lab*. 2003.
54. Maskell, Simon, en Neill Gordon. „A tutorial on particle filters for on-line nonlinear/non-gaussian bayesian tracking.“ *IEEE transactions of signal processing*. 2002. 174-188.
55. McCane, B., K. Novins, D. Crannitch, en B Galvin. „On Benchmarking Optical Flow.“ In *Computer Vision and Image Understanding 84*, 126-143. 2001.
56. Middleton, D., en R. Parker. „Evaluation of Promising Vehicle Detection Systems, Research Report.“ 2002.
57. Middleton, D., en R. Parker. „Initial Evaluation of Selected Detectors to Replace Inductive Loops on Freeway.“ 2000.
58. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. „Centraal DRIPs Management Systeem (CDMS).“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 2004.
59. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. „SSS Management Services Spisstroken.“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam, 2004.
60. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, VROM. „Nota Mobiliteit.“ Den Haag, 2004.
61. MNDOT. „Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection.“ In *Final Report of NIT Phase II, Minnesota Department of Transportation*. 2002.
62. Nagel, H.H. „On a constraint equation for the estimation of displacement rates in image sequences.“ *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1989. 13-30.
63. Oliver, N.M., B. Rosario, en A.P. Pentland. „A Bayesian Computer Vision System for Modeling Human Interactions.“ *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol.22*. 2000. 831-843.
64. Piccardi, M. „Background subtraction techniques, a review.“ *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 2004. 3099-3104.
65. Ravenschoot, W., en H. Remeijn. „Mistdetectie en -waarschuwingssysteem Breda; Functionele beschrijving ten behoeve van de herzieningen naar aanleiding van de aanleg van de HSL.“ HKU, 2000.
66. Rij, M.L.D. van. „Optimalisatie parameterinstellingen AID.“ Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Grondmij, De Bildt, 2002.
67. Sadoghi Yazdi, H., M. Lotfzad, en M. Fathy. „Car tracking by quantised input LMS, QX-LMS algorithm in traffic scenes.“ In *IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 37-45. 2006.

68. Shlens, Jonathon. „A Tutorial on Principal Component Analysis.“ 2005.
69. Singh, A., en P. Allen. „Image-flow computation: An estimation-theoretic framework and a unified perspective.“ *Computer Vision, graphics and image processing Vol.56*. 1992. 152-177.
70. Slats, P., en P. Kuijvenhoven. „Onderzoek noodzaak SOS systeem in verkeerstunnels.“ Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde, 1991.
71. Song, K.T., en J.C. Tai. „Dynamic calibration of pan-tilt-zoom cameras for traffic monitoring.“ In *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 1091-1103. 2006.
72. Spangenberg, R., en T. Döring. „Evaluation of object tracking in traffic scenes.“ In *IEVM06*. 2006.
73. TNO Industrie en Techniek. „Mogelijkheden van automatische videoverwerking voor de analyse van rijgedrag.“ Delft, 2006.
74. Toorenborg, J.A.C. van. „Onderzoek Modificatie AID.“ 2002.
75. Transpute BV. „Blokade-detector Spitsstroken Utrecht.“ Directie Utrecht, Rijkswaterstaat, Amersfoort, 2004.
76. Uras, S., F. Girosi, A. Verri, en V. Torre. „A computational approach to motion perception.“ *Biol. Cybernet.* 60. 1988. 79-97.
77. Vernon, D. „Machine Vision.“ 1991. Chap. 5.
78. Wang, Yuan-Kai, en Shao-Hua Chen. „A robust vehicle detection approach.“ In *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS '05)*, 117-122. 2005.
79. Waxman, A.M., J. Wu, en F. Bergholm. „Convected activation profiles and the measurement of visual motion.“ *IEEE Proceedings of CVPR*. 1988. 717-723.
80. Withagen, P.J. *Object detection and segmentation for visual surveillance*. Universiteit van Amsterdam, 2006.
81. Wixson, L. „Illumination assessment for vision-based traffic monitoring.“ In *Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'96)*, 56-62. 1996.
82. Xie, Lei, Guangxi Zhu, Yuqi Wang, Haixiang Xu, en Zhenming Zhang. „Real-time vehicles tracking based on Kalman filter in a video-based ITS.“ In *Proceedings of the International Conference on Communications, Circuits and Systems*, 883-886. 2005.
83. Yi, Shi, Huang Wei, Lu Xiao-bo, Liu Bin, en Liu Tao. „Study of Two-Dimensional Motion Estimation Technique in Vehicle Tracking.“ In *6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, 90-93. 2006.
84. Yiu, B.W.S, K.Y.K. Wong, F.Y.L. Chin, en R.H.Y. Chung. „Explicit contour model for vehicle tracking with automatic hypothesis validation.“ In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '05)*, 11-582-9. 2005.
85. Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung, en Kuo C.C. Jay. „Robust vehicle and traffic information extraction for highway surveillance.“ In *EURASIP journal on applied signal processing*, 2305-2321. 2005.
86. Zhang, Chengcui, Shu-Ching Chen, Mei-Ling Shyu, en Srinivas Peeta. „Adaptive background learning for vehicle detection and spatio-temporal tracking.“ In *Proceedings of the Fourth IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia*, 1-5. 2003.

Geraadpleegde websites

87. *Autoscope*. <http://www.autoscope.com>.
88. *Bureau Verkeershandhaving Openbaar Ministerie*. <http://www.verkeershandhaving.nl/>.
89. *Citilog S.A.* <http://www.citilog.com>.
90. *CVonline*. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/CVentry.htm>.
91. *Developing an efficient algorithm for application in "Real Time Computer Vision Systems"*. <http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Campus/7971/susan.htm>.



92. *Institute of transportation studies*. <http://bhl.its.berkeley.edu>.
93. *Iteris*. <http://www.iteris.com/>.
94. *Keith Price*. <http://iris.usc.edu/Vision-Notes/bibliography/contents.html>.
95. *Maatregelencatalogus Benutten*. <http://www.maatregelencatalogus.nl/>.
96. *Peek Traffic*. <http://www.peektraffic.nl/>.
97. *Quixote Traffic Corporation*.
98. *TEC Traffic Systems*. <http://www.tectraffic.nl>.
99. *The Dipartimento di Elettronica e Informazione (DEI)* .
http://www.elet.polimi.it/upload/matteucc/Clustering/tutorial_html/index.html.
100. *The Intelligent Information and Signal Processing Laboratory (II&SPL) of the Department of Electronics and Computer Engineering at Korea University*. <http://ispl.korea.ac.kr/datafusion/imtracking.html>.
101. *Traffic Development and Innovation B.V.* . <http://www.info-tdi.com>.
102. *Trafigon*. <http://www.trafigon.com>.
103. *TU Delft*. <http://www.ph.tn.tudelft.nl>.
104. *University of Southern California*. <http://iris.usc.edu/USC-Computer-Vision.html>.
105. *University of Technology, Sydney*. <http://www-staff.it.uts.edu.au/~massimo>.
106. *Verkeerscentrum Nederland*. <http://www.vcnl.nl/>.
107. *Verkeersinformatie Dienst*. <http://www.vid.nl/>.
108. *Wikipedia*. <http://verkeer.wikia.com/>.
109. *Wikipedia*. <http://nl.wikipedia.org/>.



Bijlagen

I. Verkeersstroomtheorie

Microscopische variabelen

In een microscopische benadering van het verkeer worden de voertuigen afzonderlijk beschouwd.

Ruimtegebruik

Een voertuig neemt een zekere ruimte van de weg in. Dit ruimtegebruik (s_i) bestaat uit de fysieke lengte van het voertuig (L_i) en de volgafstand (d_i) die de bestuurder op zijn voorligger aanhoudt. Op een vast tijdmoment wordt het verschil in afstand tussen de beide achterbumpers bepaald. Het gemiddelde ruimtegebruik is makkelijk aan de hand van de trajectoriën te bepalen:

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j = \frac{X}{m}$$

m is het aantal voertuigen aanwezig op een traject met een lengte X is op tijdstip t .

Onderscheid kan gemaakt worden tussen netto en bruto ruimtegebruik door respectievelijk het wel of niet meenemen van de voertuiglengte.

Tijdgebruik

Analoog aan het ruimtegebruik is het tijdgebruik van een voertuig (h_i). Het tijdgebruik wordt opgesplitst in een volgtijd (g_i), oftewel het netto tijdgebruik, en een bezettingstijd (o_i). Het gemiddelde tijdgebruik op een traject wordt als volgt bepaald:

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i = \frac{T}{n}$$

n is het aantal voertuigen dat een dwarsdoorsnede passeert gedurende een periode T .

Macroscopische variabelen

Op macroscopisch niveau wordt getracht om de verkeersstroom, in plaats van de afzonderlijke bouwstenen, om te zetten naar grootheden. In het tijd-plaats diagram wordt voor het meten van macroscopische variabelen twee meetgebieden gebruikt:

1. Het eerste meetinterval bestaat uit een klein tijdsinterval (dt) op een bepaald traject (X). Bepalend komt dit overeen met een plaatsinterval op een tijdstip. Een dergelijk plaatsinterval kan gedetecteerd worden vanaf een hoog standpunt, bijvoorbeeld vanuit een helikopter.
2. Naast het plaatsinterval is er ook een tijdsinterval. Dit interval bestaat uit een klein weggedeelte (dX) op een bepaald tijdsinterval (T). Dit interval is te detecteren op vaste meetlocaties

Intensiteit

De intensiteit (q) is het aantal voertuigen per tijdseenheid dat een wegdoorsnede passeert. Meestal wordt de tijdseenheid uitgedrukt in uren. De intensiteiten zijn sterk afhankelijk van het wegontwerp. Op het

Nederlandse hoofdwegen net liggen de maxima tussen de 1800 en 2400 voertuigen per uur. Intensiteit is in formulevorm als volgt uitgedrukt:

$$q = \frac{n}{T} \quad [\text{aantal vrtgn/tijdseenheid}]$$

De periode (T) wordt samengesteld uit de som van het tijdsgebruik van de voorbijkomende voertuigen. Hierdoor is de formule om te schrijven naar:

$$q = \frac{n}{T} = \frac{n}{\sum_i h_i} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_i h_i} = \frac{1}{\bar{h}}$$

Dichtheid

De dichtheid (k) is het aantal voertuigen dat zich op een weggedeelte bevindt. De dichtheid wordt traditioneel uitgedrukt in voertuigen per kilometer. De maximale dichtheid van een rijstrook ligt rond de 100 voertuigen per kilometer. De dichtheid is als volgt te berekenen:

$$k = \frac{m}{X} \quad [\text{aantal vrtgn/lengthe eenheid}]$$

Omdat de weglengte de som is van het ruimtegebruik van de voertuigen is de dichtheid ook als volgt te berekenen:

$$k = \frac{m}{X} = \frac{m}{\sum_i s_i} = \frac{1}{\frac{1}{m} \sum_i s_i} = \frac{1}{\bar{s}}$$

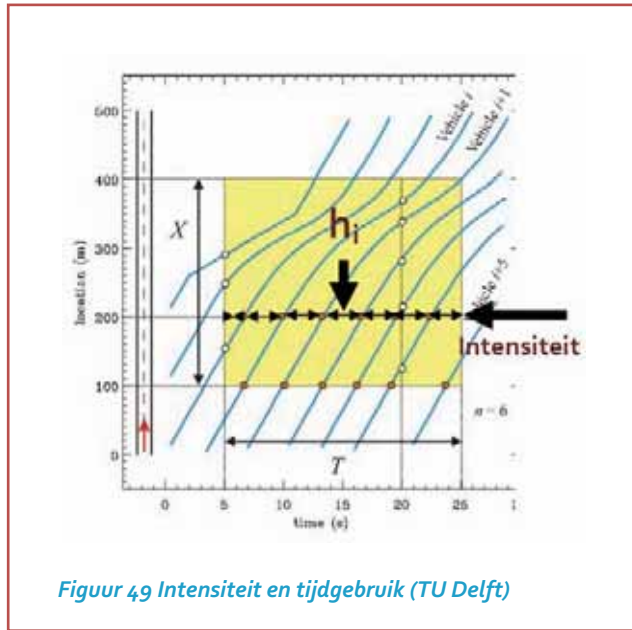
Snelheid

Het is mogelijk om de gemiddelde snelheid op twee manieren te berekenen.

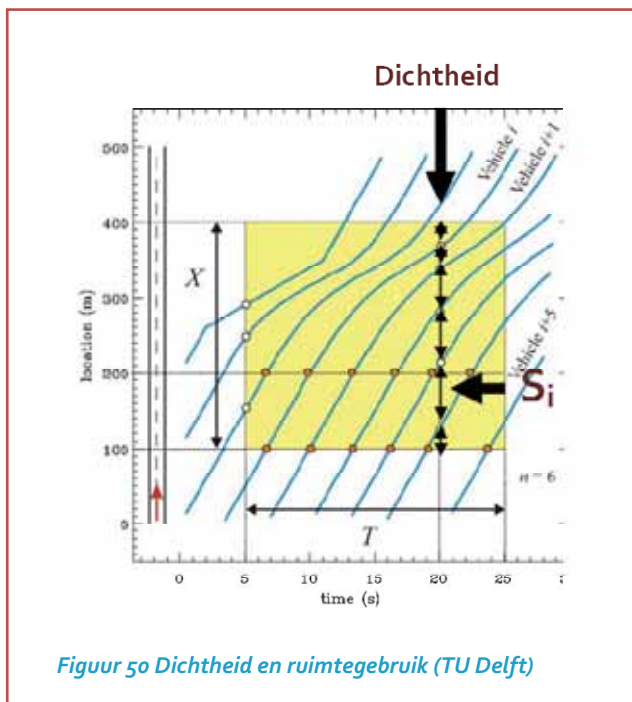
1. In eerste instantie wordt gekeken naar de voertuigen die een wegdoorsnede passeren in een bepaald tijdsinterval. Het gemiddelde van deze snelheden wordt de "lokale" gemiddelde snelheid genoemd.

$$u_L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

2. Een tweede methode is het beschouwen van de voertuig snelheden op een traject op een vast tijd-



Figuur 49 Intensiteit en tijdgebruik (TU Delft)



Figuur 50 Dichtheid en ruimtegebruik (TU Delft)

stip. Het gemiddelde van de snelheden wordt de “instantane” gemiddelde snelheid genoemd.

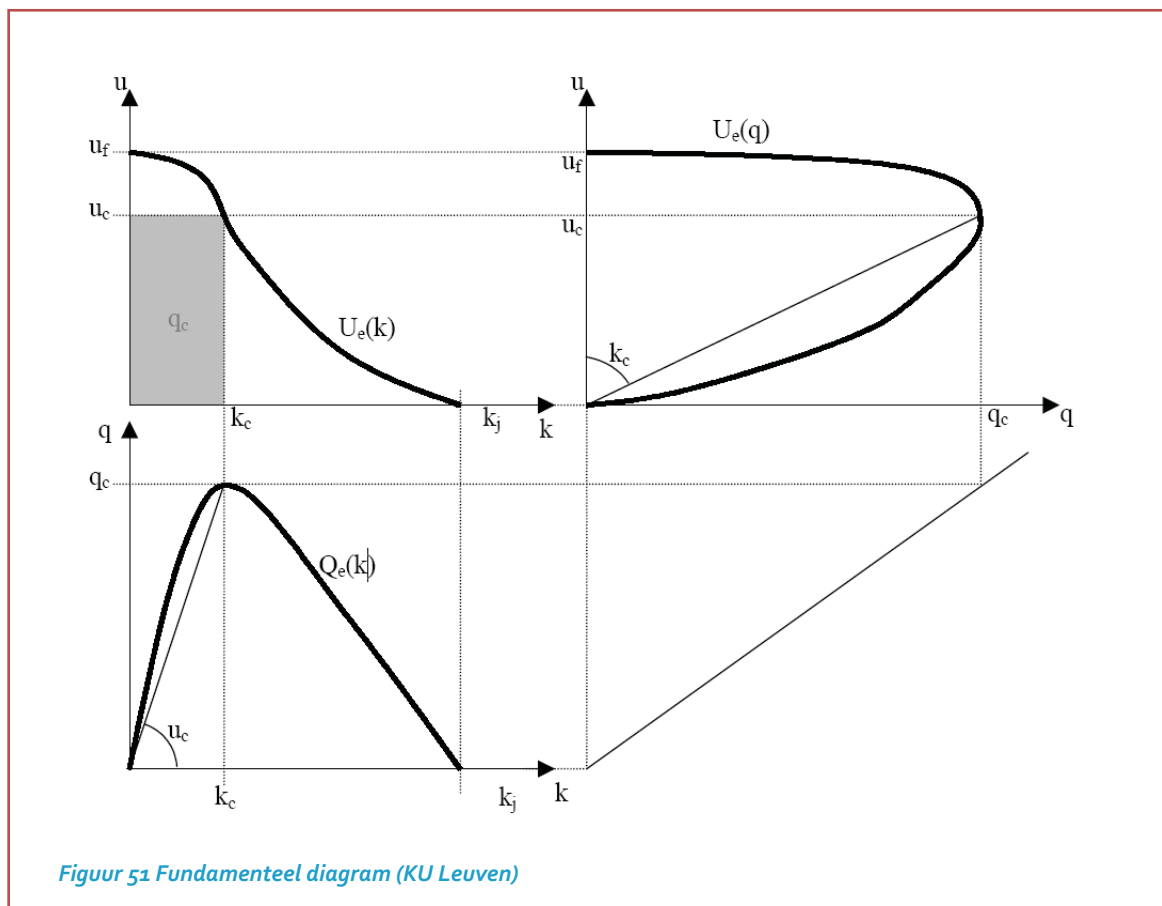
$$u_M = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_j$$

Fundamenteel diagram

Het verkeer op een weg bevindt zich altijd in een bepaalde toestand die gekenmerkt wordt door de intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid. Alle mogelijke verkeerstoestanden zijn samen te vatten in een evenwichtsfunctie. In Figuur 51 is deze evenwichtsfunctie grafisch afgebeeld in drie diagrammen, de zogenaamde fundamentele diagrammen.

Door de relatie $q=k \cdot u$ is telkens in het diagram een derde grootte terug te vinden. Een dergelijk fundamenteel diagram is geldig voor een bepaald traject en is met waarnemingen opgesteld. Het verkeer bevindt zich altijd in een toestand op de zwarte lijn. Enkele speciale toestanden verdienen extra de aandacht:

- Volledig vrij verkeer. Voertuigen worden niet gehinderd door andere voertuigen en rijden de maximale snelheid (u_f).
- Verzadigd verkeer. Voertuigen staan dicht op elkaar (k_j) in een rij. Snelheid en intensiteit zijn nagenoeg nul.
- Capaciteitsverkeer. Capaciteit is de maximale intensiteit dat een traject kan verwerken. k_c en u_c zijn respectievelijk de capaciteitsdichtheid en capaciteitssnelheid.



Figuur 51 Fundamenteel diagram (KU Leuven)

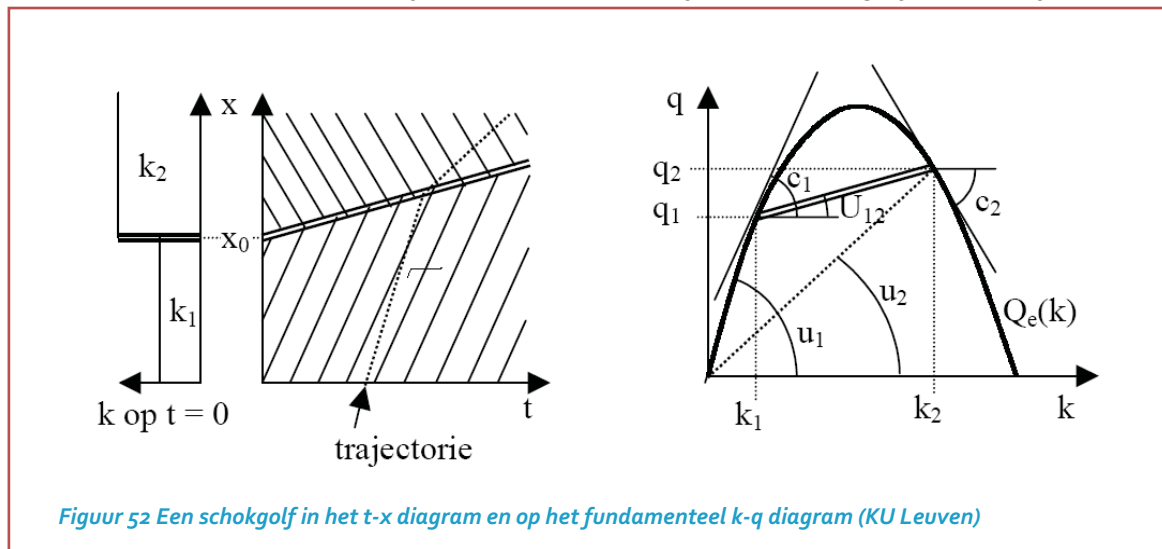
Congestie

De definitie van een file of congestie is niet eenduidig. In de perceptie van weggebruikers is soms al sprake van filevorming als de doorstroming wordt bemoeilijkt. Rijkswaterstaat hanteert voor de file informatie een andere definitie, die pas spreekt over file wanneer over een traject van minimaal 2 kilometer de snelheden niet boven de 50km/h uitkomen. In het vakgebied verkeersmanagement heeft de term congestie gewoonlijk betrekking op het gebied in het fundamenteel diagram tussen k_c en k_j . Wanneer precies over congestie wordt gesproken ligt aan de gemaakte afspraken. Algemeen kan men over congestie zeggen dat het een overmaat van voertuigen op een gedeelte van een traject is resulterend in snelheden die langzamer zijn (soms veel langzamer) dan de normale of "vrije stroom" snelheden. Vaak betekent dit stilstand of stop & go verkeer. Congestie ontstaat wanneer de verkeersvraag de capaciteit overstijgt. De reden waarom de vraag het aanbod overstijgt is grofweg in zeven oorzaken op te splitsen:

1. Fysieke Knelpunten: De capaciteit is op bepaalde plekken onvoldoende om de verkeersstroom te verwerken. Dit komt door het wegontwerp. Capaciteit bepalend zijn het aantal stroken maar dat wordt gereduceerd door bijvoorbeeld bruggen en onoverzichtelijke bochten.
2. Ongelukken: Verstoringen van het verkeer door ongelukken komen in allerlei varianten voor. Een botsing tussen voertuigen blokkeert rijstroken, waardoor een groot gedeelte van de capaciteit niet gebruikt wordt. Zelfs een voertuig met pech langs de kant van de weg kan de verkeersafwikkeling al beïnvloeden.
3. Werkvakken: In de buurt van werkvakken is vaak de capaciteit afgenomen door afgesloten of versmalde rijstroken.
4. Weer: Weersomstandigheden beïnvloeden het rijgedrag, waardoor de capaciteit afneemt.
5. Verkeersregelingen: Verkeerssystemen kunnen de doorstroming beïnvloeden. Een openstaande brug veroorzaakt bijvoorbeeld een blokkade.
6. Speciale gebeurtenissen: Een voetbalwedstrijd of een concert zorgen voor een toename van de verkeersvraag rond bijvoorbeeld stadions.
7. Fluctuaties in het normale verkeer: De verkeersvraag verandert continu. Te denken valt aan het verschil tussen dag-nacht, werkdag-weekend en werkweek-vakantie.

Schokgolven en waaiers

Karakteristieken zijn lijnen in de $x-t$ ruimte waarlangs de dichtheid, en daardoor ook de intensiteit en de gemiddelde snelheid, constant is ($q=k \cdot u$). Een karakteristiek verbindt dus alle tijdstippen en plaatsen met een zelfde verkeerstoestand. Doordat geen voertuigen tussentijds verdwijnen (behoudswet) volgt dat deze karakteristieken rechten zijn. Karakteristieken zijn dus niet gelijk aan trajectoriën !



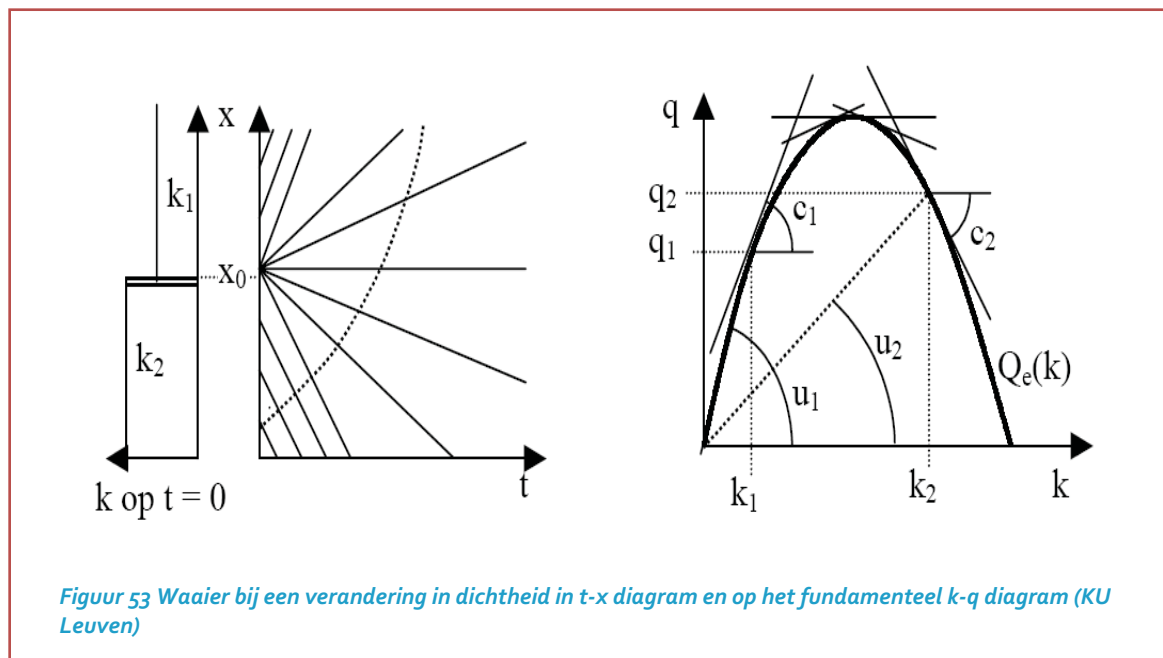
Figuur 52 Een schokgolf in het $t-x$ diagram en op het fundamenteel $k-q$ diagram (KU Leuven)

Wanneer twee karakteristieken, met verschillende dichtheden, elkaar kruisen, verandert het verkeer er abrupt van toestand. Dit fenomeen noemen we een schokgolf. Ter illustratie is in Figuur 52 een schokgolf te zien in zowel een x - t diagram als in het fundamenteel q - k diagram.

Schokgolven komen voor bij drukker wordend verkeer en de snelheid van deze schokgolven kan grafisch op het fundamenteel diagram worden teruggevonden. De helling van de rechte die de twee verkeerstoestanden met elkaar verbindt, geeft de schokgolfsnelheid weer. Doordat de dichtheid stroomafwaarts groter is dan de dichtheid stroomopwaarts verplaatst de schokgolf zich in de rijrichting. Het passeren van schokgolven wordt door de weggebruiker herkent door het opeenvolgend afremmen en optrekken.

Bij een verkleining van de dichtheid stroomafwaarts ontstaat een waaier van schokgolven. De horizontale karakteristiek in de waaier komt overeen met het capaciteitsregime.

In werkelijkheid zullen voortdurend kleine verstoringen in de verkeerstoestand optreden. Een dergelijke verstoring veroorzaakt kleine schokgolven, die nagenoeg gelijk verlopen met de karakteristieken.



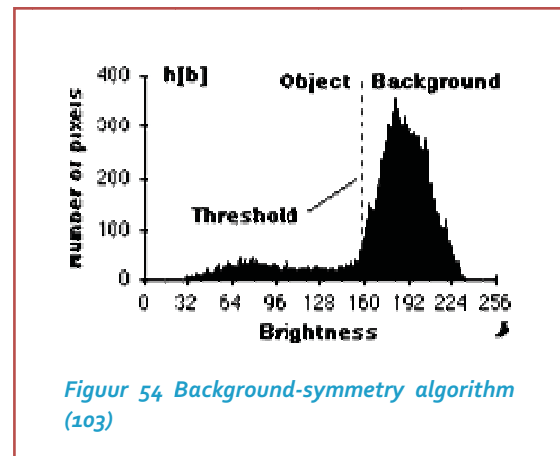
II. Verwerkingsalgoritmen videobeelden

Basistechnieken

Thresholding

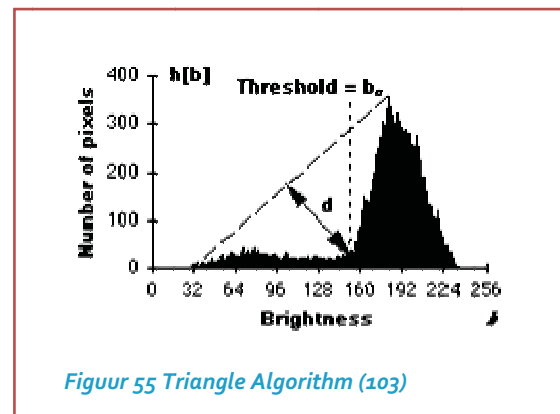
1. *Histogram-afgeleide Thresholding*, het histogram van een beeld bestaat uit de helderheid van elke pixel. Per waarde wordt bekeken hoe vaak een pixel met die helderheid in het beeld voorkomt. Een voorbeeld is in Figuur 54 en Figuur 55 te zien. Deze techniek wordt voornamelijk met monochrome (helderheid in een bereik van 0-256) beelden toegepast.

- a. *Isodata algorithm (103)*, Het is een iteratieve manier voor het vinden van een drempelwaarde. Eerst wordt gestart met een drempelwaarde. Aan de hand van deze nieuwe situatie worden de steekproef gemiddelden (grijswaarden) van de objecten en achtergrond berekend. Het gemiddelde van de twee steekproef gemiddelden wordt de nieuwe drempelwaarde waarna opnieuw de gemiddelden worden berekend. Net zolang totdat de drempelwaarde niet meer verandert.



- b. *Background-symmetry algorithm (103)*, Deze methode gaat uit van een goed waarneembare en dominante piek in het histogram als het gevolg van de achtergrond. Verder wordt aangenomen dat deze piek symmetrisch is ten opzichte van de maximum waarde. Alles wat buiten de piek valt hoort bij een object. Zie het voorbeeld in Figuur 54.
- c. *Triangle algorithm (103)*, Een lijn wordt geconstrueerd tussen de maximum en minimum waarde in het diagram. Een voorbeeld is te zien in Figuur 55. Van elke waarde voor de helderheid wordt de afstand tot de lijn berekend. De maximale afstand is de drempelwaarde.

De beschreven algoritmen zijn zeer snel te berekenen en zijn makkelijk real-time toe te passen. Vooral in simpele monochrome beelden is de techniek succesvol. Helaas vermindert de nauwkeurigheid in complexe situaties en kleuren beelden. Daarnaast heeft de lichtsterkte veel invloed op de werking van het algoritme. Daarom is het beter om de techniek niet als een op zichzelfstaande methode te gebruiken, maar te integreren in andere algoritmen.



2. *Adaptive thresholding (Maintz 2006)*, het verschil met de andere threshold algoritmen is dat er niet één drempelwaarde voor alle pixels is, maar een dynamische waarde. Van elke pixel afzonderlijk wordt een drempelwaarde berekend. Met deze methode wordt een hogere nauwkeurigheid bereikt. Nadeel is dat veel rekenkracht nodig is om voor elke pixel de drempelwaarde te berekenen.

Tabel 16 Overzicht thresholding

Methode	Reken-capaciteit	Nauw-keurigheid	Opmerkingen
Isodata	++	-	Kan beter i.c.m. andere methoden gebruikt worden
Background-symmetry	++	-	Kan beter i.c.m. andere methoden gebruikt worden
Triangle	++	-	Kan beter i.c.m. andere methoden gebruikt worden
Adaptive thresholding	-	+	Kost veel tijd om elke pixel te bekijken

Edge detection

1. *Gradiënt-based*, deze methoden detecteren randen door naar de eerste afgeleiden in de beelden te kijken.
 - a. *Roberts Cross (Vernon 1991)*, Dit is een algoritme dat vier (2x2) pixels bekijkt, die in helderheid verschillen. Gebaseerd op de eerste afgeleide wordt de locatie en richting van de lijn aangegeven. Het algoritme is zeer gevoelig voor ruis.
 - b. *Sobel (Vernon 1991) (Wang en Chen 2005)*, Werkt hetzelfde als de Roberts Cross algoritme, maar dan met 9 pixels (3x3). Door het grotere aantal pixels ontstaat een betere ruisonderdrukking.
 - c. *Prewitt (Vernon 1991)*, Gelijk aan het Sobel filter, maar de basis instellingen voor de filters zijn verschillend.
2. *Laplacian or Gaussian-based*,
 - a. *LoG filter (Marr-Hildreth operator) (Vernon 1991)*, De Log of Laplacian-of-Gaussian filter is een randfilter dat eerst het beeld 'smoother' maakt (m.b.v. de Gaussiaan) en dan de Laplaciaan berekend. Daaruit kan de randinformatie bepaald worden.
 - b. *Zero Crossing Detector (Vernon 1991)*, De zero-crossings detector (nuldoorgangdetector) is gebaseerd op hetzelfde concept als de LoG-methode, maar de convolutie gebeurt met een gespecificeerde filterfunctie. Hoe smoother het beeld wordt, hoe minder detailranden er gevonden worden.
 - c. *Plus filter (Vernon 1991)*, Filter maakt zowel gebruik van Second-Derivative-in-the-Gradient-Direction filter als van een Laplacian functie.
3. *Canny Edge Detector (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005)*, De Canny edge detector is een van de krachtigste methodes om randen te detecteren, dit is een algoritme dat tevens edge linking uitvoert. In een aantal stappen worden de krachtigste methoden samengevoegd tot de Canny edge methode.
4. *SUSAN Edge Detector (Catudal, Cantin en Savaria 2005) (91)*, de achterliggende gedachte van deze methode zijn cirkelvormige maskers. De pixels in het masker worden vergeleken met de kern. Een gedeelte van het masker heeft dezelfde eigenschappen als de kern. Uit deze gebieden kunnen randen worden afgeleid. Voordeel van deze methode is dat er geen afgeleiden berekend hoeven worden en het algoritme niet gevoelig is voor ruis.

Tabel 17 Overzicht edge detection

Methode	Reken-capaciteit	Nauw-keurigheid	Opmerkingen
Roberts Cross	++	--	Gevoelig voor ruis, slechte uitkomsten
Sobel	+	+/-	Minder gevoelig voor ruis
Prewitt	+	+/-	
LoG filter	+	-	Randen waar geen randen zijn, veel meer ruis
Zero Crossing	+	+/-	Lijkt op LoG filter maar geeft altijd gesloten contouren en is makkelijker te berekenen
Plus filter	+	+	
Canny	+/-	++	Goede locatie van randen en nauwkeurig
SUSAN	+	+	Zeer efficiënt en makkelijk te automatiseren

Rijbaan elementen

1. *Activiteitenkaart (Hsieh, et al. 2006)*, het opsplitsen van het gebied in regio's met beweging (rijbaan) en geen beweging. Met een activiteitenkaart is het mogelijk om in een later stadium de strookposities van voertuigen te detecteren.
2. *Pixel classificatie*, per pixel is aangegeven of het een rijbaan of omgeving pixel is. Kenmerkend zijn de kleur en patroon van een weg. Alle rijbaan pixels samen geven het gebied waar gedetecteerd moet worden.
3. *Model (Beymer, et al. 1997) (Yoneyama Akio, Yeh Chia-Hung en Jay 2005)*, een vervormbare template van het wegvak laten matchen met de randen van de rijbaan.
4. *Kenmerken (Song en Tai 2006)* komt voor in twee methoden. Op de korte afstand wordt ervan uitgegaan dat de breedte van de weg en de lengte van de strepen een vaste maat hebben. Op een grotere afstand is de methode gebaseerd op het snijpunt model. De randen en de markering van een rijbaan moeten uitkomen in een snijpunt. Het zogenaamde Road Marking Analysis Model (ROMA)

Detectie en segmentatie

Optical flow

1. *Differential Techniques*
 - a. *Horn and Schunck (Horn en Schunck 1981)*, Combineert de gradiënt met een factor voor de effenheid van het beeld. Het is een iteratieve methode
 - b. *Lucas and Kanade (Lucas en Kanade 1981)*, gebruikt de kleinste kwadraten methode om de fout te reduceren
 - c. *Nagel (Nagel 1989)*, Lijkt op Horn and Schunck methode maar gebruikt de tweede orde afgeleide.
 - d. *Uras et al. (Uras, et al. 1988)*, Gebaseerd op een tweede orde afgeleide en splitst het beeld op in gedeelten van 8x8 pixels.
2. *Region-based*
 - a. *Anandan (Anandan 1989)*, Is gebaseerd op de Laplacian pyramide. Werkt van grof naar fijn.
 - b. *Singh (Singh en Allen 1992)*, Gebruikt twee stappen. Eerst van grof naar fijn methode en dan de snelheid bepalen met behulp van eigenschappen van aangrenzende pixels.
3. *Energy-based*
 - a. *Heeger (Heeger 1988)*, Gebruikt een serie van 12 Gabor filters. De kleinste kwadraten methode wordt toegepast voor de resulterende snelheidsdistributie.
4. *Phase-based*
 - a. *Waxman et al. (Waxman, Wu en Bergholm 1988)*, Maakt gebruik van een contour model. Gericht op het zoeken naar randen in een afbeelding.
 - b. *Fleet and Jepson (Fleet en Jepson 1990)*, Gebruikt frequentie en fase informatie met behulp van fourrier transformaties om de snelheidsvector tussen de beelden te vinden.

Background modelling

1. *Average, median, running average (Piccardi 2004)*, Achtergrond wordt bepaald met het gemiddelde of mediaan van de pixels uit voorgaande beelden.
2. *Mixture of Gaussians (Stauffer-Grimson) (Interview Dr. Hendriks)*, met behulp van een mix van gaussische distributies wordt van elke pixel vastgesteld of het tot de achtergrond behoort.
3. *Kernel Density Estimators (Duda en Hart 1973)*, kansdichtheid van de achtergrond wordt in een histogram gezet met de meest recente pixels. Bij een bepaalde drempelwaarde behoort de pixel tot de achtergrond.
4. *Mean shift (possibly optimised) (Comaniciu en Ramesh 2000)*, Iteratieve methode
5. *SKDA (Sequential KD Approximation) (Han, Comaniciu en Davis 2004)*, gebruikt mean shift alleen om te initialiseren.
6. *Eigenbackgrounds (Oliver, Rosario en Pentland 2000)*, frames zijn kolommen van matrix. Hiervan wordt de covariantie matrix berekend. Met het eerste aantal eigenvectoren van deze matrix wordt een nieuw beeld geconstrueerd. Hiermee wordt een nieuw frame vergeleken.

Tabel 18 Overzicht detectie en segmentatie algoritmen

Methode	Reken-capaciteit	Nauw-keurigheid	Opmerkingen
Optical Flow			
Horn & Schunk	++	+/-	Gevoelig voor ruis
Lucas & Kanade	+	++	Robuust bij ruis
Nagel	+/-	+/-	
Uras et al.	+/-	+	
Anadan	+	--	
Singh	nb	--	
Heeger	nb	--	
Waxman et al.	-	--	
Fleet & Jepson	-	++	
Space-time continuity	--	+	Veel geheugen nodig voor de beelden
Temporal differencing	++	--	
Background modelling			
Average	++	+/-	Afhankelijk van de gebruikte methode
Mixture of Gaussians	+/-	+	
Kernel Density Estimators	+/-	+	
Mean Shift	--	+	Iteratief is veel te langzaam
SKDA	+/-	+	
Eigenbackgrounds	+	+	

Classificeren en volgen van objecten

Region-based tracking

1. *Region splitting and merging* (Gonzalez en Woods 1992), Regio's worden samengevoegd, die voldoende gemeenschappelijk hebben wat betreft kleur. Andersom worden regio's opgesplitst wanneer geen overeenkomsten worden gevonden.
2. *Region growing* (Gonzalez en Woods 1992), Bij region growing, wordt verondersteld, dat de pixels, die behoren bij een bepaald object, niet al te veel van elkaar verschillen in grijswaarde. Uitgaande van een pixel, waarvan met redelijkheid valt aan te nemen, dat het representatief is voor de kleur van het object, wordt de omgeving verkend op redelijk gelijkend grijswaarden. Hierdoor kan er een groeiproces plaatsvinden.
3. *Block matching* (Gyaourova, Kamath en Cheung 2003), Het beeld wordt opgesplitst in blokken. Elk volgend beeld wordt de nieuwe positie van de blokken bepaald.
4. *Watershed* (Gonzalez en Woods 1992), in een stroomgebied stroomt het water van hogere gedeelten naar een laag punt. Deze gedachten wordt gebruikt in dit algoritme. Tussen twee gebieden moet een lokale rug liggen die de twee gebieden scheid.

Tabel 19 Overzicht algoritmen classificeren en volgen van objecten

Methode	Reken-capaciteit	Nauw-keurigheid	Opmerkingen
Region-based	+/-	+/-	
Active contour-based	-	+	
Feature-based	+/-	+/-	
Model-based	--	++	Voor elk voertuig moet een model aanwezig zijn

Adaptief

Voorspellen

1. *Kalman filter* (Kalman 1960), Het Kalman filter is een stochastisch voorspel en correctie algoritme, dat de interne toestand van een systeem schat (Lin, Tai en Song 2003) (Humphries, et al. 2005) (Gupte, et al. 2002) (Lee, Ko en Han 2002) (Yiu, et al. 2005) (Xie, et al. 2005). In de voorspelstap van het Kalman filter wordt de interne toestand aangepast aan de hand van de laatst ontvangen input; hierbij wordt de betrouwbaarheid van de geschatte systeemtoestand lager. In de correctiestap ontvangt het Kalman filter een meting van (een deel van) de systeemtoestand. Deze meting wordt gerelateerd aan de interne toestand: op basis van de grootte van het verschil tussen den interne toestand en de meting worden de stochastische variabelen van de interne toestand gecorrigeerd. Hierbij neemt de betrouwbaarheid van de geschatte toestand toe.
2. *Particle filtering* (Maskell en Gordon 2002), Het belangrijkste idee achter het particle filter zijn steekproeven, ook wel de particles genoemd. Deze zijn representatief voor de distributie van de systeem status. Aangezien steeds nieuwe informatie aankomt, worden deze deeltjes constant opnieuw toegewezen om de schatting van de systeem status bij te werken. De efficiency en de nauwkeurigheid van de deeltjesfilter hangen hoofdzakelijk van twee zeer belangrijke factoren af: het aantal deeltjes dat wordt gebruikt en de functie om de nieuwe verdeling van de deeltjes te maken bij elke iteratie.
 - a. *Condensation algoritme* (Humphries, et al. 2005) (Lee, et al. 2003), dit algoritme is in staat om de kansdichtheid van vele toestanden te voorspellen. Het is bijzonder geschikt voor de tracking van meerdere objecten.
 - b. *Baysian*, met behulp van kansberekeningen wordt geschat welke situatie zich zal voordoen.

Trainen

1. *Statistical Pattern recognition* (Bishop 2006), Een kunstmatige intelligentie methode voor de classificatie of de beschrijving van observaties. De patroon herkenning probeert gegevens (patronen) te classificeren die uit de beelden wordt gehaald op basis van kennis of op statistische informatie. De te classificeren patronen zijn gewoonlijk groepen of punten, die metingen of observaties in een aangewezen ruimte bepalen.
 - a. *Clustering* (99) voor het samenvoegen van pixels tot een object.
 - i. *Fuzzy c-means*, elke pixel heeft een bepaalde graad om tot een cluster te behoren. In het centrum bevinden zich pixels met een hogere graad, dan die aan de randen van een cluster.
 - ii. *Hierarchical*, clusteren gaat in een rangorde.
 - iii. *K-means*, Vooraf wordt het aantal clusters vastgesteld. De centra van de clusters worden de eerste keer gewoon willekeurig gekozen. Daarna wordt van elk datapunt de afstand tot ieder centrum bepaald, en wordt het datapunt toegewezen aan het cluster waarvan het centrum het dichtst bij is. Nadat alle datapunten aan een cluster zijn toegevoegd, worden de cluster-centra opnieuw berekend. Het nieuwe centrum van een cluster is gewoon het gemiddelde van alle punten in dat cluster. De procedure begint nu weer opnieuw.
 - iv. Kohonen networks, een objectieve manier om gegevens te groeperen door een self-organizing netwerk van kunstmatige neuronen te gebruiken. Elk neuron slaat een gewichtsvector op, waarvan elke vector aan één van de inputgegevens beantwoordt. Wanneer een nieuw inputpatroon wordt verwerkt, berekent elk neuron zijn activeringsniveau. Het neuron met het laagste activeringsniveau dat wordt toegestaan om zijn gewichten aan te passen zodat het dichtst bij het inputpatroon komt.
 - v. Matrices, inputvectoren worden met behulp van matrix berekeningen met elkaar vergeleken en indien overeenkomsten worden vastgesteld geclusterd.
 - b. *Expectation Maximization* (Gupte, et al. 2002), wordt gebruikt voor het vaststellen van likelihood. Het model heeft onzichtbare niet gedetecteerde parameters. De methode doet alsof deze parameters wel zijn gedetecteerd en berekend de maximum likelihood. Hiermee wordt een verwachte situatie berekend.

2. *Neural Networks (Gurney 1997)*, Een kunstmatig neuraal netwerk (*Kastrinaki, Zervakis en Kalaitzakis 2003*) bestaat uit verscheidene processoren (neuronen) met een hoge mate van onderlinge connectie. De interactie tussen de diverse onderling verbonden processoren waaruit het netwerk bestaat is bovendien adaptief, zodat verbindingen tussen andere processor in het neurale netwerk kunnen ontstaan, kunnen worden versterkt, verzwakt of weer verbroken kunnen worden. Dit betekent dat een neuraal netwerk te 'trainen' is. Het 'trainen' van het netwerk gebeurt door het aanbieden van ingangswaarden met hun bijbehorende gewenste uitgangswaarden, en dan steeds door terugrekenen de overdrachtsfuncties bij te stellen. Een tweede stap in het leerproces is het aanbieden van nieuwe patronen en het controleren van het resultaat dat dat oplevert. Op die manier kan bepaald worden in hoeverre het netwerk 'volleerd' is, en hoe betrouwbaar de resultaten zijn.

Tabel 20 Overzicht algoritmen adaptief systeem

Methode	Reken-capaciteit	Nauw-keurigheid	Opmerkingen
Kalman filter	+/-	+	
Condensation	-	+	In staat om meerdere objecten te volgen
Baysian	+/-	+/-	
Clustering	+	+/-	
Expectation Maximization	-	-	
Neural Networks	+/-	+	



III. Overzicht verkeersmanagementtoepassingen Nederland

Netwerktoeepassingen

Drip (Dynamisch Route Informatie Paneel)

Een DRIP is een applicatie waarmee actuele route informatie over de verkeerssituatie op het wegennet aan de weggebruikers wordt verschaft. Dit kan in de vorm van filelengte of reistijd. De automobilist kan met behulp van deze informatie zijn routekeuze handhaven of aanpassen (*Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2004*).

DRIPs kunnen ook gebruikt worden om algemene teksten weer te geven, bijvoorbeeld teksten ter bevordering van de verkeersveiligheid (gordels achterin). Sinds kort zijn er naast DRIPs, die alleen teksten kunnen afbeelden, grafische DRIPs (GRIP) in gebruik⁹.

Doel

Het doel van de DRIP is om weggebruikers te informeren over de verkeerssituatie op hun route om zo doende de routekeuze te beïnvloeden en het efficiënt gebruiken van het netwerk te bevorderen. Hiermee wordt beoogd dat de verkeersafwikkeling en de bereikbaarheid worden verbeterd, door een betere verdeling van het verkeer over het HWN.

Aandachtspunten

Uit onderzoek blijkt dat weggebruikers de informatie op DRIPs waarderen.¹⁰ Echter foutieve informatie kan het vertrouwen in DRIPs beschadigen. Daarom is het van belang dat de informatie die op DRIPs getoond wordt accuraat is.

Kwaliteitseisen monitoring

Vrijwel alle DRIPs geven informatie over filelengte. Daarnaast kan een DRIP informatie geven over reistijden of vertragingstijden. Voor de informatie maakt het uit wat op het HWN wordt gedetecteerd.

Filelengte: de filelengte wordt berekend door per meetvak te bepalen wat de status is. Als er congestie is wordt het hele meetvak meegerekend als filelengte. Congestie is vast te stellen door de snelheidspatronen en intensiteitpatronen van een wegvak te analyseren. De berekende filelengten zijn sterk afhankelijk van de dichtheid van meetlocaties (hoe groter de dichtheid hoe betrouwbaarder). Voor de berekening is de nauwkeurigheid van de meetgegevens van minder belang, omdat het niet uitmaakt om de exacte snelheid of intensiteit te weten. Minuutgegevens zijn nauwkeurig genoeg, omdat het toch niet gewenst is om de teksten op de DRIP's continu te veranderen.

Wanneer reistijden of vertragingstijden afgebeeld moeten worden is meer informatie nodig. Dit kan gedaan worden door per wegvak te kijken naar de gemiddelde snelheid en daarmee een reistijd te berekenen. Alle tijden bij elkaar opgeteld geeft een gerealiseerde reistijd. Met camera's zou een geavanceerder systeem kunnen worden toegepast, namelijk het volgen van voertuigen over een traject. Door voertuig-

⁹ Onder andere een bermDRIP op de A2 bij Amsterdam en op de A12 bij Den Haag

¹⁰ Evaluatie in Breda en Rotterdam – Amsterdam (RIA)

kenmerken vast te stellen kunnen voertuigen van elkaar onderscheiden worden. Hiermee zijn de gereali-seerde reistijden nauwkeurig vast te stellen. Omdat niet van elk voertuig apart de reistijd hoeft te worden om de gemiddelde reistijd te bepalen maakt het niet uit als af en toe een kenteken niet herkend wordt of het systeem even niet werkt. Daarnaast zijn 4 karakters van het kenteken voldoende om een voertuig te herkennen.

Voor het voorspellen van de actuele reistijd zijn verkeersmodellen nodig.

Boss (BeslissingOnderSteunend Systeem)

Uitvoering van verkeersmanagement op het hoofdwegennet vindt plaats vanuit verkeerscentrales. Door een sterke toename van de range van verkeersmaatregelen is het lastig om inzicht te krijgen in alle verkeerskundige interacties tussen de te nemen maatregelen.

Daarom is BOSS ontwikkeld. BOSS is een model dat wordt gebruikt bij het diagnosticeren, het adviseren over en het inzetten van verkeersbeheersingsmaatregelen (*Kock en Vlist 2001*). Het ondersteunt operators en wegverkeersleiders in de verkeerscentrale bij het selecteren van een regelscenario. Hierbij volstaat het niet om inzicht te hebben in de actuele verkeerssituatie, maar ook de toekomstige verkeerssituatie dient zo goed mogelijk bekend te zijn. Het gaat dan met name om het voorspellen van de gevolgen van incidenten files, immers de dagelijkse files zijn op grond van de historische gegevens min of meer bekend.

BOSS bevat twee hoofdfuncties:

- Een systeem waarmee een voorspelling wordt gemaakt op basis van real-time meetgegevens (BOSS on-line).
- Een systeem waarmee in alle rust mogelijke maatregelen voorbereid worden en achteraf geëvalueerd worden (BOSS off-line).

Doel

Tijdens onverwachte en bijzondere omstandigheden (zoals ongevallen, evenementen, wegwerkzaamheden etc.) is het voor de operators lastig om de benuttingmaatregelen in te zetten in de verkeerscentrales te bepalen. BOSS biedt ondersteuning bij het operationeel inzetten van verkeersbeheersingsmaatregelen op het HWN.

Aandachtspunten

De operator vertrouwt erop dat het systeem juiste voorstellen geeft voor de te nemen maatregelen.

Kwaliteitseisen monitoring

Als input komen actuele verkeersgegevens binnen. Deze ondergaan een bewerking tot informatie over de actuele verkeerssituatie. Daarnaast beschikt men over de historische meetgegevens opgeslagen in een database. Vervolgens vindt een vergelijking plaats met een referentiekader. Aan de hand van deze vergelijking komt het systeem met een voorstel voor de best passende regelscenario's.

Voor het referentiekader worden kwaliteitniveaus bepaald op het netwerk, trajecten en wegvakken. En voor de actuele situatie wordt ook een actueel kwaliteitsniveau opgesteld. Het verschil in niveaus geeft probleemgebieden aan. Grootheden om de kwaliteit te bepalen zijn bijvoorbeeld snelheden, intensiteiten en dichtheid. De verwerking gebeurt aan de hand van minuutgegevens.

Reisinformatie

De gegevens over snelheid en intensiteit worden bewerkt en samengevoegd met informatie uit andere bronnen (bijvoorbeeld van andere service providers) tot verkeersinformatie. Met behulp van deze informatie wordt de weggebruiker geïnformeerd over files, wegwerkzaamheden en reistijden. Reisinformatie wordt op verschillende manieren tot de weggebruiker overgebracht, bijvoorbeeld via de radio, teletekst of in-car systemen.



Doel

Het geven van informatie over de situatie op de weg heeft verschillende doeleinden. Ten eerste kunnen reizigers hun reis van tevoren beter plannen en ten tweede kan men indien nodig de routekeuze veranderen.

Aandachtspunten

De informatie moet actueel zijn. Gebruikers willen correct geïnformeerd worden. De nauwkeurigheid is van minder belang. Daarom is de filelengte in kilometers een voldoende betrouwbare indicatie voor meldingen.

Kwaliteitseisen monitoring

De eisen zijn gelijk aan die van de DRIP (zie vorige pagina). In beide gevallen zijn de filelengte of reistijd van een traject nodig.

Wegvaktoepassingen

Mistdetectie

Bij mistongevallen is vrijwel uitsluitend sprake van kop-staartongevallen (*Knabben 2001*). Met het mistdetectiesysteem worden bestuurders gewaarschuwd voor het feit dat men een wegvak met slecht zicht nadert. Dit wordt gedaan met de MSI.

Mist wordt gedetecteerd met behulp van speciale detectoren. Deze detectoren geven de zichtafstand tussen de twee uiteinden van de detector. In Nederland is nog maar weinig ervaring opgedaan met mistdetectie (*Ravenschot en Remeijn 2000*). Verwacht mag worden dat een rustigere verkeersafwikkeling van deze maatregel uitgaat. De extra rust in de verkeersafwikkeling maakt de kans op verstoringen (zoals schokgolven) kleiner. Op basis van die verwachting heeft mistdetectie een licht positief effect op de verkeersafwikkeling.

Doel

Waarschuwen voor mist / slecht zicht verder stroomafwaarts, en hierdoor de rijnsnelheid dermate te beïnvloeden dat ongevallen kunnen worden voorkomen.

Aandachtspunten

Op het moment dat naast een mistwaarschuwing een snelheid wordt weergegeven bestaat de kans dat de adviessnelheden te hoog zijn voor de situatie. Bij te hoge adviessnelheden kan de verkeersveiligheid in het geding komen.

De plek waar de waarschuwing wordt gegeven is van belang voor een effectieve werking. Op het moment dat bestuurders worden gewaarschuwd voor mist wanneer men al in de mist rijdt is geen toegevoegde waarde. Het is ook mogelijk dat sprake is van lokaal zeer dichte mist of mistflarden in een omgeving met verder enkel mist met enige honderden meters zicht. Veel weggebruikers zullen zich in dat geval niet realiseren dat de waarschuwing niet bedoeld is voor de lichte mist waar hij zich al in bevindt, maar voor de zeer dichte mist die hij nadert.

De dichtheid van mist en daarmee het zicht, kan plaatselijk sterk variëren; regionale en plaatselijke verschillen zijn zeer aanzienlijk ook op een kleine schaal en op relatief korte onderlinge afstand. Door mist lokaal te detecteren bestaat de kans dat het systeem de mist, of de nog gevaarlijkere mistbanken niet detecteert. Dit is met name het geval bij de zeer lokale, dichte mist (mistbanken).

Kwaliteitseisen monitoring

Voor de detectie van mist is alleen detectie nodig van de zichtafstand. Extra gegevens zijn niet van belang voor de aansturing van het systeem. Eventueel is het uit te breiden naar een systeem dat naast de zichtafstand informatie geeft over het type neerslag en temperaturen.

Spookrijderdetectie

Een klein gedeelte van de ongevallen op het hoofdwegennet wordt veroorzaakt door spookrijders (*Grontmij 1999*). De ernst van de ongevallen waar spookrijders bij betrokken zijn is relatief veel groter dan de 'normale' ongevallen. De spookrijderdetectie kan op twee manieren worden ingezet. Ten eerste kan gecontroleerd worden op elke afrit. Wanneer een spookrijder de weg probeert te betreden kan deze meteen gewaarschuwd worden. In deze situatie wordt ervan uitgegaan dat geen voertuigen tussentijds op de hoofdrijbaan omkeren. Ten tweede is het mogelijk om te detecteren op de hoofdrijbaan en aan de hand daarvan de mede weggebruikers te waarschuwen of maatregelen te treffen. Waarschuwen is mogelijk met de verkeerssignalering of een DRIP. Een maatregel zou bijvoorbeeld het afkruisen van de linkerbaan¹¹ zijn.

Doel

Maatregelen moeten weggebruikers waarschuwen voor de naderende spookrijder, zodat zij adequaat kunnen reageren en de bijbehorende instructies kunnen opvolgen om ongevallen te voorkomen of de ernst van een eventueel ongeval te minimaliseren. Voorwaarden van deze maatregel is dat het verkeer niet extra in gevaar wordt gebracht en de chaos niet verergeren op de weg.

Aandachtspunten

De spookrijderswaarschuwing moet erg nauwkeurig zijn. Een verkeerde melding zou direct ten koste gaan van de geloofwaardigheid. Daarnaast zijn de spookritten vaak kort maar hebben ernstige gevolgen. Detectie moet daarom zo snel mogelijk plaatsvinden.

Kwaliteitseisen monitoring

Voor de detectie van een spookrijder moet van elk voertuig de rijrichting in de gaten worden gehouden. De informatie moet zo snel mogelijk beschikbaar komen om andere weggebruikers te informeren of om de spookrijder op de toerit al tegen te houden. Dit heeft consequenties voor de dichtheid van de meetlocaties. Voor de geloofwaardigheid mogen eigenlijk geen fouten gemaakt worden door het systeem.

DRM (Dynamische Rijstrook Markering)

Eén van de benuttingmaatregelen is het dynamisch gebruik van de rijbaan (*Knibbe 2003*). Met het dynamisch gebruik van de rijbaan wordt het aantal rijstroken afgestemd op het actuele verkeersaanbod binnen de aanwezige verharding zoals bijvoorbeeld twee normale rijstroken in de dalperioden en drie versmalde rijstroken in de spitsperioden. De actuele rijbaanindeling wordt door middel van DRM aan de weggebruiker getoond.

Onderscheid kan gemaakt worden in verschillende varianten:

- Het realiseren van een extra rijstrook, door alle rijstroken smaller te maken;

¹¹ 80% van de spookrijders rijdt over de linker rijstrook (gezien vanuit de normale rijrichting; Duits onderzoek)

- Het realiseren van een rijstrook met dynamische rijrichting, door met een dynamische markering de rijrichting aan te geven;
- Het realiseren van een dynamische doelgroepenstrook. Zo kan gedurende bepaalde tijdstippen van de dag een rijstrook exclusief voor de bus zijn, door met een dynamische markering het woord bus te tonen;
- Het extra markeren van belijning bijvoorbeeld in scherpe bochten.

Doel

Het doel van een dynamische rijbaanindeling is het vergroten van de capaciteit van een wegvak, kruising of knooppunt en beoogt het bevorderen van de doorstroming ter plaatsen van knelpunten. Dynamische aanpassing van de rijbaanindeling kan ook worden toegepast bij afwijkende verkeerssituaties, zoals bij wegwerkzaamheden.

Aandachtspunten

Wanneer de rijrichting verandert of rijstroken bijkomen door de stroken te versmallen moet het monitorsysteem snel kunnen omschakelen, zodat de verkeerssignalering nauwkeurig blijft werken.

Kwaliteitseisen monitoring

Het systeem moet op het moment dat de nieuwe rijbaanindeling van kracht wordt over kunnen schakelen naar de nieuwe situatie. Daarbij moet het monitorsysteem de basisgegevens (snelheid, intensiteit en eventueel dichtheid) blijven leveren.

DOV (Dynamische Openbare Verlichting)

Verlichting heeft twee belangrijke functies voor het wegverkeer (*Hamel, Adams en Brink 2006*). Allereerst een oriënterende functie. Bestuurders moeten weten waar men naartoe moet en wat het verloop van de weg is. Ten tweede is er een detectiefunctie. Bestuurders moeten objecten kunnen detecteren waarmee men eventueel mee in botsing kan komen.

Verkeersveiligheid is de belangrijkste factor om het wegennet te voorzien van openbare verlichting. Toch kleven er aan de verlichting een aantal nadelen. Vooral milieuaspecten spelen de laatste jaren een belangrijke rol. Openbare verlichting verstoort het leefmilieu van veel dieren, de lampen bevatten schadelijke stoffen en de verlichting verhoogt het energieverbruik.

Het toepassingsgebied is verdeeld in tweeën. Buiten de natuurgebieden wordt de dynamische verlichting ingesteld met de posities 100% of 20% (aan of gedimd). Binnen natuurgebieden zijn de posities 100% of "uit". Het schakelen tussen verschillende lichtintensiteiten is afhankelijk van de voertuig intensiteiten, de weersomstandigheden, wegwerkzaamheden en ongevallen.

Doel

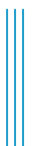
Doel van DOV is dat niet meer dan de noodzakelijke verlichting voor de verkeersveiligheid in gebruik is en dat beter rekening wordt gehouden met de openbare verlichting in natuurgebieden.

Aandachtspunten

Het schakelen op basis van de intensiteit kan minder nauwkeurig omdat de weggebruiker toch geen idee heeft op basis waarvan het licht gedimd wordt. De weerscondities luisteren echter wel nauwkeuriger. Een bestuurder zal het niet snappen wanneer de openbare verlichting gedoofd is met slecht zicht.

Bij mist kan naar een lager niveau worden geschakeld. Hiervoor is mistdetectie nodig. Echter een mistdetectie is niet essentieel voor het halen van de verkeersveiligheidseisen.

Bij gladheid wordt het systeem ingeschakeld. Voor het detecteren van gladheid is een apart systeem nodig, dat buiten de beschouwing van dit onderzoek valt.



Kwaliteitseisen monitoring

De intensiteit, snelheid en weersomstandigheden zijn primaire gegevens die het systeem nodig heeft. Om ongevallen te kunnen detecteren is het van belang dat intensiteit en snelheid in de gaten worden gehouden.

Handhaving

Verkeerscontroles vinden plaats met politiemensen en met technische hulpmiddelen. Het BVOM (Bureau Verkeershandhaving Openbaar Ministerie) (88) investeert zowel in mensen als in apparatuur. Er wordt op het hoofdwegennet op twee manieren gecontroleerd op snelheid. Door middel van puntmetingen en trajectcontrole.

De puntmetingen worden gedaan door de overbekende flitskasten of mobiele controles. Normaal gesproken wordt bij deze systemen de eigenschappen van een voertuig gedetecteerd met behulp van radar

en of lussen. Op het moment dat er een overtreding wordt gedetecteerd wordt er een "foto" gemaakt.



Figuur 56 Trajectcontrole A4

Kenmerkend voor trajectcontrole is dat de snelheid niet op één punt wordt gemeten, maar dat het om de gemiddelde snelheid over een langere afstand gaat. Bij trajectcontrole hangen camera's op verschillende punten langs de

weg, die opnames maken van ieder passerend voertuig. Met deze beelden berekent een computer een trajectsnelheid. Ligt die hoger dan de maximumsnelheid, dan krijgt de weggebruiker een bekeuring thuis gestuurd.

Niet alleen wordt gecontroleerd op snelheid, maar daarnaast richt de handhaving zich ook op maximale aslasten, hoogte (bij ingang tunnels) en het oneigenlijk gebruik van doelgroepstroken. Omdat aslast niet met een camera te detecteren is, wordt deze optie buiten beschouwing gelaten.

Doel

In Nederland wordt intensief op snelheid gecontroleerd. Snelheidscontroles vinden om drie redenen plaats. Allereerst omwille van de verkeersveiligheid. Het milieu is een tweede reden: hoe harder een voertuig rijdt, hoe hoger het brandstofverbruik, hoe meer CO₂-uitstoot en hoe meer geluidsoverlast. De derde reden is mobiliteit. Files ontstaan minder snel als weggebruikers met een homogene snelheid rijden. Bovendien is de kans op ongelukken kleiner.

Aandachtspunten

Voor handavingsdoeleinden moet altijd per individueel voertuig worden gemeten en dient adequaat bewijsmateriaal (foto, video) beschikbaar te zijn. Dit moet bijzonder betrouwbaar en nauwkeurig zijn, zodat het als juridisch bewijs kan dienen.

Kwaliteitseisen monitoring

Eisen van het openbaar ministerie zijn dat de maximale fout gemeten onder bedrijfsomstandigheden 3 km/h bedraagt voor snelheden niet groter dan 100 km/h en 3% van de werkelijke snelheid voor snelheden groter dan 100 km/h (BVOM 2001). De gemeten waarde van de detectorsnelheidsmeter moet zijn geba-

seerd op het rekenkundig gemiddelde van ten minste twee onafhankelijke meetwaarden. Het verschil tussen beide meetwaarden mag een door in het laboratorium vastgestelde maximum fout hebben. De meetopstelling moet zodanige eigenschappen hebben, dat met zekerheid kan worden vastgesteld op welk voertuig de gemeten snelheid betrekking heeft, op welke plaats en op welk tijdstip.

Op een trajectmeting gelden dezelfde eisen maar ligt de afstand tussen de twee metingen veel verder uit elkaar.

Eisen aan de hoogtedetectie en het handhaven op een doelgroepenstrook komen later aan de orde.

LFB (Lokale Filebeveiliging)

Bij LFB wordt ter hoogte van een verkeersknelpunt de aanwezigheid van een file gedetecteerd en aan de weggebruikers stroomopwaarts doorgegeven. De file kan door middel van een filebord op circa 600 meter van het detectiepunt worden doorgegeven. LFB kan als tijdelijke maatregel fungeren bij werk in uitvoering. LFB wordt vaak geïnstalleerd als voorloper op verkeerssignalering.

Doel

Deze maatregel is gericht op stroomwegen en wordt met name toegepast op locaties waar regelmatig filevorming te verwachten is en waar verkeerssignalering ontbreekt. Dit kan zijn voor knooppunten of bruginstallaties.

Aandachtspunten

LFB kan in bijna alle situaties worden toegepast. Locatiebepaling is afhankelijk van de lokale omstandigheden, zoals horizontaal of verticaal alignement (zichtbeperking) en lengte van de reguliere file. Eventueel kunnen meer van deze systemen na elkaar worden toegepast.

Op trajecten waar al verkeerssignalering in gebruik is zal deze maatregel niet worden toegepast.

Kwaliteitseisen monitoring

Bij een LFB wordt op één detectiepunt gecontroleerd op filevorming. Een daling van de snelheden geeft een file aan.

AID (Automatische Incident Detectie)

AID is onderdeel van het verkeerssignaleringssysteem MTM. Het AID-algoritme werkt op basis van een vergelijking van de gemiddelde snelheid met een grenswaarde. De snelheid wordt per rijstrook berekend en getoetst. Komt de snelheid onder de grenswaarde (deze is nu ingesteld op 35 km/h) dan zal de AID 'aangaan'. Komt de snelheid weer boven een grenswaarde dan zal de AID weer uitgaan. Een uitgebreidere beschrijving is te vinden in hoofdstuk 3.

Doel

Het primaire doel van de AID is het beveiligen van de filestaart. Het systeem heeft als doelstelling het aantal kop-staart ongevallen in de file te verminderen.

Aandachtspunten

Een AID dat valse meldingen geeft of continu aan- en uitgaat boezemt weinig vertrouwen in, waardoor de effectiviteit afneemt. Er moet daarom een afweging worden gemaakt tussen nauwkeurigheid (snel de goede beelden plaatsen) en betrouwbaarheid (een stabiel systeem).

Kwaliteitseisen monitoring

AID zet snelheden om naar rijtijden. Hoe kleiner de dichtheid tussen de meetlocaties ligt, hoe sneller het algoritme werkt.



Blokkadedetector

De blokkadedetector is een on-line rekenalgoritme dat een wegvak bewaakt (*Transpute BV 2004*). Het kan overall werken waarop min of meer regelmatige afstanden meetpunten zijn geïnstalleerd. Bijvoorbeeld een weg met signalering of monitoring. De blokkadedetector vergelijkt de intensiteiten op een rij meetpunten met elkaar en slaat alarm zodra er een blokkade optreedt. Het algoritme let op die situaties waarbij nog wel verkeer naar een bepaalde plek toe rijdt maar niet (of onvoldoende) weer vandaan komt.

Doel

Het algoritme van de blokkadedetector is ontworpen om stroom-blokkerende gebeurtenissen zo snel mogelijk te ontdekken. Het systeem attendeert de wegverkeersleider op situaties waarbij ingrijpen is gewenst. Met het toenemende gebruik van vluchtstroken als spitsstroken is dat erg belangrijk. Bij een ongeval moet namelijk snel een rijstrook vrijkomen om de hulpdiensten door te laten.

Aandachtspunten

De gevoeligheid en de responssnelheid van de blokkadedetector hangen af van de meetpunt dichtheid en de overzichtelijkheid van de wegsituatie.

Kwaliteitseisen monitoring

De blokkadedetector detecteert niet de file maar de teruggevallen verkeersintensiteit benedenstrooms van het ongeval. Om voldoende zekerheid te bieden zoekt het algoritme verdere bevestiging door de intensiteiten op meerdere detectiepunten boven- en benedenstrooms van het incident te vergelijken.

SOS (Snelheid Onderschrijding Systeem)

Zodra een voertuig onder een vooraf ingestelde grens komt wordt een alarmcontact geschakeld naar de controlekamer en de betreffende monitor van het wegvak bijgeschakeld. De operator kan onmiddellijk de juiste acties in werking zetten (*Slats en Kuijvenhoven 1991*).

Doel

Het SOS is speciaal ontwikkeld voor wegvakken met een verhoogd risico op afwijkend verkeersgedrag en dus op calamiteiten. Dit geldt in het bijzonder voor autotunnels en spitsstroken, waar verschillende factoren het rijgedrag kunnen beïnvloeden, zoals de afwezigheid van een vluchtstrook, hellende vlakken en overgangen in lichtintensiteit.

Aandachtspunten

Het waarschuwingssysteem moet reageren op een individueel voertuig. Voor een betrouwbaar systeem moeten de detectiepunten dicht bij elkaar liggen. Het falen van het systeem kan ernstige gevolgen hebben als een problemauto op een rijstrook niet wordt herkend.

Kwaliteitseisen monitoring

Het systeem werkt alleen op de variabele snelheid. De exacte snelheid is niet van belang en mag een afwijking hebben. De faalkans is echter van doorslaggevend belang.

TDI (Toerit Doseer Installatie)

Toeritdosering is het beheersen van de verkeersstroom op een toerit naar de hoofdrijbaan. Een TDI beperkt de toevoer via de toerit en/of spreidt de toevoer via de toerit in de tijd. Het verkeer wordt druppelsgewijs toegelaten tot de hoofdrijbaan, waar men makkelijker een enkel voertuig tussen kan laten dan een colonne van meerdere voertuigen tegelijk. Met een TDI kan zo het moment van congestie uitgesteld worden en eerder opgelost worden (*Jong 2004*).

Doel

Het doel van een TDI is driedig:

- Het verminderen van congestie en schokgolven op de hoofdrijbaan ten gevolge van invoegend verkeer wanneer het verkeersaanbod de capaciteit benadert;



- Het verminderen van congestie op de hoofdrijbaan wanneer het verkeersaanbod groter is dan de capaciteit;
- Het tegengaan van sluipverkeer op de toerit.

Aandachtspunten

In de eerste generatie TDI's was er sprake van twee doseeralgoritmen, namelijk:

- RWS-algoritme (op basis van snelheid en intensiteit)
- ALINEA-algoritme (op basis van bezettingsgraad)

De tweede generatie TDI's zal alleen nog maar werken op het RWS algoritme.

Voor extra naleving is een roodlichtcontrole een extra optie.

Kwaliteitseisen monitoring

Voor een goede werking van het algoritme zijn de volgende meetpunten nodig:

- een meetpunt stroomopwaarts op de autosnelweg,
- een meetpunt stroomafwaarts op de autosnelweg,
- een meetpunt stroomopwaarts op de toerit,
- een meetpunt stroomafwaarts op de toerit,
- een filemeetpunt stroomopwaarts op de toerit,
- overige monitoring in de directe omgeving van de stopstreep

De meetpunten boven- en benedenstrooms op de hoofdrijbaan en de toerit detecteren snelheid en intensiteit. Aan de hand van de capaciteit van de hoofdrijbaan wordt met deze gegevens de doseerfrequentie bepaald. Een filemeetpunt stroomopwaarts op de toerit detecteert of de TDI leidt tot filevorming. Hiervan is de doseerfrequentie mede afhankelijk.

Een detector vlak voor de stopstreep bepaald of er een voertuig aanwezig is voor het doseerlicht en twee detectoren vlak na de stopstreep controleren het moment van verspringen van het licht van groen naar geel en van geel naar rood.

Omdat de hoeveelheid vrachtverkeer belangrijk is om de capaciteit vast te stellen is een goede categorie-verdeling nodig.

Dynamisch inhaalverbod

Een inhalende vrachtwagen kan, met name in drukke verkeerssituaties, een aanzienlijke verstoring van de verkeersafwikkeling tot gevolg hebben (schokgolven). Dit geldt in het bijzonder op hellingen (bruggen en tunnels). Door een inhaalverbod blijft ten minste 1 rijstrook gevrijwaard van deze verstoring. De maatregel grijpt in op het vrachtverkeer en is in principe ten gunste van het personenautoverkeer op de snelweg. Bij lokale knelpunten kan de maatregel zorgen voor een verbetering van de verkeersafwikkeling als geheel, waarvan dan ook het vrachtverkeer profiteert.

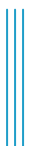
Doel

Doel van dit systeem is dat het inhaalverbod kan worden ingesteld als het druk is, ook bijvoorbeeld in het weekend. Tijdens de rustige vakantieperioden hoeft er dan geen inhaalverbod te gelden. Op deze manier wordt de doorstroming op drukke tijden bevorderd en kunnen vrachtwagens in minder drukke tijden inhalen.

Aandachtspunten

Maatregel geldt alleen voor snelwegen met 2 strooks-rijbanen.

Een dynamisch inhaalverbod is alleen in werking wanneer de verkeerssituatie daartoe aanleiding geeft.



Kwaliteitseisen monitoring

Om het systeem in werking te zetten moet informatie over intensiteiten aanwezig zijn op een traject. Verder moet bekend zijn welk gedeelte van het wegverkeer vrachtvervoer is.

DSI (Dynamische snelheidsinformatie)

Door het toepassen van DSI wordt de snelheid van gebruikers aangepast aan de verkeerssituatie. In het geval dat er congestie gaat optreden, wordt de actuele snelheid verlaagd tot een gewenste snelheid.

Doel

DSI kan voor meerdere doeleinden worden gebruikt. Op het HWN is het doel veelal het verminderen van de snelheidsverschillen tussen voertuigen. De achtergrond daarvan is dat door minder snelheidsverschillen minder verstoringen (door remmen en rijstrookwisselingen) optreden en veilige korte volgtijden kunnen worden gerealiseerd.

Aandachtspunten

In combinatie met snelheidscontroles zal het effect van een dynamisch snelheidslimiet versterkt worden.

Kwaliteitseisen monitoring

Om te bepalen wanneer de congestiekans te groot wordt zijn gegevens over intensiteit en snelheid van belang.

Doelgroepenstrook

De bereikbaarheid van bestemmingen in bepaalde delen van Nederland staat onder druk, mede door de



Figuur 57 Doelgroepenstrook op vluchtstrook

beperkte beschikbaarheid van weginfrastructuur. Het selectief verbeteren van de bereikbaarheid voor bepaalde doelgroepen is een middel om de negatieve gevolgen hiervan te beperken (CROW 2000).

Doel

Het doel van de maatregelen is het verbeteren van de doorstroming voor een specifieke (of combinatie van) doelgroep(en). Doelgroepvoorzieningen kunnen diverse beleidsdoelen dienen: bevordering van de

verkeersafwikkeling voor doelgroepen hand in hand met een economisch verantwoord gebruik van tijd en ruimte, bevordering van het leefmilieu, de veiligheid en de vervoerswijze keuze.

Aandachtspunten

Aangezien een doelgroepstrook alleen bestemd is voor een bepaalde verkeerscategorie dient in veel gevallen de maatregel gehandhaafd moeten worden door politie en justitie.

Openstelling kan gedurende de gehele dag gelden of alleen tijdens spitsperioden.

Kwaliteitseisen monitoring

Om een doelgroepenstrook open te stellen moet er aanleiding voor zijn. De aanleiding om een strook te openen is meestal de kans op congestie. Met de intensiteiten is voldoende nauwkeurig te bepalen wanneer de strook open moet

VAD (Vluchthaven Aanwezigheid Detectie)

De VAD wordt toegepast bij spitsstroken op het HWN waar de vluchtstrook tijdelijk als rijstrook wordt ingezet (96). Door het gebruik van de vluchtstrook als rijstrook moet er in geval van een calamiteit zoals autopech een veilige haven worden geboden aan de weggebruiker. Hiervoor zijn bij spitsstroken op regelmatige afstanden vluchthavens aangelegd, welke (real time) bewaakt worden via de VAD systemen en een centraal systeem.

Doel

Het VAD systeem detecteert de aanwezigheid van een of meerdere voertuigen in de vluchthaven.

Aandachtspunten

Het niet detecteren van een voertuig kan gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid waardoor betrouwbaarheid van het systeem erg belangrijk is.

Kwaliteitseisen monitoring

Het systeem hoeft alleen maar vast te stellen of een voertuig aanwezig is.

Wegbeheertoepassingen**Hoogtedetectie**

In tunnels kan grote schade worden gereden door te hoge voertuigen. Om deze tijdig te kunnen omleiden is betrouwbare hoogtedetectie noodzakelijk. Aangezien het stop zetten van een voertuig op de hoofdrijbaan ernstige verkeershinder zal veroorzaken is het gewenst om te hoge voertuigen onafhankelijk van een object in de verkeersstroom kunnen worden gedetecteerd en al rijdende uit het verkeer te halen.

Doel

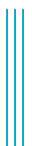
Hoogtedetectie wordt toegepast om schade te voorkomen aan kunstwerken als het gevolg van te hoge voertuigen. Naast de schade aan de kunstwerken zorgt een aanrijding voor veel opstoppingen en kan leiden tot ernstige vertragingen.

Aandachtspunten

Om voertuigen op tijd te kunnen waarschuwen en de mogelijkheid te bieden de route aan te passen moet voor de eerste afrit bovenstrooms van het kunstwerk de hoogte van voertuigen gedetecteerd worden.

Kwaliteitseisen monitoring

Het detecteren van de hoogte mag niet falen. Een probleem niet detecteren kan leiden tot een grote ravage.



IV. Verslagen interviews

Traficon

Contactpersoon: Wouter Favoreel
R&D Engineer



Historie

Onderzoek naar het gebruik van camera's voor verkeersmonitoring startte in 1979 aan de Universiteit van Leuven. In 1992 vond de oprichting van het bedrijf Traficon plaats. In de jaren die daarop volgde zijn door het puur Vlaamse bedrijf strategische connecties aangegaan met bedrijven in Europa, de Verenigde Staten en Azië. Deze buitenlandse vestigingen worden gebruikt voor de verkoop en ondersteuning van de Traficon producten. Tot op heden zijn er ruim 26.000 detectoren verkocht. Bekende projecten van Traficon zijn in Athene voor de Olympische Spelen, de Fréjus tunnel in Frankrijk en de ring Antwerpen.

Onderneming

Het hoofdkantoor is gevestigd in Bissegem (Kortrijk). Vanuit hier vindt de ontwikkeling van de producten plaats. Het ruim vijftig werknemers tellende bedrijf houdt zich alleen bezig met videomonitoring voor wegverkeerstoepassingen. Men richt zich op de toepassingen voor tunnels, snelwegen en kruispunten. Belangrijkste concurrenten zijn Autoscope, Iteris en Citilog. PEEK heeft ook systemen maar gebruikt hiervoor de algoritmen van Traficon.

Toepassingen

Binnen Traficon heeft men twee belangrijke producten. Het oudste is de VIP (Video Image Processor). De VIP zorgt voor de verwerking van videobeelden naar verkeersgegevens. Een nieuw product is de Traficam. De Traficam is een camera en verwerkingseenheid ineen en wordt gebruikt voor toepassingen met verkeerslichten.

De VIP kan gebruikt worden voor tellingen en een automatisch incidentdetectiesysteem (AID). Beide systemen hebben echter verschillende eisen. Een AID-camera kan 300 tot 400 meter ver kijken terwijl een tellingcamera een ideale hoek van 45 graden heeft. Voor de installatie van de systemen is geen tussenkomst van een computer nodig. Traficon besteedt veel aandacht aan de integratie van hun producten met andere systemen. De klant kan met software de output aanpassen aan hun eigen behoeften.

Werking

De producten kunnen volledig als stand-alone inwinstelsysteem gebruikt worden. De verwerking vindt bij snelwegtoepassingen normaal gesproken langs de wegwijk plaats. Meestal per 4 camera's tegelijk, met voor elke camera een verwerkingsmodule. De gegevens en beelden worden daarna doorgestuurd naar de door de klant gewenste bestemming. Het gebruik van het systeem als een wegwijkstelsel is mogelijk doordat gebruik wordt gemaakt van embedded software. Daardoor wordt geen gebruik gemaakt van bewegende onderdelen zoals een harddisk. Dit betekent dat het systeem rond de 300.000 uren kan werken, terwijl een normale computer veel sneller zou falen. Het centraal verwerken van de beelden is ook mogelijk. Hiervoor moet het camera beeld digitaal of analoog verstuurd worden via een glasvezelnetwerk en voordat het de verwerkingsmodule ingaat weer terug naar COAX.

Het beeld is uiteindelijk de belangrijkste factor voor een nauwkeurige verwerking. Daarom is het belangrijk dat camera's uitvoerig getest worden. Bij Traficon heeft men zelf een testruimte voor het testen van camera's. Wanneer een klant zijn eigen camera wil gebruiken wordt er een standaard testprocedure gebruikt. In principe zijn alle camera's mogelijk, maar kunnen wel gevolgen hebben voor de nauwkeurigheid.



Voor verkeerstellingen is de ideale positie op een portaal boven de weg. Als dat niet mogelijk is dan schuin vanaf de zijkant. Nadeel is dat er dan occlusie optreedt. Dit verschijnsel is op zekere hoogte te verhelpen, maar op het moment dat een voertuig echt verdwijnt achter een ander voertuig is detectie onmogelijk. Belangrijk is dat de horizon niet in beeld is, in verband met eventuele zonlichtinval. Detectie voor tellingen kan het beste door naar de voorkant van voertuigen te kijken. De hoek is ideaal bij 45 graden naar beneden.

Bij tellingen wordt gebruik gemaakt van virtuele lussen. Het is niet mogelijk om voertuigen over meerdere camera's te volgen. In het camerabeeld zelf worden voertuigen wel getracked. Hierdoor is het mogelijk om snelheden tot 0 km/h te kunnen detecteren. De signalen worden omgevormd naar lusuitvoer. Trajectoriën zijn theoretisch wel mogelijk, maar is geen vraag naar. Daarnaast zijn xyt-waarden altijd relatief van de camerapositie. Daarom wordt die functie niet gebruikt.

De AID maakt gebruik van een Level of Service. Deze is afhankelijk van de snelheid en intensiteit. Wanneer de intensiteiten hoog zijn en de snelheden laag zal er sprake zijn van congestie. Een stilstaand voertuig zal in dat geval geen ongeval zijn. Echter bij hoge snelheden in combinatie met een lage intensiteit zijn stilstaande voertuigen wel meteen van belang met betrekking tot incidenten.

De weersfactoren zijn een probleem bij videobeelden. Op het moment dat niks meer zichtbaar is dan is er geen detectie meer mogelijk. Nieuwe type camera's kunnen echter heel veel problemen goed opvangen. Zoals schaduw over het beeld en grote verschillen in licht intensiteit. Mist is bij wide-area toepassingen een probleem, maar niet voor tellingen. 's Nachts is er bij standaard openbare verlichting geen verschil tussen dag en nacht te zien bij het gebruik van een recente camera. Indien er geen verlichting aanwezig is dan kunnen er wel tellingen plaats vinden maar zal de klasse indeling alleen maar het verschil kunnen maken tussen vrachtwagen en personenwagen. Bij de camerakeuze is de dynamic range het belangrijkste.

Een probleem ten opzichte van lussen in de indeling van voertuigklassen. Dit is veel lastiger door de optical error in het beeld.

De set-up van camera's moet handmatig gebeuren. Een expert kan een systeem binnen twee minuten instellen. Belangrijk zijn de gebruikte camera instellingen, zoals het type lens en sensor. Daarnaast moeten de zones gedefinieerd worden en er moet een link gemaakt worden tussen beeld en afstand. Wanneer er problemen zijn kan men ook inbellen naar de detector (eigen IP-adres) en vanuit België de instellingen aanpassen.

Algoritmen

Het beeld van de camera komt als analogoog signaal bij het VIP-board aan. Het beeld wordt omgezet naar een matrix met daarin alle waarden van de pixels.

Vaak wordt een algoritme gebruikt dat kijkt naar de verschillen in de voor- en achtergrond. Het algoritme wordt continue getraind (adaptief). Alle parameters die kunnen veranderen worden hierin meegenomen.

Belangrijk zijn de detectiepercentages en valse alarmen. Afhankelijk van de klant/toepassing kunnen deze indicatoren verschillen. Een hoog detectiepercentage kan leiden tot veel valse alarmen en andersom. Hier wordt ook continue onderzoek naar gedaan. Laatste tijd is veel vooruitgang geboekt bij omstandigheden met wind en regen/sneeuw. Zelf heeft men ook een analyse systeem waarmee bepaald wordt waar fouten optreden. Door een iteratief proces kan men de algoritmen automatisch beter instellen.

In een onderzoek van de Universiteit van Utah in 2004 kwam Traficon als beste uit de bus. De nauwkeurigheid was in alle omstandigheden boven de 95%. Nieuwere camera's kunnen dit percentage nog verder verhogen.

Toekomst

Binnen Traficon is men steeds bezig met het optimaliseren van hun producten. 20% van de omzet wordt geïnvesteerd in nieuw onderzoek. Daarnaast is men bezig met een aantal nieuwe ontwikkelingen. Er wordt gewerkt aan een algoritme voor het afscannen van spitsstroken. Hiervoor zijn nieuwe algoritmen nodig omdat het gaat om bewegende camera's. Een andere toepassing wordt het automatisch herkennen van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit zal worden gedaan door nummerindicatie van de oranje platen op vrachtwagens. Daarnaast zijn kruispunten belangrijk. Men wil meer inzicht in de afwikkeling van het verkeer door het stedelijk gebied en daarvoor wil men analyseren wat de vertragingen zijn bij verkeerslichten.

Men wil graag samenwerken met onderzoeksinstituten zolang het de commerciële belangen niet in de weg komt te staan.

Computer vision

Contactpersoon: Dr. E.A. Hendriks



TU Delft - Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica
Afdeling Mediamatica

Inleiding

De heer Hendriks is werkzaam op het gebied van computer vision en is gespecialiseerd in geometrische info uit stereobeelden te halen. Dit betekent dat beelden vanuit twee camerastandpunten met elkaar gecombineerd worden. Als je informatie hebt over de standpunten van de camera's kan worden gezocht naar correspondenties van punten uit de werkelijkheid met punten uit de beelden. Daarmee worden 3D-reconstructies gemaakt. In de twee beelden wordt gezocht naar punten die gelijk aan elkaar zijn. Door de locaties van de punten te verbinden met de locatie van de camera ontstaan snijpunten van twee lijnen, die resulteren in een puntenwolk, oftewel een 3D-object. Deze informatie wordt gebruikt om nieuwe gezichtspunten te reconstrueren. In een onderzoek van meneer Hendriks heeft men deze techniek toegepast voor een adaptief videoconferentiesysteem. Het systeem past zich aan de kijker aan. Normaal gesproken zit je naar een plat vlak te kijken, maar het liefst zou je het vanuit je eigen gezichtspunt willen zien. Door de positie van je hoofd te registreren en de opnames van twee camera's, wordt een nieuw beeld gemaakt. In de medische toepassingen wordt ook veel gedaan. Het gaat hier vooral om segmentatie problemen. Bijvoorbeeld hartslagaders uit het beeld extraheren en daar vervolgens metingen aan verrichten. Een ander project is gebarenherkenning. Dat is het leren van gebaren aan de computer. Aan de hand van gebaren richting de computer kunnen toepassingen aangestuurd worden. Hiervoor is het nodig om eerst de hand in beeld te herkennen, maar daarna ook te tracken door het beeld en de kenmerken van de hand te verbinden aan gebaren. En een ander onderzoeksgebied is persoonsdetectie en objectherkenning voor bijvoorbeeld surveillance toepassingen.

Wisselende omstandigheden verkeersmonitoring

Videobeelden zijn zeer goed bruikbaar om verkeer te detecteren. De beelden bij medische toepassingen zijn vaak zeer slecht door veel ruis. Groot verschil met verkeer zijn de wisselende omstandigheden waarbij gedetecteerd moet worden. Niet zozeer heel snel veranderende omstandigheden, maar bijvoorbeeld kentekenherkenning moet niet alleen overdag gebeuren, maar ook 's avonds, met noodweer of regen. Op dit gebied wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om deze systemen adaptief te maken. Dat doe je door een bewegingschatting te maken. De simpelste manier is twee beelden van elkaar aftrekken. Je hebt een achtergrondbeeld en wanneer een nieuw beeldje binnenkomt trek je daar de achtergrond van af. Die achtergrond verandert in de loop van de tijd. Geprobeerd wordt om die achtergrond adaptief te ma-



ken. Elke meting gebruik je om vast te stellen of de achtergrond veranderd is. Hiervoor worden modelletjes gebouwd. En dat helpt enigszins. Perfect gaat het niet lukken, omdat je nooit van tevoren weet wat er gaat veranderen. Een aantal aannames moeten daarvoor gemaakt worden. Eén van de aannames die vaak wordt gemaakt is, dat het grootste deel van het beeld dat je ziet achtergrond is. Met dat grote gebied wordt het systeem aangepast.

Een ander probleem kan een wolk voor de zon zijn. Je belichting zal veranderen en misschien ook de automatische instellingen van je camera. Gedeelten die eerst in het ene grijswaarden gebied lagen verschuiven nu naar een ander gebied. Het is steeds meten en je systeem veranderen, een camera die zijn instellingen aanpast doet eigenlijk niks anders. Hij meet het gemiddelde over het beeld en wanneer het te donker wordt ze hij de lensopening verder open.

Schaduw is ook nog altijd een probleem waar onderzoek naar gedaan wordt. De achterliggende gedachte bij bewegende objecten, die eigenlijk iedereen gebruikt, is dat je het object samen met de schaduw detecteert. Alleen de schaduw heeft andere eigenschappen als het object zelf. Een heel belangrijk kenmerk is dat schaduw eigenlijk niks anders is als de achtergrond alleen dan donkerder. Er bestaat dus een hele sterke relatie tussen schaduw en achtergrond en voor het te volgen object is er geen relatie. Afhankelijk van de omstandigheden is deze methode nauwkeurig. Alleen als je alle omstandigheden tegelijkertijd krijgt zijn problemen te verwachten. Maar over het algemeen is schaduw goed te filteren uit een beeld.

Kwaliteit van de beelden

Resolutie heb je zowel in tijd als in het aantal pixels. Beide zijn belangrijk. Ligt aan de nauwkeurigheid waarmee je wilt meten. Wanneer je kentekens wil herkennen heb je een resolutie nodig waarop kentekens zichtbaar zijn. Als je alleen maar wilt weten wel of geen auto zou je in het algemeen een lagere resolutie kunnen gebruiken. Een resolutie van 640×480 zou daarvoor voldoende zijn. Bij kentekenherkenning heb je een hogere resolutie nodig normaal gesproken. Er zijn echter ook systemen die een voertuig herkennen en dan inzoomen op de kentekenplaat.

Het camerastandpunt heeft consequenties. Van bovenaf herken je een aantal dingen niet zo goed meer, hetzelfde geldt voor zijwaarts. Het liefste zou je wat verder willen kijken, dus het beste is om te combineren om verschillende informatiebronnen te hebben. De ene bron kan objecten detecteren terwijl de andere bron specifiekere informatie kan leveren, zoals kentekens of het aantal passagiers.

Algoritmen

Het basisprincipe van algoritmen is bewegingsdetectie. Plus je wilt graag weten waar je naar kijkt. Wanneer je helemaal niet weet waar je naar aan het kijken bent wordt het lastig. Je probeert daarom zoveel mogelijk voorkennis te gebruiken. Op het moment dat je naar auto's aan het kijken bent kan je een modelletje gebruiken. Een auto heeft bepaalde afmeting en is nooit groter of kleiner dan een bepaalde afmeting. Dit soort kennis kan je gebruiken om een selectie te maken. Daarnaast maak je een bewegingsmodel. Auto's zullen zich normaal gesproken rechtlijnig bewegen en niet naast de rijbaan komen.

In eerste instantie ga je gewoon objecten detecteren die bewegen. Het beste is door een adaptief model. Je hebt een soort standaard methode dat is de Stauffer-Grimson methode. Wat deze methode doet is voor elke pixel een soort modelletje maken en daarop baseert of de pixel tot de voorgrond of achtergrond behoort. Een standaard achtergrondpixel waarbij niks gebeurd heeft een standaard vaste waarde, maar in werkelijkheid zit er altijd wel ruis op. Dat betekent dat de pixel schommelt om die vaste waarde. Men gebruikt daarop vaak een gaussiaanse verdeling om de gemiddelde waarde heen. Over de tijd genomen is dat de belangrijkste waarde. Af en toe komt een object door het beeld en die heeft lokaal ook een eigen gaussiaanse verdeling. Van elke pixel is dus zo'n modelletje te maken. En dan ga je kijken hoe dat model het beste fit, in een achtergrond of voorgrond. Je legt dan een drempelwaarde neer om uiteindelijk te bepalen of het een voor- of achtergrondpixel is. Dan moet je pixels bij elkaar gaan nemen, want aan een

enkele pixel heb je niks. Dan ontstaan groepen met pixels, blobs. Deze methode kan erg snel verwerkt worden, maar is te verbeteren door gebruik te maken van het tracking principe. Je doet een voorspelling waar het object zich naartoe beweegt en in dat gebied ga je uitgebreid zoeken. Daar zijn tegenwoordig statistische technieken voor, bijvoorbeeld het particle filter. Dat is niks anders dan een verdeling maken van waarschijnlijkheden op basis van voorspellingen en dingen die je gemeten hebt. Op basis van die voorspellingen ga je alleen op die dingen zoeken die het meest waarschijnlijk zijn. En aan de hand van die metingen wordt weer een nieuwe voorspelling gemaakt enzovoort. En hiermee kom je voor dit soort toepassingen in real-time terecht. Je kan dan geen 1000 bij 2000 pixels aan op 60 Hertz. Rekenkracht gaat gewoon lineair met het aantal pixels. Maar het zojuist genoemde werkt al goed bij beelden van 640 x 480.

Kwaliteit algoritmen

Nauwkeurigheid van een systeem is aan te drukken in twee termen. Precision is van het aantal dingen dat je hebt gemeten er hoeveel goed zijn en Recall is hoeveel procent van de voorbijgekomen objecten zijn gedetecteerd. Het beste systeem heeft beide waarden zo hoog mogelijk. De kwaliteit van je detectie hangt heel sterk af van de omstandigheden en wat je wilt meten. Onder goede omstandigheden kom je bij alleen aangeven wel of geen auto hoog in de 90% uit. Een algemene uitspraak durft de heer Hendriks niet te geven.

Vaak maakt men een testset aan, om te controleren hoe goed een systeem met de omstandigheden kan omgaan. Allereerst wordt dan een algoritme alles aangeleerd zonder de testset. Waarna op de testset het algoritme wordt gebruikt om te bepalen hoe nauwkeurig het algoritme is. Het beste wat men kan doen is een database maken van de variabelen die gemeten moeten worden en met welke nauwkeurigheid. En aan de hand daarvan moet een algoritme worden ontwikkeld of van de plank worden getrokken. Die algoritmen worden vergeleken op een testset en dan is een afweging in nauwkeurigheid te maken.

Staat van de techniek

Op dit moment is een redelijk systeem te bouwen die bijvoorbeeld voor filebeveiliging ingezet kan worden. Wel hangt hier een prijskaartje aan. Aan de ene kant de kosten voor de apparatuur en aan de andere kant de ontwikkelkosten. Deze systemen zijn op dit moment redelijk eenvoudig te ontwikkelen. Systemen met een hoge nauwkeurigheid bijvoorbeeld het herkennen van kentekenplaat zijn niet stand-alone met een hoge nauwkeurigheid te ontwikkelen op dit moment. Tenzij je een operator laat meekijken, die in bepaalde situaties kan ingrijpen.

Toekomstverwachtingen

De verwachting voor de toekomst is dat de techniek hard vooruit zal gaan. Daar zijn een aantal redenen voor. Ten eerste wordt de kwaliteit van de camera steeds beter. Ze worden sneller en kunnen een hogere resolutie aan. Daarnaast wordt de kwaliteit van de computers steeds beter. En ten derde is er een grote onderzoeksgroep bezig op computer vision. Niet alleen op het gebied van voertuigen, maar vooral op ander gebieden en dat versterkt elkaar alleen maar. De context is vaak verschillend, maar uiteindelijk komen dezelfde problemen overal terug. Uiteindelijk is het menselijk oog vele malen beter als wat in de komende 40-50 jaar bereikt kan worden.

De kosten van camera's gaan steeds verder omlaag. Daarom wordt het mogelijk dat geen wat je vroeger met één camera deed, nu met meerdere camera's te doen. Daarnaast is het door de toegenomen rekenkracht, die vaak rechtstreeks in de camera's ingebakken wordt, geen probleem meer om meerdere beeldstromen te verwerken. En meer meten is meer weten.

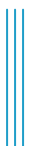
Van losse onderdelen naar product

De sensor is erg belangrijk, want alles wat je daar mist is niet meer te herstellen. Maar die sensor is niet perfect dus de volgende stap is het verwijderen van ruis. Daarna is de segmentatiefase wordt gewerkt op kleurinformatie of bewegingsinformatie. En het liefst wil je beide combineren. Dan krijg je een beschrijving van de objecten, want je weet nog helemaal niks van de objecten. De volgende stap is het meten van



kenmerken (vorm, kleur, structuur, hoekpunten). In eerste instantie gebruik je de kenmerken om een leerproces in te gaan. In het leerproces ga je auto's bekijken en de onderscheidende kenmerken eruit halen. Omdat je weet waarna je wilt kijken is dit de beste methode om te trainen. Dan ben je eigenlijk klaar ware het niet dat het real-time moet gebeuren. Daarvoor zijn optimalisatie methoden nodig. Tussen kwaliteit en performance moeten altijd keuzes gemaakt worden, want het is een soort uitruil tussen elkaar. Hoe vaker je gegevens wilt hebben hoe slechter de nauwkeurigheid gaat worden. In dat geval moet je misschien meer camera's neerzetten.

Het allerbelangrijkste is van tevoren nadenken wat je ermee wilt bereiken. Een programma van eisen opstellen. De volgende stap is rond kijken wat op dit moment state-of-the-art is. En daarna is het belangrijk om een goede testomgeving te maken bijvoorbeeld bij het testcentrum.



V. Tabellen resultaten algoritmen

TNO dataset

Tabel 21 Resultaten AID instellingen gedeelte TNO data

Aan lus	Uit lus	Totaal Aan	Aan Traject	Uit Traject	Totaal Traject	Aantal Sec eerder	Aan Dichtheid	Uit Dichtheid	Totaal Dichtheid	Aantal Sec eerder	Aan PCA	Uit PCA	Totaal PCA	Aantal Sec eerder
-	-	-	2503	2510	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2521	2535	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2537	2549	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2559	2565	6	2559	2577	18	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2603	2620	17	2590	2599	9	13	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2621	2633	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2635	2652	17	2635	2647	12	0	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2650	2665	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2691	2712	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2717	2724	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2742	2747	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2780	2791	11	2785	2793	8	-5	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2823	2832	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2837	2848	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2890	2899	9	2874	2897	23	16	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2946	2952	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	2958	2963	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2998	3009	11	2997	3006	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-
3038	3044	6	3035	3040	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	3083	3101	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	3104	3124	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	3130	3148	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	3161	3192	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	3197	3212	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3250	3260	10	3243	3274	31	7	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	3293	3304	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3354	3425	71	3334	*	*	20	3355	*	*	-1	3353	*	*	1
-	-	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3438	3457	19	*	*	205	*	*	3489	134	*	*	*	*	*
-	-	-	*	3539	*	*	3533	*	*	*	*	*	*	*
-	-	-	3548	3588	40	-	*	*	*	*	*	*	*	*
-	-	-	3594	3603	9	-	*	*	*	*	*	*	*	*
-	-	-	3617	3627	10	-	*	*	*	*	*	*	*	*
-	-	-	3634	3643	9	-	*	3644	111	-	*	*	*	*
-	-	-	3648	3681	33	-	-	-	-	-	*	*	*	*
-	-	-	3717	3747	30	-	-	-	-	-	*	*	*	*

-	-	-	3773	3808	35	-	-	-	-	-	*	*	*	*
3915	3999	84	3811	*	*	104	3802	*	*	113	*	*	*	*
4004	4048	44	*	4065	254	*	*	*	*	*	*	*	*	*
-	-	-	4078	4133	55	-	*	4092	290	-	*	*	*	*
-	-	-	4139	4169	30	-	-	-	-	-	*	*	*	*
4173	4184	11	4172	4180	8	1	-	-	-	-	*	*	*	*
-	-	-	4199	4208	9	-	-	-	-	-	*	*	*	*
4268	4280	12	4250	4285	35	18	-	-	-	-	*	*	*	*
-	-	-	4294	4311	17	-	-	-	-	-	*	*	*	*
-	-	-	4342	4355	13	-	-	-	-	-	*	*	*	*
4388	4440	52	4368	*	*	20	-	-	-	-	*	*	*	*
4469	4588	119	*	4623	255	*	4482	*	*	-13	*	*	*	*
-	-	-	4660	4681	21	-	*	*	*	*	*	*	*	*
-	-	-	4685	4733	48	-	*	*	*	*	*	*	*	*
4840	4925	85	4746	5000	254	94	*	5000	518	*	*	5000	1647	*
10000	10670	670	10000	10666	666	0	10000	10216	216	0	10000	*	*	0
-	-	-	-	-	-	-	10237	10453	216	-	*	*	*	*
-	-	-	10703	10724	21	-	10473	10706	233	-	*	*	*	*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*
-	-	-	10923	10937	14	-	-	-	-	-	*	*	*	*
11062	11192	130	11020	*	*	42	11029	11192	163	33	*	*	*	*
11312	11533	221	*	*	*	292	11332	11536	204	-20	*	*	*	*
11603	12096	493	*	12097	1077	583	11626	12111	485	-23	*	*	*	*
12308	12785	477	12227	12788	561	81	12183	12800	617	125	*	*	*	*
12839	13068	229	12846	13075	229	-7	12875	12925	50	-36	*	*	*	*
-	-	-	-	-	-	-	12939	13116	177	-	*	*	*	*
13164	13470	306	13211	13473	262	-47	13225	13476	251	-61	*	*	*	*
13538	13916	378	13532	13957	425	6	13529	13865	336	9	*	*	*	*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*
14128	14203	75	14083	14205	122	45	14121	14245	124	7	*	14250	4250	43
-	-	-	-	-	-	-	14336	14387	51	-	-	-	-	-
-	-	-	14402	14412	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14483	14488	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14514	14519	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14581	14594	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14633	14646	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14683	14699	16	14683	14689	6	0	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14740	14747	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14758	14770	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14822	14832	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14883	14891	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	14970	14978	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14994	15000	6	14993	14998	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-



NGSIM dataset

Tabel 22 Overzicht NGSIM resultaten snelheid Traject 50m

Locatie	Aan lus	Uit lus	Totaal Sec Aan	Aan 50m	Uit 50m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan dichtheid 50m	Uit dichtheid 50m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan PCA 50m	Uit PCA 50m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder
300m	1513	1553	40	1510	1556	46	3	1517	1559	42	-4	1323	*	*	190
	1695	1742	47	1678	1744	66	17	1721	1750	29	-26	*	1750	427	372
400m	1392	1416	24	1378	1419	41	14	1350	*	*	42	1309	*	*	83
	1510	1563	53	1501	1596	95	9	*	1566	216	160	*	*	*	201
	1676	1750	74	1671	1750	79	5	1694	1749	55	-18	*	1750	441	367
500m	1378	1423	45	1357	1422	65	21	1353	*	*	25	1325	*	*	53
	1500	1610	110	1482	1615	133	18	*	*	*	147	*	*	*	175
	1659	1750	91	1653	1750	97	6	*	1750	397	306	*	1750	425	334

Tabel 23 Overzicht NGSIM resultaten snelheid Traject 100m

Locatie	Aan lus	Uit lus	Totaal Sec Aan	Aan 100m	Uit 100m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan dichtheid 100m	Uit dichtheid 100m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan PCA 100m	Uit PCA 100m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder
300m	1513	1553	40	1509	1561	52	4	1526	*	*	-13	1306	*	*	207
	1695	1742	47	1674	1746	72	21	*	1750	224	169	*	1750	444	389
400m	1392	1416	24	1377	1424	47	15	1350	*	*	42	1218	*	*	174
	1510	1563	53	1499	1603	104	11	*	*	*	160	*	*	*	292
	1676	1750	74	1659	1750	91	17	*	1750	400	326	*	1750	532	458
500m	1378	1423	45	1353	1422	69	25	1327	*	*	51	1223	*	*	155
	1500	1610	110	1482	*	*	18	*	*	*	173	*	*	*	277
	1659	1750	91	*	1750	268	177	*	1750	423	332	*	1750	527	436

Everdingen dataset

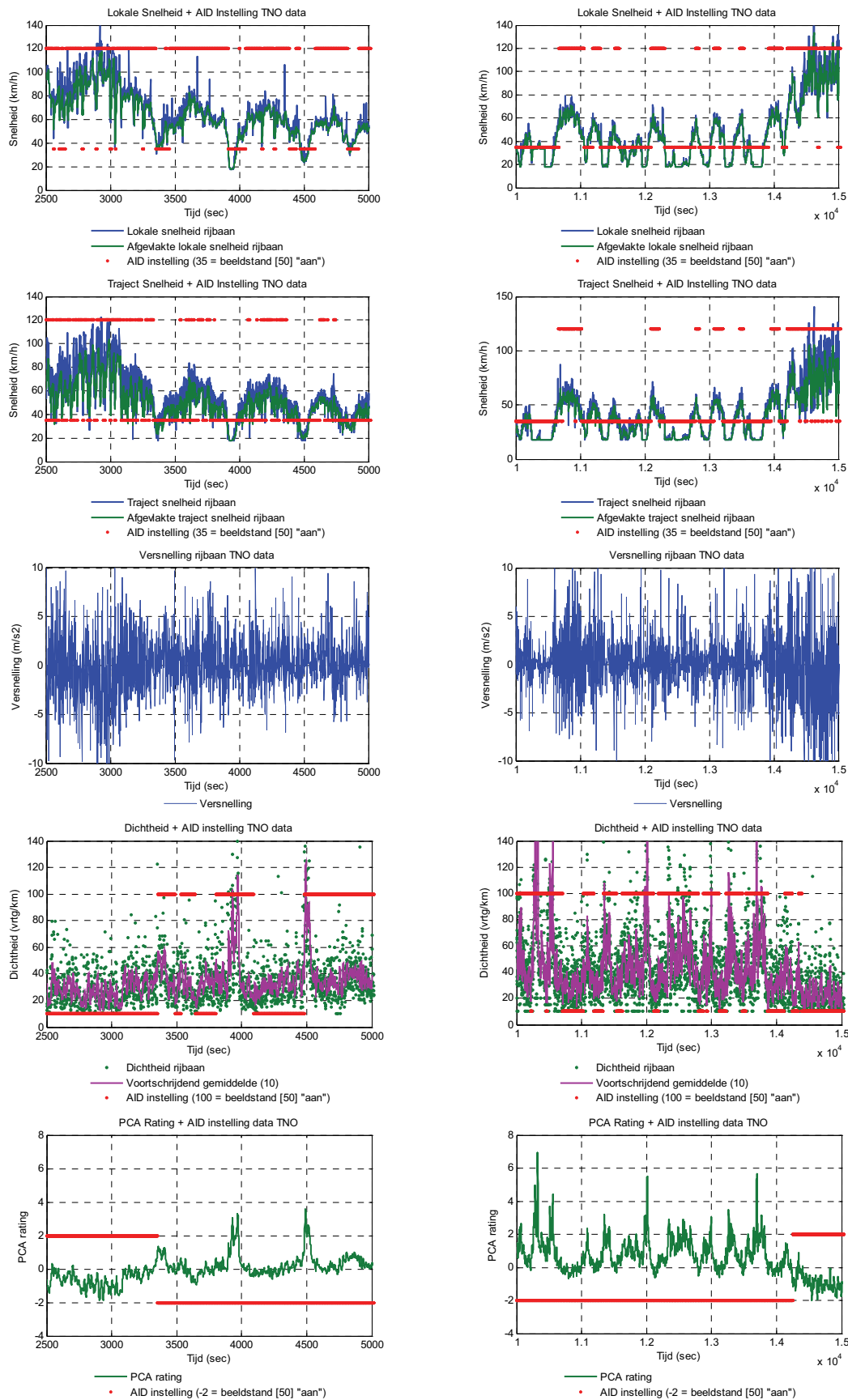
Tabel 24 Overzicht Everdingen resultaten snelheid Traject 50m

Locatie	Aan lus	Uit lus	Totaal Sec Aan	Aan 50m	Uit 50m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan dichtheid 50m	Uit dichtheid 50m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan PCA 50m	Uit PCA 50m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder
300m	117	167	50	116	165	49	1	125	144	19	-8	118	*	*	-1
	279	290	11	274	290	16	5	-	-	-	-	*	290	172	161
400m	126	179	53	121	176	55	5	136	172	36	-10	126	290	164	0
500m	143	199	56	133	200	67	10	145	185	40	-2	131	*	*	12
	223	248	25	226	243	17	-3	230	241	11	-7	*	290	159	92

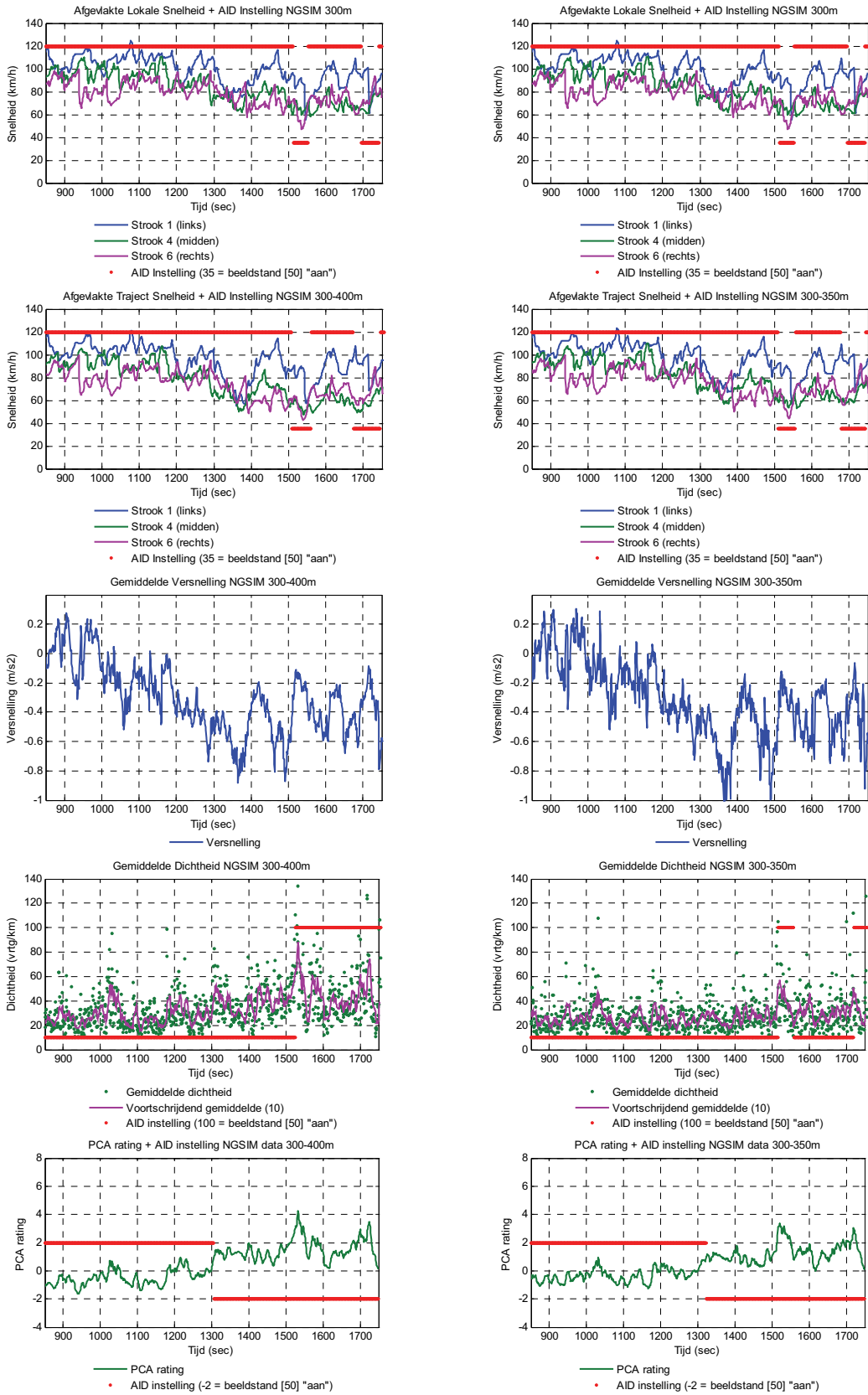
Tabel 25 Overzicht Everdingen resultaten snelheid Traject 100m

Locatie	Aan lus	Uit lus	Totaal Sec Aan	Aan 100m	Uit 100m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan dichtheid 100m	Uit dichtheid 100m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder	Aan PCA 100m	Uit PCA 100m	Totaal Sec aan	Aantal Sec eerder
300m	117	167	50	99	165	66	18	-	-	-	-	105	197	93	12
	279	290	11	269	290	21	10	252	290	38	27	252	290	38	27
400m	126	179	53	118	176	58	8	135	193	58	-9	126	*	*	0
	-	-	-	282	290	8	-	218	267	49	-	*	290	164	-
500m	143	199	56	126	204	78	17	129	202	73	14	128	*	*	15
	223	248	25	226	243	17	-3	233	257	24	-10	*	290	162	95

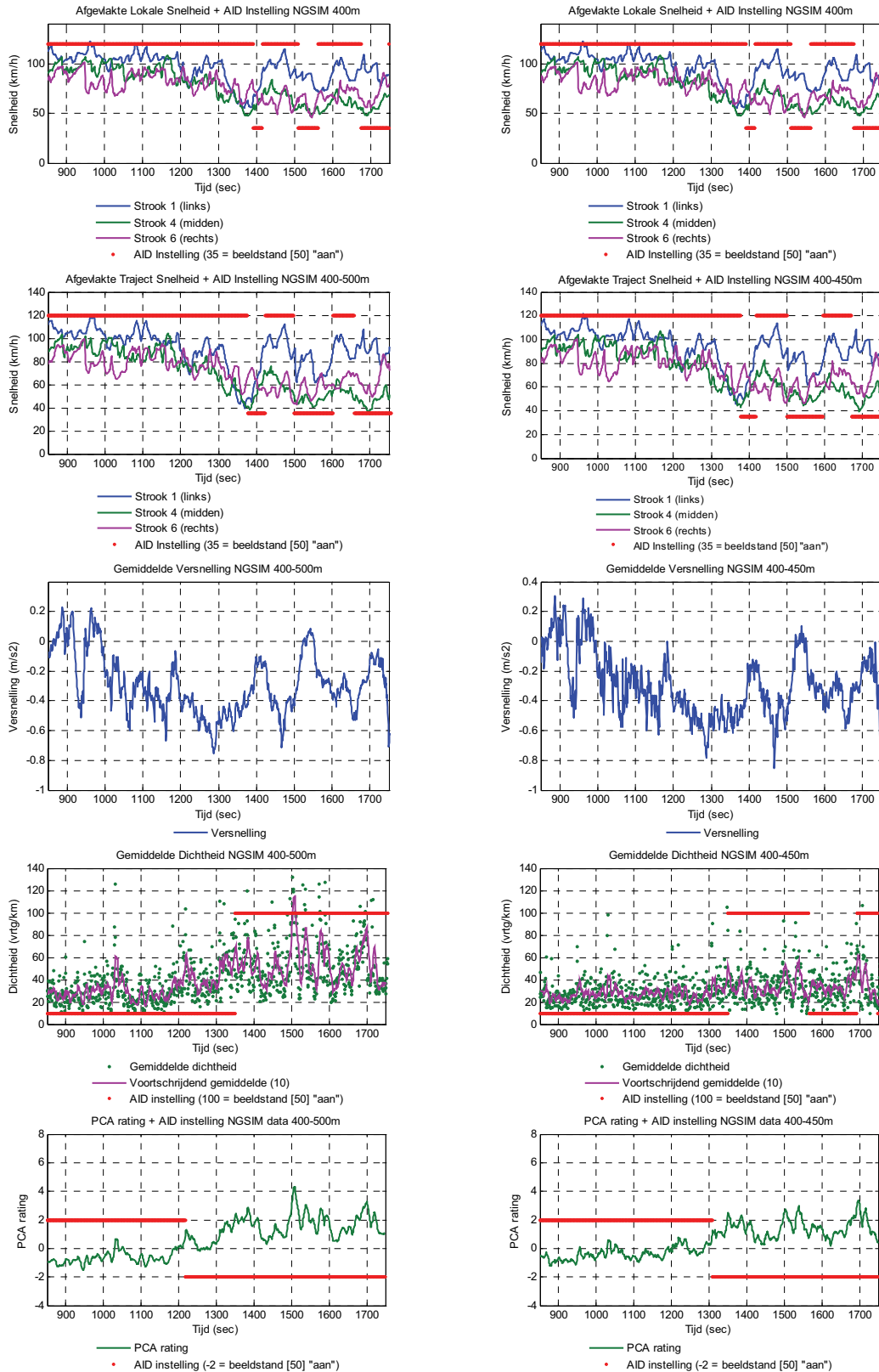
VI. Grafieken resultaten algoritmen



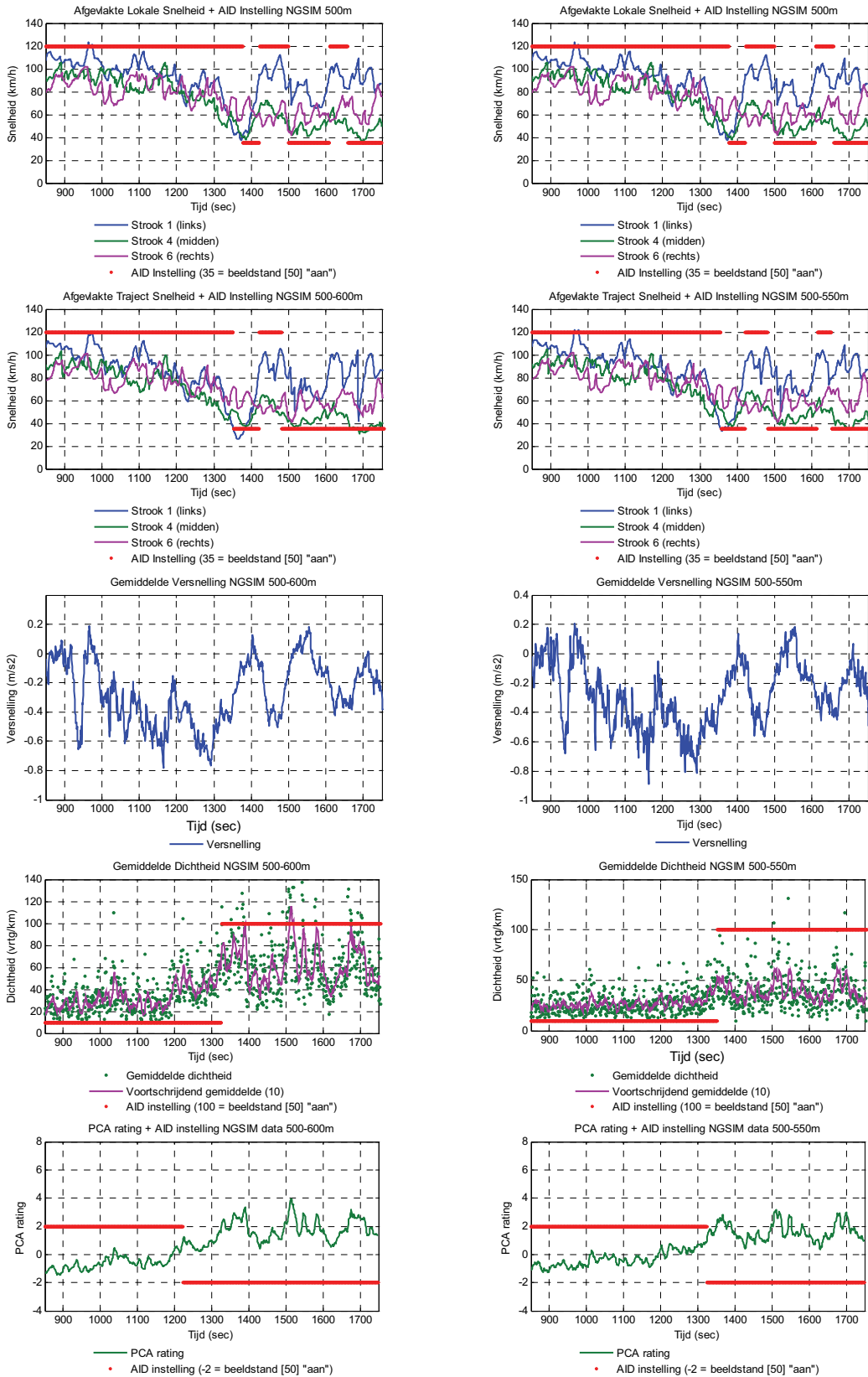
Figuur 58 Plots TNO data



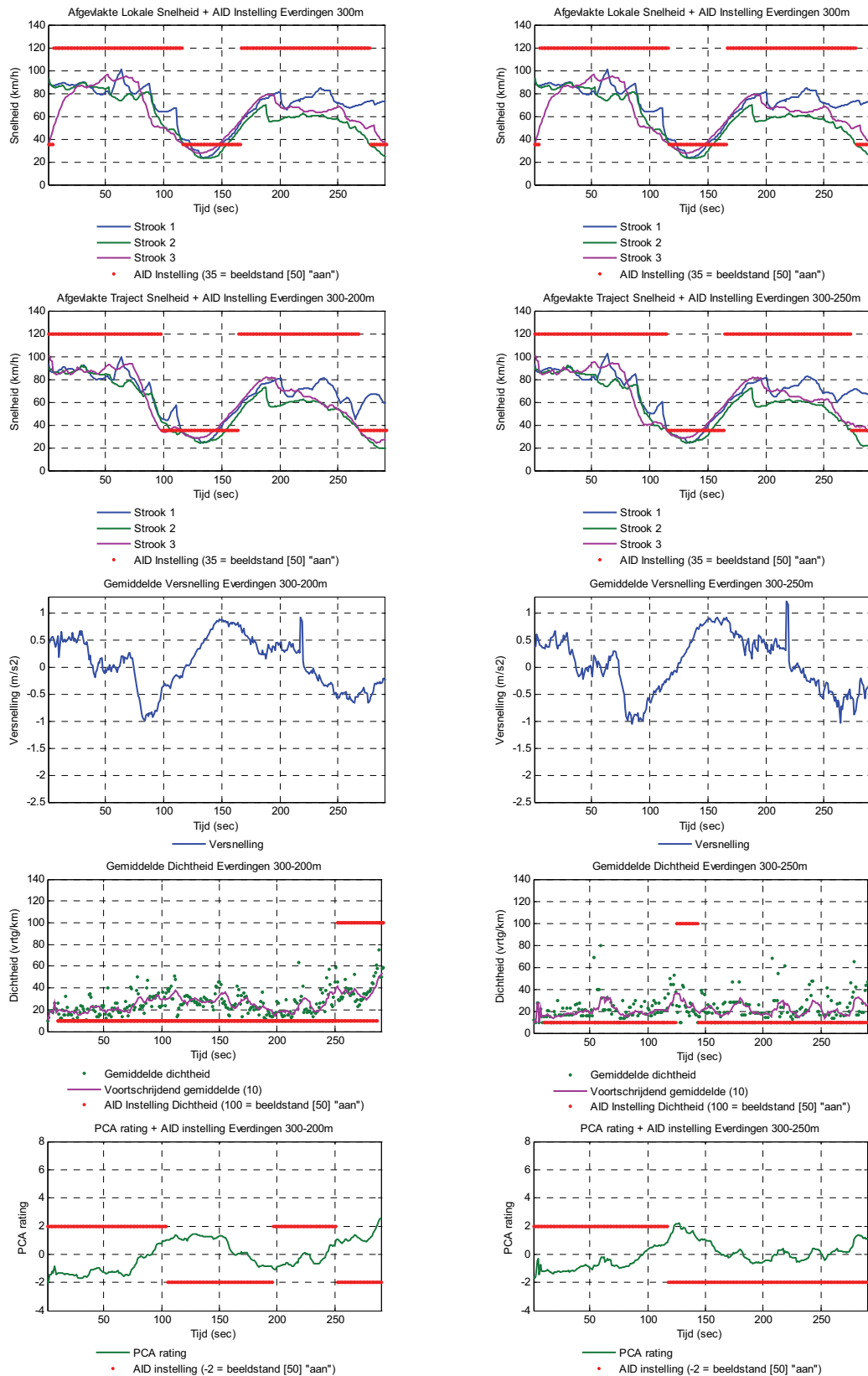
Figuur 59 Plots NGSIM data lus 300m



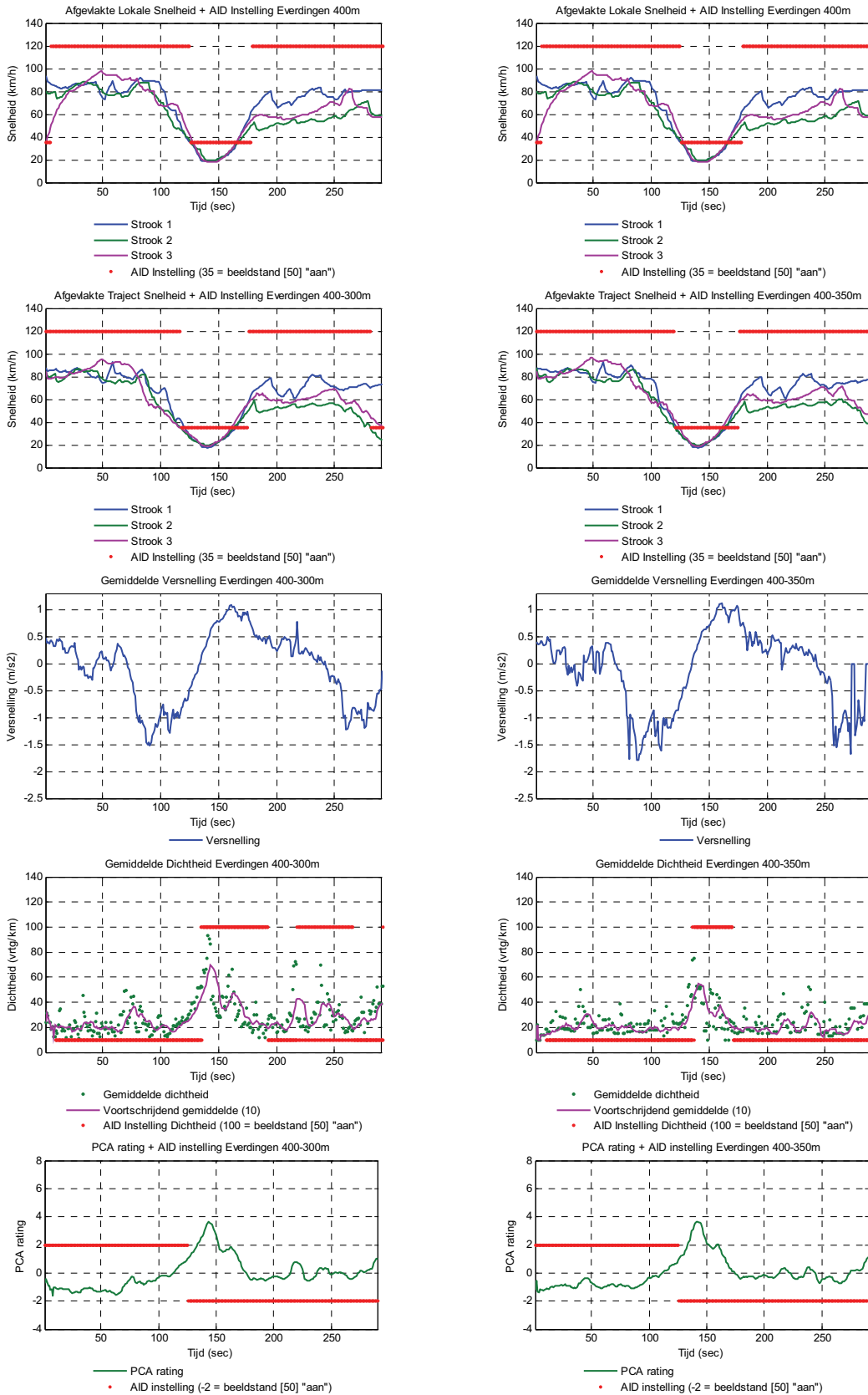
Figuur 6o Plots NGSIM data lus 400m



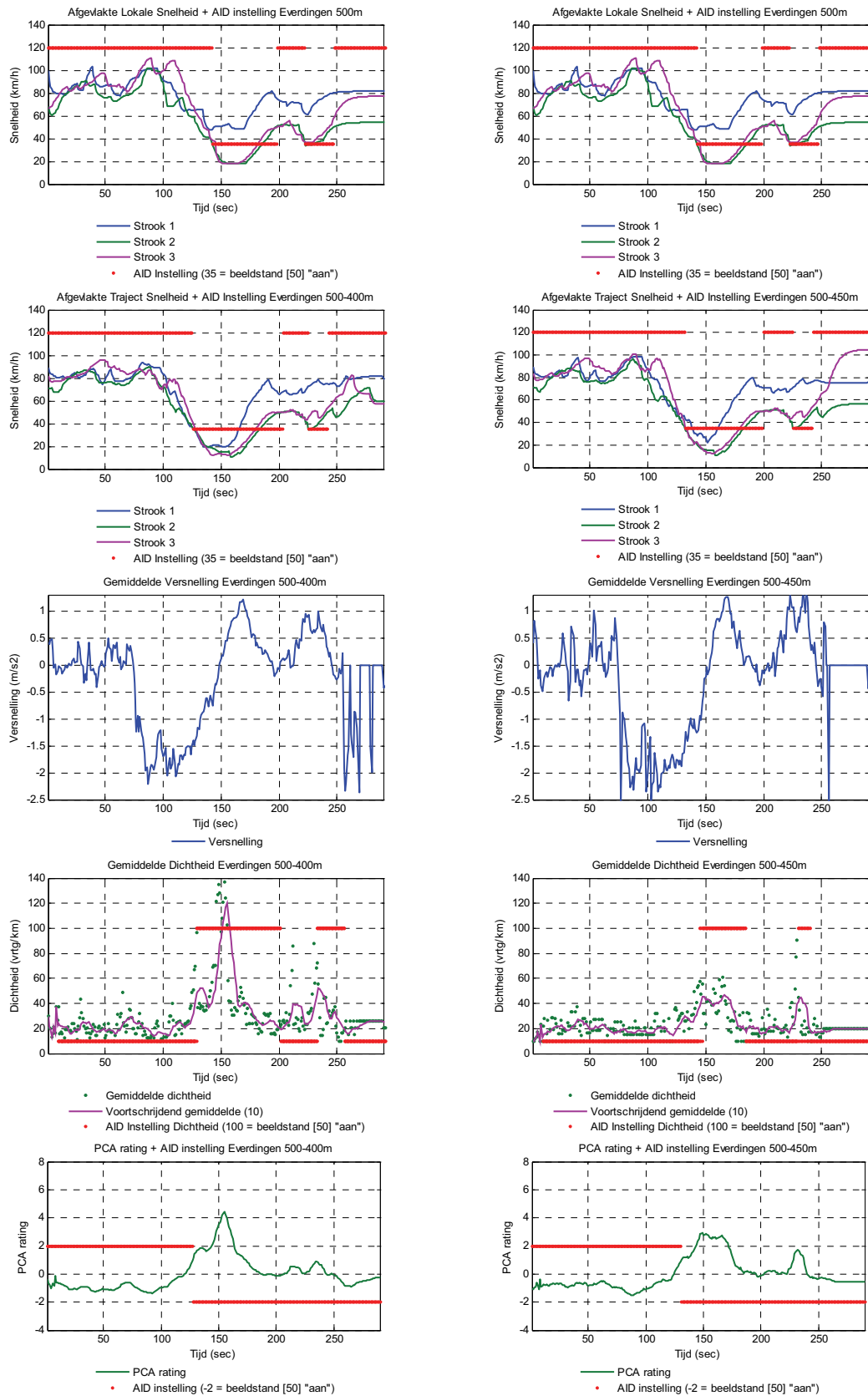
Figuur 61 Plots NGSIM data lus 500m



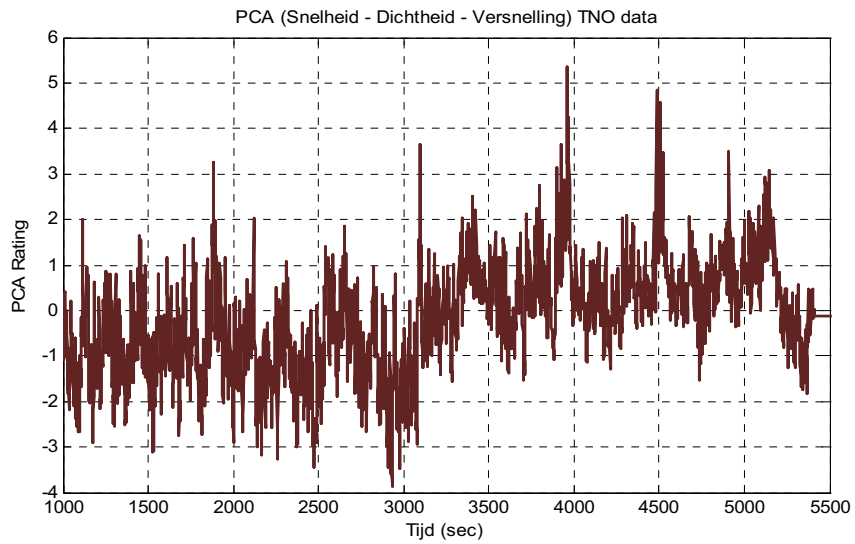
Figuur 62 Plots Everdingen data lus zoom



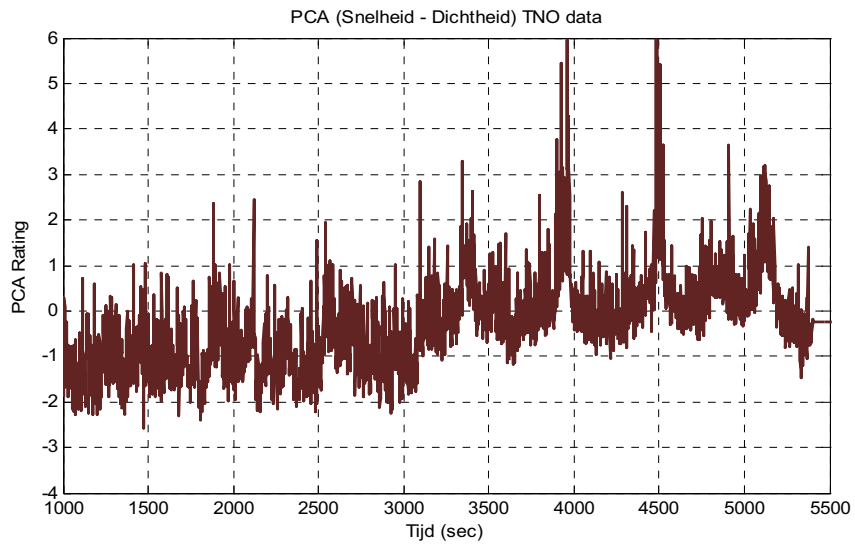
Figuur 63 Plots Everdingen data lus 400m



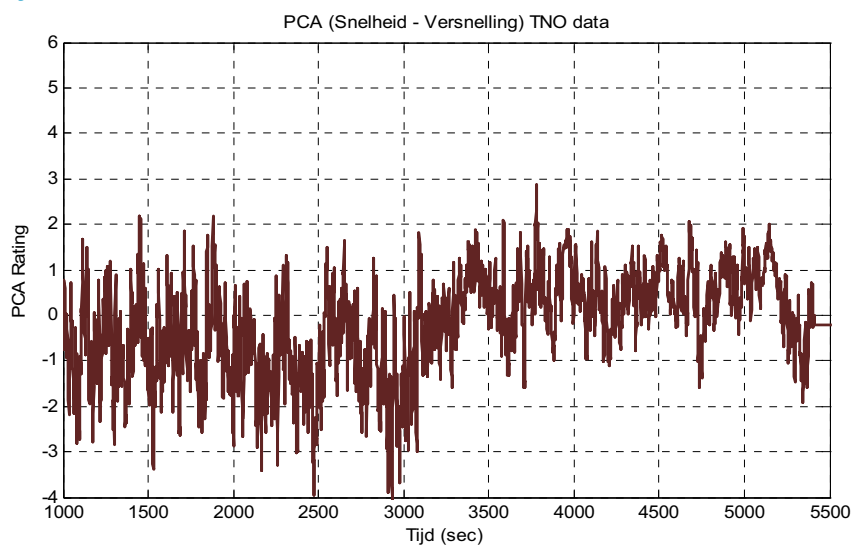
Figuur 64 Plots Everdingen data lus 500m



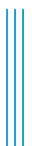
Figuur 65 PCA Traject snelheid - Dichtheid - Versnelling



Figuur 66 PCA Traject snelheid - Dichtheid



Figuur 67 PCA Traject Snelheid - Versnelling





Blik op het Wegennet

Mogelijkheden van
videomonitoring in Nederland

N.S. van den Bosch

Ringweg Randenbroek 65C
3816 CE Amersfoort
06-10745435
niels@van-den-bosch.com