

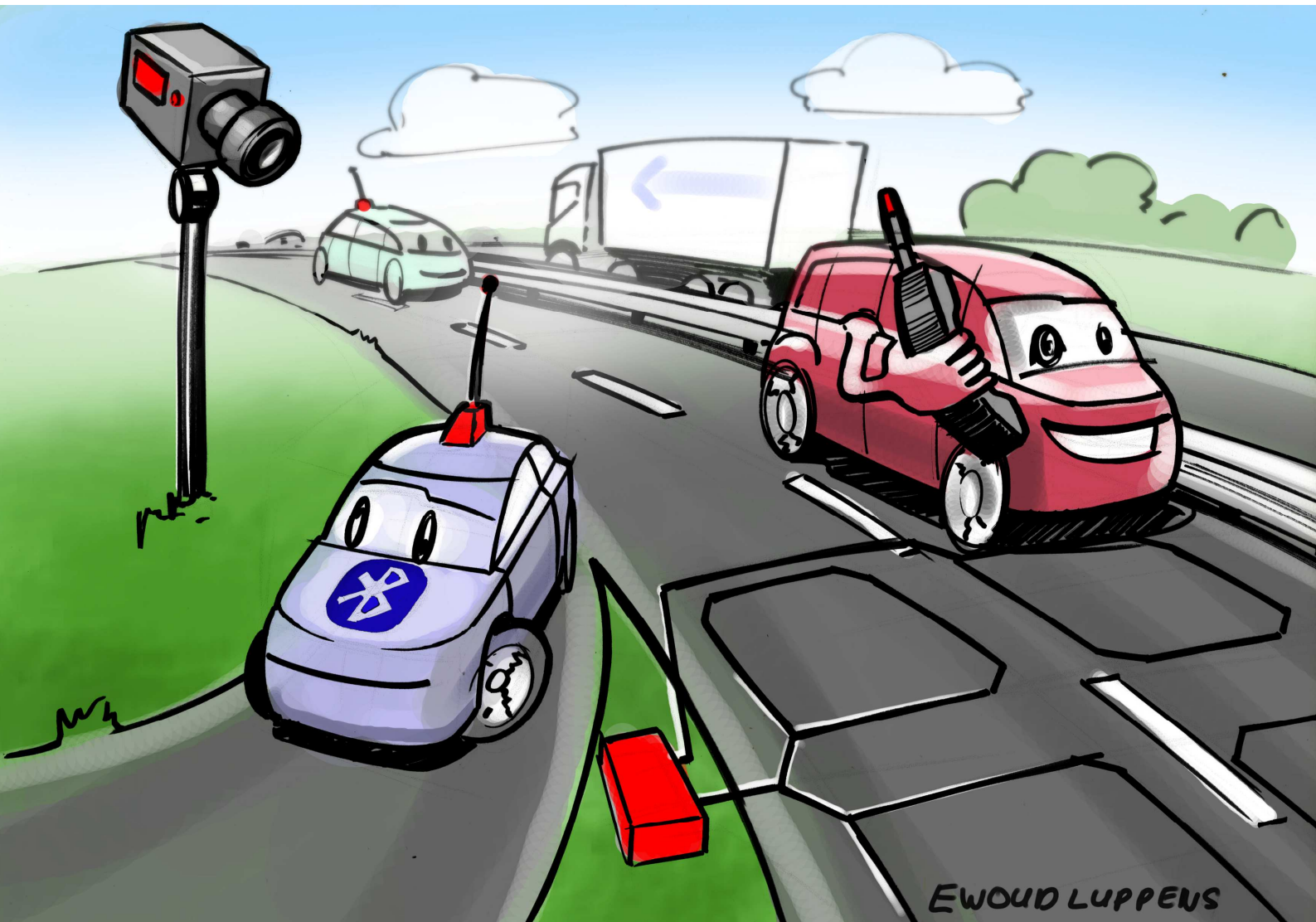


TrafficQuest
CENTRE FOR EXPERTISE ON TRAFFIC MANAGEMENT

TrafficQuest rapport

Alternatieve databronnen voor verkeersmanagement

State-of-the-Art achtergronddocument



Colofon

Auteurs Eline Jonkers
Ronald van Katwijk
Isabel Wilmink

Datum 21 april 2017

Versienummer 1.0

Uitgegeven door TrafficQuest
Postbus 5044
2600 GA DELFT

Informatie Henk Taale

Telefoon +31 88 798 24 98

TrafficQuest is een samenwerkingsverband van



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



TrafficQuest
CENTRE FOR EXPERTISE ON TRAFFIC MANAGEMENT

Alternatieve databronnen voor verkeersmanagement

State-of-the-Art
achtergronddocument

21 april 2017

Inhoudsopgave

| | |
|---|----|
| Voorwoord..... | 5 |
| Afkortingen | 6 |
| 1. Inleiding | 7 |
| 1.1. Doelen inzet alternatieve databronnen voor VM | 7 |
| 1.2. Monitoren en verkeersmanagement | 8 |
| 1.3. Scope..... | 9 |
| 1.4. Leeswijzer | 9 |
| 2. Data en databronnen..... | 10 |
| 2.1. Benodigde data voor verkeersmanagement..... | 10 |
| 2.2. Inwinsystemen | 11 |
| 3. Van data naar informatie voor verkeersmanagement..... | 17 |
| 3.1. Huidige manieren van inwinning van data voor VM..... | 17 |
| 3.2. Alternatieve data-inwinning i.r.t de functies van VM | 19 |
| 4. Onderzoeksresultaten | 22 |
| 4.1. Floating Car Data in het algemeen | 22 |
| 4.2. Filestaartbeveiliging | 23 |
| 4.3. Alternatieve routes en reistijden | 25 |
| 4.4. Homogeniseren van verkeer..... | 26 |
| 4.5. Aansturen VRI's en TDI's | 27 |
| 4.6. Overig onderzoek | 28 |
| 5. Conclusies en doorkijk naar de toekomst..... | 31 |
| 5.1. Transitie naar monitoring met voertuiggebonden systemen..... | 31 |
| 5.2. De aandacht verschuift van inwinning naar verwerking..... | 33 |
| Literatuur..... | 36 |

Voorwoord

Allerlei ontwikkelingen, zowel technische als organisatorische, maken het mogelijk om verkeersmanagement effectiever en proactiever te maken. Heel belangrijk daarbij zijn de data die benodigd zijn om verkeersmanagementmaatregelen mogelijk te maken. Deze memo behandelt het onderwerp alternatieve databronnen voor verkeersmanagement – welke nieuwe of verbeterde databronnen kunnen ingezet worden en waarvoor?

Deze memo is geschreven aan de hand van literatuuronderzoek en gesprekken met experts uit de moederorganisaties van TrafficQuest. De auteurs van deze memo bedanken Ernst Jan van Ark, Taoufik Bakri, Edoardo Felici, Lidwien Goossens-Visser, Gerdien Klunder, Marco Schreuder, Aroen Soekroella en Henk Taale voor hun input.

De auteurs: Eline Jonkers, Ronald van Katwijk, Isabel Wilmink

Afkortingen

| | |
|------|---|
| AID | Automatische Incident Detectie |
| CAM | Cooperative Awareness Message |
| CAN | Controller Area Network |
| DRIP | Dynamisch Route Informatie Paneel |
| FCD | Floating Car Data |
| GNV | Gecoördineerd Netwerkbreed Verkeersmanagement |
| MTM | Motorway Traffic Management |
| NDW | Nationale Databank Wegverkeersgegevens |
| TDI | Toerit Doseer Installatie |
| VBM | Video based monitoring |
| VI | Verkeersinformatie |
| VM | Verkeersmanagement |
| VRI | VerkeersRegel Installatie |
| WIM | Weigh-in-motion |

1. Inleiding

Voor de inzet van verkeersmanagement (VM) en verkeersinformatie (VI) zijn veel data nodig. Vandaag de dag is verkeersmanagement voor een groot deel gebaseerd op lusdata; voor de inzet van bijvoorbeeld Automatische Incident Detectie (AID), Toerit Doseer Installaties (TDI's), Verkeersregel Installaties (VRI's), dynamische maximumsnelheden en andere verkeersmanagementmaatregelen wordt informatie uit lussen gebruikt. Echter, er zijn ook andere databronnen beschikbaar, meer dan vroeger. Bedrijven als TomTom, HERE, INRIX, Be-Mobile en Google winnen zelf data in en bieden hieruit afgeleide informatie aan via internet, smartphone apps en navigatiesystemen. Deze alternatieve databronnen worden wel gebruikt voor bijvoorbeeld monitoring in verkeerscentrales, maar (nog) niet om verkeersmanagementmaatregelen aan te sturen. In deze memo verkennen we de mogelijkheden voor het gebruik van alternatieve databronnen voor verkeersmanagement. In hoeverre kunnen alternatieve databronnen (eventueel gefuseerd met traditionele bronnen) gebruikt worden voor verkeersmanagement? Wat gebeurt er nu al en wat zou er in de toekomst kunnen? Wat zijn de ervaringen en de ideeën? Waar moeten de data aan voldoen voordat er echt verkeersmanagementmaatregelen mee aangestuurd kunnen worden?

In dit hoofdstuk worden de doelen van het inzetten van alternatieve databronnen voor verkeersmanagement beschreven (paragraaf 1.1), de onderwerpen monitoring en verkeersmanagement verder geïntroduceerd (paragraaf 1.2), en de scope (paragraaf 1.3) en leeswijzer (paragraaf 1.4) gegeven.

1.1. Doelen inzet alternatieve databronnen voor VM

Verkeersmanagementmaatregelen worden vandaag de dag voor een groot deel aangestuurd op basis van lusdata. Waarom is het een goed idee te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn voor het gebruik van alternatieve databronnen voor verkeersmanagement?

Er zijn verschillende mogelijke doelen die bereikt kunnen worden door het inzetten van alternatieve databronnen:

- Door gebruik van alternatieve databronnen is er betere (actuelere, nauwkeurigere, betrouwbaardere en mogelijk andere) informatie beschikbaar om maatregelen op te baseren;
- Inwinning met alternatieve databronnen kan goedkoper zijn dan inwinning met conventionele databronnen;
- Wellicht zijn er met alternatieve databronnen nieuwe maatregelen mogelijk.

Ook kunnen met alternatieve databronnen bepaalde informatie en inzichten verkregen worden die met traditionele bronnen niet of minder goed verkregen kunnen worden. Een aantal voorbeelden hiervan zijn:

- Het is mogelijk nauwkeuriger en gedetailleerder inzicht te krijgen in het verplaatsingsgedrag van reizigers (inclusief herkomsten en bestemmingen);

- Het is mogelijk nauwkeuriger en gedetailleerder inzicht te krijgen in de verkeersafwikkeling onder verschillende omstandigheden;
- Door alternatieve en traditionele databronnen te combineren en/of te fuseren is het mogelijk een veel fijnmaziger en vollediger beeld van de verkeersafwikkeling op te bouwen dan op basis van elke bron afzonderlijk.

En met deze nieuwe informatie en inzichten zijn nieuwe toepassingen mogelijk, bijvoorbeeld weggebruikers een veel gericht advies geven over een optimaal snelheidsprofiel bij het naderen van een filegolf of de wachtrij voor een kruispunt, en als wegbeheerder een beter beeld krijgen van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling op het netwerk en de ruimte die er nog in het netwerk is.

1.2. Monitoren en verkeersmanagement

Monitoren, in de context van verkeersmanagement, is het meten en interpreteren van verkeerssituaties, dat wil zeggen het meten van grootheden waarmee je de verkeerssituatie kunt beschrijven en begrijpen. Er zijn twee hoofdredenen om te monitoren, te weten:

1. Voor *offline* gebruik, dat wil zeggen
 - a. Om verkeersmanagement (of willekeurig welke andere verkeers)maatregelen te kunnen kalibreren, valideren en inregelen.
 - b. Om het effect van (verkeersmanagement)maatregelen en beleid te kunnen meten en te toetsen op hun bijdrage aan de doelen die gesteld zijn.
2. Voor *online* gebruik: Als invoer voor de systemen of modellen die de verkeersmanagementmaatregelen uitvoeren en optimaliseren (AID, TDI's, Dynamische Route Informatie Panelen (DRIPs), routing, dynamische navigatie, etc.).

Monitoren is cruciaal voor verkeersmanagement. Als er niets gemeten wordt valt er ook niets te managen. Met het inzicht in de verkeerssituatie kunnen verkeersmanagement- en verkeersinformatiesystemen efficiënt ingezet worden. Met verkeersmanagement (VM) wordt beoogd de wegcapaciteit optimaal te benutten door weggebruikers te informeren/adviseren, waarschuwen en door het verkeer te sturen en te regelen. Dit gebeurt door middel van bijvoorbeeld toeritdosering, variabele snelheidslimieten (signalering) en routeadvies op DRIPs (en in de toekomst wellicht ook in-car). Bij verkeersinformatie kun je denken aan actuele informatie over reistijden en files, verspreid via navigatiesystemen en DRIPs. Met de inzet van verkeersmanagement en verkeersinformatie kan het verkeersnetwerk beter benut worden en kunnen de weggebruikers dankzij betere informatie comfortabeler reizen.

Voor meer informatie over de verschillende toepassingen van verkeersmonitoring in verkeersmanagement zie het State-of-the-Art Achtergronddocument Informeren [Soekroella et al., 2014].

1.3. Scope

In deze memo wordt een overzicht gegeven van welke databronnen er zijn voor verkeersmanagement, hoe alternatieve databronnen nu gebruikt worden voor verkeersmanagement, en wat de mogelijkheden voor de toekomst zijn. We richten ons op *online* gebruik van data: data als input voor het uitvoeren van verkeersmanagementmaatregelen. Ook richten we ons op verkeersmanagement om de verkeersafwikkeling te verbeteren, en niet op bijvoorbeeld verkeersveiligheid en emissies (al kunnen deze ook beïnvloed worden door doorstromingsmaatregelen). Technische details (zoals latency, dataverrijking en standaarden) maken geen deel uit van deze memo.

1.4. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van data en databronnen voor verkeersmanagement. Daarna worden in hoofdstuk 3 de verschillende verkeerskundige functionaliteiten beschreven, en per functionaliteit de huidige databron(nen) en mogelijke alternatieve databron(nen). Ook wordt daarin aangegeven welke functionaliteiten specifiek voor het onderwerp van deze memo interessant zijn. Hoofdstuk 4 beschrijft vervolgens – per relevante functionaliteit – de stand van zaken aan de hand van literatuur, lopend onderzoek, proeven en pilots. In Hoofdstuk 5 worden tenslotte de conclusies en een doorkijk naar de toekomst gegeven.

2. Data en databronnen

Data voor verkeersmanagement kunnen op verschillende manieren verzameld worden, bijvoorbeeld met wegkantsystemen of met persoons- en voertuiggebonden systemen die in het voertuig aanwezig zijn tijdens een rit. Dit hoofdstuk bevat een overzicht van benodigde data voor verkeersmanagement (paragraaf 2.1) en korte beschrijvingen van veel gebruikte systemen voor het inwinnen van data (paragraaf 2.2).

2.1. Benodigde data voor verkeersmanagement

Het doel van verkeersmanagement is vooral het bevorderen van de doorstroming, door vraag en aanbod op elkaar af te stemmen, bijvoorbeeld door het verkeer te spreiden, te bufferen of te homogeniseren. Om dit te kunnen doen moet je (continu) weten hoe groot vraag en aanbod zijn. Het aanbod is vrij goed bekend, doordat er gegevens zijn over de infrastructuur en de toestand daarvan. Om achter de vraag te komen moet je allereerst weten hoeveel verkeer zich op de weg bevindt (dit kan door het meten van intensiteiten), en idealiter ook proberen te achterhalen wat de latente vraag is. Om vervolgens te bepalen hoe verkeersmanagementmaatregelen het beste ingezet kunnen worden, is het wenselijk te weten waar de ruimte in het netwerk zit en waar eventuele problemen zijn. Hiervoor zijn aanvullende metingen nodig.

In deze paragraaf wordt een aantal voor verkeersmanagement belangrijke verkeerskundige grootheden beschreven. Mogelijke bronnen om deze grootheden te meten worden ook genoemd; deze worden verder uitgewerkt in de volgende paragraaf.

Intensiteit

Het aantal voertuigen dat gedurende een bepaalde periode een bepaald punt passeert, gerekend in één rijrichting. Intensiteiten kunnen direct uit databronnen zoals inductielussen en camera's gehaald worden. Het schatten van intensiteiten met voertuiggebonden data is (nog) lastig, door de lage penetratiegraad van in-car systemen.

Snelheid

Er zijn verschillende manieren om snelheid uit te drukken. De puntsnelheid is de snelheid van voertuigen die gemeten wordt op een wegdoorsnede. Puntsnelheden worden vaak door wegkant-systemen gemeten. Uit puntsnelheden worden vaak minuutgemiddeldes afgeleid (gemiddelde snelheid van alle voertuigen die in een minuut passeerden), want voor de analyse van bijvoorbeeld de doorstroming op een bepaalde locatie is het vaak niet nodig om de snelheid van individuele voertuigen te weten. De gemiddelde snelheid van individuele voertuigen op een traject kan bepaald worden door de afgelegde afstand te delen door de duur van de rit tussen twee meetlocaties. Dit kan gemeten worden met behulp van bluetoothsystemen en kentekenherkenningscamera's, of met behulp van voertuiggebonden data (die gekoppeld wordt aan een wegenkaart).

Reistijd

De reistijd is de tijd die nodig is om van een herkomst naar een bestemming te komen. Dit kan gemeten worden door het volgen van individuele voertuigen. Met voertuig- of persoonsgebonden systemen (navigatie, telefoon, etc.) kan de reistijd van individuen bepaald worden. Ook bluetoothsystemen en kentekenherkenningscamera's kunnen tussen twee locaties de reistijd van individuele voertuigen meten, en schattingen kunnen gemaakt worden op basis van lusdata.

HB-matrices en routes

Een Herkomst/Bestemmingsmatrix (HB-matrix) is een tabel met de verplaatsingen tussen de verschillende herkomsten en bestemmingen in een netwerk. In deze tabel staan aantallen voor een bepaald tijdsvenster (hoeveel verplaatsingen zijn er tussen een bepaalde herkomst en bestemming tussen bijvoorbeeld 9:00 en 9:15). Routes geven aan hóe individuen van een bepaalde herkomst naar een bepaalde bestemming reizen. Het direct meten van herkomsten, bestemmingen en routes kan met voertuig- of persoonsgebonden systemen (navigatie, telefoon, etc.), maar voor lang niet iedereen in het netwerk zijn deze gegevens beschikbaar en bij het gebruik van zulke gegevens moet de privacy gewaarborgd worden.

Voertuigcategorie

Sommige inwinsystemen kunnen onderscheid maken tussen verschillende voertuigcategorieën. Een veel gebruikt onderscheid is tussen personenauto's en vrachtwagens. Met kentekenherkenningscamera's kunnen vrachtwagens van het overige verkeer onderscheiden worden op basis van het kenteken. Met lusdata kan ook onderscheid gemaakt worden tussen verschillende voertuigcategorieën (op basis van lengte). Het maken van onderscheid tussen verschillende voertuigcategorieën kan bijvoorbeeld interessant zijn bij het geven van routeadviezen (het kan wenselijk zijn om vrachtwagens over een bepaalde route te sturen) of het prioriteren bij verkeersregelingen.

2.2. Inwinsystemen

Er zijn verschillende inwinsystemen, en elk inwinstelsysteem heeft bepaalde eigenschappen. Grofweg zijn er twee belangrijke categorieën inwinsystemen: wegkantgebonden en voertuiggebonden (en/of persoonsgebonden) inwinsystemen. Wegkantgebonden inwinsystemen bestaan uit inwinsensoren (behorend tot de infrastructuur of mobiel) die gedurende een bepaalde meetperiode op een vaste plaats staan. Deze systemen worden voornamelijk gebruikt door wegbeheerders. Voertuig- en persoonsgebonden inwinsystemen zijn systemen die meereizen met de reiziger en/of het voertuig, zoals (ingebouwde) navigatiesystemen of smartphones. Data afkomstig uit deze systemen worden Floating Car Data (FCD) genoemd¹.

¹ Een betere term zou Floating vehicle data zijn of Floating device/person data, aangezien het ook data uit andere voertuigen dan de personenauto kan betreffen, of het meetsysteem door een persoon met zich mee kan worden gedragen (bij allerlei soorten vervoermiddelen). Omdat FCD als term veel gebruikt wordt zullen we dat woord in het vervolg echter gebruiken voor alle data die motorvoertuigen betreft. Als het echt over andere vervoermiddelen dan motorvoertuigen gaat, gebruiken we de term Floating device data.

Deze paragraaf beschrijft kort de verschillende inwinsystemen² en geeft aan het eind een samenvattende tabel.

Inductielussen

Inductielussen zijn lussen die in of onder het wegdek worden aangebracht en worden gebruikt voor het meten van doorgaand verkeer of verkeer op kruispunten (waarmee verkeersregelininstallaties van data worden voorzien). Door verstoring van het magnetisch veld van de lus worden voertuigpassages gemeten. Inductielussen worden uitgevoerd met enkele of dubbele lussen. Met enkele lussen kunnen intensiteiten gemeten worden en met dubbele lussen kunnen ook snelheden gemeten en eventueel voertuigcategorieën afgeleid worden.

Automatische voertuigherkenningsystemen

Kentekenherkenningscamera's en elektronische tolsystemen zijn voorbeelden van automatische voertuigherkenningsystemen. Kentekenherkenningscamera's registreren passerende kentekenplaten. Hiermee kunnen direct intensiteiten bepaald worden, en door middel van gedefinieerde trajecten kunnen reistijden en trajectnelheden bepaald worden. Met gedefinieerde trajecten is het ook mogelijk om herkomst-bestemmingspatronen inzichtelijk te maken.

Elektronische (tol)systemen identificeren ook de passerende voertuigen, soms door middel van kentekenherkenning, in andere gevallen door te communiceren met een transponder in het voertuig.

Radardetectoren

Een radardetector meet frequentieverschuivingen en het tijdsverschil tussen het zenden en het ontvangen van microgolven. De detector zendt golven uit en met de veranderde frequentie kan de aanwezigheid van voertuigen bepaald worden. Met radardetectoren kunnen intensiteiten, snelheden en de verkeerssamenstelling bepaald worden.

Pneumatische telslangen

Pneumatische telslangen zijn holle rubberen slangen die haaks op de weg aangebracht worden. Net als lussen worden deze in enkel of dubbele uitvoering geplaatst. Met telslangen worden, vaak voor tijdelijke metingen op het onderliggend wegennet, gegevens over intensiteiten, snelheden en voertuigcategorieën verzameld.

Laserstraling

Moderne lasersensoren kunnen twee- en driedimensionale beelden produceren van voertuigen waarmee voertuigen geïdentificeerd kunnen worden. Een voorbeeld van detectoren met laserstraling zijn infrarooddetectoren. Infrarooddetectoren detecteren de aanwezigheid van voertuigen door het uitzenden van een reflecterend signaal. Passieve detectoren meten alleen de aanwezigheid van voertuigen. Actieve infrarooddetectoren kunnen de intensiteit, snelheid en dichtheid meten van bewegende voertuigen op meerdere rijstroken.

² Voor meer informatie over inwinsystemen zie [Verhaeghe, 2007], <http://verkeer.wikia.com/wiki/Categorie:Inwinnen> en <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/01.cfm>.

Magneetdetectoren³

Magneetdetectoren kunnen de aanwezigheid van een metalen voorwerp detecteren door de verstoring van het magnetisch veld. De detectoren worden, net als bij inductielussen, geplaatst onder het wegdek en meten het aantal passerende voertuigen.

Inductielussen, automatische voertuigherkenningsystemen, radardetectoren, telslangen, infrarooddetectoren en magneetdetectoren zijn inwinsystemen waarbij mogelijk de weg afgesloten moet worden voor aanleg en onderhoud. Dit beïnvloedt de doorstroming en brengt extra kosten met zich mee. Bij de volgende systemen is afsluiting niet noodzakelijk.

Bluetoothsystemen

Bluetoothsystemen bestaan uit sensoren waarmee passages van voertuigen met een bluetoothsysteem aan boord (bijvoorbeeld een mobiele telefoon) waargenomen worden. Alle ingeschakelde bluetoothsystemen hebben een unieke identificatiecode (MAC adres) waarmee reistijden van individuele voertuigen tussen twee bluetoothdetectoren bepaald kunnen worden.

Remote sensing

Met remote sensing wordt de verkeerssituatie in kaart gebracht van grote hoogte, door middel van optische- (video) of radarmetingen. De meting kan plaats vinden vanuit satellieten, vliegtuigen, helikopters, drones of van hoge gebouwen. Met remote sensing en beeldverwerkingssoftware is het mogelijk om het individuele rijgedrag van automobilisten op een wegvak te monitoren en het verkeersbeeld op een wegvak inzichtelijk te maken.

Visuele verkeerstellingen

Voor tijdelijke monitoring worden visuele verkeerstellingen toegepast. Hiermee worden voertuigpassages voor de verschillende voertuigcategorieën geteld (en soms worden kentekens geregistreerd, waarmee de voertuigcategorie afgeleid kan worden).

Camera's

Voor verkeersmanagement wordt vaak met camera's het verkeer gemonitord. Meestal worden deze beelden ook automatisch geanalyseerd met beeldverwerkingssoftware, zoals Video Based Monitoring (VBM). De software checkt met algoritmes de variatie in tinten van de pixels. Uit de video-beelden kunnen intensiteiten, snelheden en voertuigcategorieën bepaald worden. Van deze techniek is bekend dat het relatief gevoelig is voor bijvoorbeeld schaduwen en weersomstandigheden.

Voertuiggebonden inwinsystemen

Bij de fabricatie van auto's worden vaak al systemen ingebouwd waarmee het voertuig gevolgd kan worden, bijvoorbeeld een ingebouwd satelliet gebaseerd navigatiesysteem. Systemen als Global Positioning System (GPS), GLONASS of Galileo (het bijna operationele EU-systeem) kunnen gebruikt worden voor tijdsreferentie en plaatsbepaling. In fleet management worden voertuigen uitgerust met een GPS-ontvanger of andere satelliet ontvangsystemen.

³ Bron: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/01.cfm>

Bepaalde ITS systemen in het voertuig kunnen ook als informatiebron dienen. eCall bijvoorbeeld verstuurt informatie vanuit het voertuig (naar bijvoorbeeld hulpdiensten) als het voertuig betrokken is bij een ongeval. Hazardous location warning verstuurt informatie over gevaarlijke situaties. Een andere vorm van voertuiggebonden inwinning is 'car-as-a-sensor'. Het voertuig meet bepaalde zaken (bijvoorbeeld de staat van de infrastructuur aan de hand van oneffenheden in de weg) en kan op die manier gevaarlijke situaties detecteren. Of er is een sensor bovenop het voertuig om bijvoorbeeld de luchtkwaliteit te meten. Steeds meer voertuigen worden uitgerust met communicatiesystemen en connected en coöperatieve functies. Met deze communicatiesystemen geven ze bijvoorbeeld CAM berichten (Cooperative Awareness Messages) door. CAM berichten zijn klein van omvang en worden gebruikt voor het uitzenden van geografische informatie naar andere voertuigen of de wegwant. Ze zijn onderdeel van de referentiearchitectuur gedefinieerd door ETSI (European Telecommunication Standards Institute).

Persoonsgebonden inwinsystemen

Naast de hierboven beschreven ingebouwde (navigatie)systemen zijn er ook veel losse navigatiesystemen in gebruik. Het verschil met een ingebouwd systeem is dat het navigatiesysteem niet voertuigafhankelijk is, en de meetdata uit het systeem ook gegenereerd kunnen worden als iemand loopt of fietst met zijn navigatiesysteem. Ook beschikken veel mobiele telefoons (en tablets) over plaatsbepaling op basis van satellieten (bijvoorbeeld GPS), die voor allerlei applicaties (waaronder navigatie) gebruikt kan worden. Een voorbeeld hiervan is WAZE⁴, een smartphone app die routeadvies geeft en informatie over files, afgesloten wegen en andere dingen die aan de hand zijn (bijvoorbeeld een stilstaand voertuig langs de weg). WAZE krijgt de informatie van weggebruikers die informatie willen delen.

De plaatsbepaling via telefoons kan ook door de netwerkoperator gedaan worden op basis van mobielelefoniemasten en wifipunten. De positiebepaling van voertuigen wordt gedaan aan de hand van de signaalsterkte tussen toestel en mast en/of de ID/naam van wifipunten (dit laatste als de telefoon toegang biedt tot het internet en de operator beschikking heeft over een database met gegevens over wifipunten).

Neerslag- en sneeuwradar

Neerslagradar en sneeuwradar kunnen gebruikt worden voor het detecteren van slecht weer.

Overige databronnen

Er is nog een aantal andere mogelijke databronnen. Deze bronnen worden hieronder zeer kort gemeld, omdat ze 1) niet gebruikt (kunnen) worden voor verkeersmanagement maar voor de volledigheid wel vermeld worden, en/of 2) eventueel gebruik ervan voor verkeersmanagement nog in de (verre) toekomst ligt. Het gaat veelal om 'externe' bronnen, d.w.z. niet wegwant-, voertuig- of persoonsgebonden. Deze onderstaande bronnen worden verder niet behandeld in de memo.

- Weigh-in-motion (WIM) systemen: deze systemen kunnen het gewicht van een voertuig meten
- Tyre pressure monitor: dit systeem kan ook het gewicht van een voertuig meten

⁴ <http://www.waze.com/nl/>

- Telefonie: met de beschikbare kanalen voor telefonie is waarschijnlijk in de toekomst nog meer mogelijk dan er nu mee gedaan wordt.
- RFID-achtige oplossingen en elektronische vrachtbrief: dit wordt gebruikt voor het routeren van gevaarlijke stoffen.
- Sociale media en social communities:
 - Twitter: Twitter zou wellicht gebruikt kunnen worden voor detectie van bijvoorbeeld incidenten en files.
 - Facebook: zie Twitter.

Overzicht inwinsystemen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste in deze paragraaf genoemde inwinsystemen en hun eigenschappen.

| Inwinsysteem | Type | Wordt al gebruikt voor VM? | Wat meet het? |
|--|------------------|----------------------------|--|
| Inductielussen | Wegkant | Ja | Intensiteiten, snelheden, evt. voertuigcategorieën |
| Automatische voertuigherkenningsystemen | Wegkant | Ja | Intensiteiten, reistijden, trajectsnelheden |
| Radardetectoren | Wegkant | Ja | Intensiteiten, snelheden, voertuigcategorieën |
| Telslangen | Wegkant | Nee | Intensiteiten, snelheden, voertuigcategorieën |
| Laserstraling | Wegkant | Ja | Intensiteiten, snelheden, dichtheden |
| Magneetdetectoren | Wegkant | Nee | Intensiteiten |
| Bluetoothsystemen | Wegkant | Ja | Reistijden |
| Remote sensing | Wegkant | Nee | Rijgedrag (zoals veranderen van rijstrook, inhalen), algemene verkeersbeeld |
| Visuele verkeerstellingen | Wegkant | Nee | Intensiteiten, voertuigcategorieën |
| Camera's | Wegkant | Ja | Intensiteiten, snelheden, voertuigcategorieën, rijgedrag, algemene verkeersbeeld |
| Ingebouwd navigatiesysteem (satelliet gebaseerd) | Voertuiggebonden | Nee | Herkomsten, bestemmingen, routes, reistijden, snelheden |

| Inwinsysteem | Type | Wordt al gebruikt voor VM? | Wat meet het? |
|--|------------------|-----------------------------------|--|
| ITS systemen (zoals eCall, hazardous location warning) | Voertuiggebonden | Nee | Informatie over het voertuig of over gevaarlijke situaties |
| Car-as-a-sensor | Voertuiggebonden | Nee | Informatie over de infrastructuur (gevaarlijke situaties) |
| Los navigatiesysteem (satelliet gebaseerd) | Persoonsgebonden | Nee | Herkomsten, bestemmingen, routes, reistijden, snelheden |
| Smartphone / tablet (met plaatsbepaling op basis van satelliet) | Persoonsgebonden | Nee | Herkomsten, bestemmingen, routes, reistijden, snelheden |
| Mobiele telefoon (met plaatsbepaling op basis van masten en/of wifipunten) | Persoonsgebonden | Nee | Herkomsten, bestemmingen, routes, reistijden, snelheden |

3. Van data naar informatie voor verkeersmanagement

Vanuit het vorige hoofdstuk is nu bekend wat voor data er nodig zijn voor verkeersmanagement en door welke systemen deze data worden ingewonnen. In dit hoofdstuk wordt nu de stap naar verkeersmanagement gezet. Allereerst beschrijven we hoe dit nu gebeurt in paragraaf 3.1. Vervolgens gaan we in paragraaf 3.2 in op alternatieven, aan de hand van de functies van verkeersmanagement.

3.1. Huidige manieren van inwinning van data voor VM

Inwinning m.b.v. wegkantsystemen

In Nederland houden verschillende instanties zich bezig met het meten van verkeer en er ligt een uitgebreid wegkant-inwinsysteem waarmee grote hoeveelheden verkeersdata gegenereerd worden. Voor het inwinnen van de gegevens kunnen de leveranciers uit verschillende inwintechnieken kiezen. Dit betreft voornamelijk data van lussen, camera's, bluetoothsystemen en passieve infrarood. Veel data worden centraal verzameld door de Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW). De NDW is opgericht in 2007 met als doel om verkeersgegevens in te winnen, te verwerken, op te slaan en te publiceren op landelijk niveau. Het rijk, provincies, gemeentes en stadsregio's leveren verkeersgegevens aan. Deze data worden vervolgens door de verkeerscentrale, wegbeheerders en marktpartijen gebruikt. De data van de inwinsystemen kunnen real-time bekeken worden via de NDW-viewer. Real-time data bestaat onder andere uit lusdata van het 'Motorway Traffic Management' (MTM) systeem. In de toekomst gaan VRI data ook beschikbaar komen via het NDW.

Inwinning m.b.v. persoons- en voertuiggebonden systemen

De informatie van persoons- en voertuiggebonden systemen wordt vaak ingewonnen door commerciële partijen. Met FCD worden steeds meer reizen gemonitord. FCD generen veel nuttige informatie en zullen naar verwachting een grotere rol hebben in monitoring in de toekomst [Connekt, 2013]. Dit past ook bij de wens het arsenaal aan wegkantsystemen te versoberen.

Het is een uitdaging om FCD bruikbaar te maken voor monitoring ten behoeve van verkeersmanagement. Op dit moment worden FCD voornamelijk beschikbaar gesteld als gemiddelde trajectreistijden. Hiermee is geen inzicht te krijgen in herkomst- en bestemmingsinformatie, waar misschien wel interesse voor is. Als ruwe data wel beschikbaar zijn, is vervolgens de uitdaging om algoritmes te ontwikkelen om tot betrouwbaar inzicht te komen in de verkeerssituatie (bijvoorbeeld de detectie van een incident). Door de huidige lage penetratiegraad is het soms lastig om de situatie op een specifieke locatie te bepalen.

Voor verkeersmanagement zijn actuele data nodig die toegankelijk zijn voor de wegbeheerders, omdat zij de maatregelen inzetten. FCD zijn vaak nog niet direct beschikbaar voor verkeersmanagement, omdat ze niet in de NDW opgenomen zijn. Daarnaast zijn deze data niet vrij toegankelijk (of alleen tegen betaling). Hier gaat wel verandering in komen: de NDW heeft een start ge-

maakt met de levering van FCD⁵. NDW heeft een aanbestedingstraject doorlopen voor de inkoop van FCD en de opdracht is gegund aan Be-Mobile. De levering betreft snelheidsgegevens, geaggregeerd op minuutniveau, waarbij op zo klein mogelijke wegsegmenten inzicht wordt geboden in de verkeerssituatie op alle rijkswegen, provinciale wegen en grotere gemeentelijke ontsluitingswegen. Hiermee ontvangt NDW zeer gedetailleerde actuele informatie, naast de gegevens die al worden verkregen via wegkantsystemen. De eerste levering betreft de gegevens van de provincie Zuid-Holland. Gezien de landelijke scope van NDW, is een uitbreiding naar gegevenslevering voor heel Nederland gewenst. De gegevens worden vooralsnog alleen beschikbaar gesteld voor (werkzaamheden in opdracht van) overheden en zullen daardoor niet als Open Data worden verspreid. Ook op dit punt lopen consultaties tussen overheden en marktpartijen om de impact van verspreiding als Open Data te bepalen. Begin 2017 zal hierover duidelijkheid ontstaan.

Er is een aantal overwegingen bij het gebruik van voertuig- en persoonsgebonden systemen. Bij het gebruik van telefoons voor plaatsbepaling is er altijd een afweging nodig tussen het batterijgebruik en de tijdnaauwkeurigheid. Locatiebepaling kost namelijk relatief veel batterijgebruik. Als besloten wordt om iedere minuut of vaker te meten, zal de batterij snel leeg zijn, terwijl bij minder vaak meten er al gauw onvoldoende metingen zijn om de data te kunnen gebruiken voor verkeersmanagementdoeleinden.

Verder moet er rekening mee worden gehouden dat kwaliteit van de plaatsbepaling varieert per systeem. Satellietplaatsbepaling heeft een hoog batterijgebruik maar een relatief nauwkeurige plaatsbepaling, orde grootte 10 meter, zij het dat die onnauwkeurigheid toe kan nemen onder bepaalde omstandigheden, zoals tussen hoge gebouwen. Bij de plaatsbepaling op basis van mobiele telefoniemasten bepaalt de grootte van de cellen (variërend van een paar honderd meter binnen de bebouwde kom tot vele kilometers erbuiten) de nauwkeurigheid van de positiebepaling.

Voorbeeld: TomTom Traffic

TomTom gebruikt GPS en GSM gegevens om met historische en real-time data voorspellingen te doen over de verkeerssituatie. Met navigatiesystemen worden in-car verkeersdata (GPS coördinaten) gemeten. De GSM-data worden verzameld door het telecomnetwerk van Vodafone. De zenden en ontvangstmasten meten mobiele telefoons in de omgeving. Vervolgens dienen de data gefilterd te worden om te bepalen welke telefoons zich in voertuigen bevinden. Bijvoorbeeld: hoe is het verschil tussen GSM's in auto's of treinen te meten? Dit kan door te kijken naar signalen van GSM in de omgeving. Auto's hebben namelijk niet allemaal dezelfde snelheid, terwijl treinreizigers dit wel hebben. De data van de persoons- en voertuiggebonden systemen worden gefuseerd met NDW data en incidentdata. (http://www.tomtom.com/lib/doc/download/HDT_White_Paper.pdf)

Combineren van data uit wegkantsystemen en voertuigen

Het is mogelijk data uit wegkantsystemen en voertuigen te combineren. Hiermee kan informatie over intensiteiten bijvoorbeeld gekoppeld worden aan gedetailleerde informatie over rijgedrag, of aan informatie over herkomsten en bestemmingen.

⁵ http://www.ndw.nu/nieuws/bekijk/281/ndw_start_levering_van_floating_car_data/

3.2. Alternatieve data-inwinning i.r.t de functies van VM

Binnen verkeersmanagement wordt onderscheid gemaakt naar verschillende functies. De hoofdcategorieën zijn:

- Monitoren
- Informeren
- Waarschuwen
- Adviseren
- Sturen (doorgeven van ge- en verboden en regelsignalen)

Tabel 1 bevat een overzicht van alle voor dit onderwerp relevante functionaliteiten van verkeersmanagement, de huidige databronnen die gebruikt worden, meest voor de hand liggende alternatieve databronnen, en belangrijkste verkeerskundige grootheden die nodig zijn voor deze functionaliteit. Met de 'voor dit onderwerp relevante' functionaliteiten worden bedoeld de dynamische functies, dus geen statische functies als bewegwijzering en inhaalverboden. De functies kunnen op alle soort wegen betrekking hebben, in heel Nederland, maar in de praktijk betreft het vooral het HWN (goed gemonitorde wegen).

Met groen is in de tabel aangegeven welke functies het meest kansrijk zijn om uit te voeren met behulp van alternatieve databronnen, omdat dat bijvoorbeeld beter (nauwkeuriger) of goedkoper is dan met de huidige databronnen. Hierbij zijn de volgende zaken in overweging genomen:

- Voor de functies die onder Monitoren vallen geldt dat FCD of andere alternatieve databronnen een goede aanvulling kunnen zijn op bestaande databronnen. Het gaat hier echter niet om echte verkeersmanagementmaatregelen die de weggebruiker bereiken, vandaar dat deze functies niet in onze selectie zijn opgenomen.
- Niet alle alternatieve bronnen zijn even goed toegankelijk. Bijvoorbeeld car-as-a-sensor is een veelbelovende alternatieve bron als het gaat om bijvoorbeeld metingen aan de omgeving (weer) en infrastructuur. Echter, het daadwerkelijk ontsluiten van deze informatie en beschikbaar maken voor verkeersmanagement gebeurt nu nog niet.
- Functies waarbij een hoge penetratiegraad een vereiste is, zijn nog niet geschikt om met alternatieve databronnen zoals FCD te doen.
- Functies die gebruik maken van de verkeerskundige grootheden snelheden en reistijden zijn over het algemeen het meest geschikt voor alternatieve databronnen; functies die intensiteiten nodig hebben minder.

Tabel 1: Overzicht verkeerskundige functionaliteiten en koppeling met databronnen

| Functionaliteit | Huidige databronnen | Meest voor de hand liggende alternatieve databronnen | Verkeerskundige grootheden |
|---|---|--|--|
| Monitoren | | | |
| Detecteren gevaarlijke situaties (slecht wegdek, gladheid, mist) | Schouwen, gladheidsmeldsysteem, KNMI | Car-as-a-sensor, neerslagradar, sneeuwradar, camera's? | - |
| Detecteren gewicht vrachtwagen | WIM | WIM, tyre pressure monitor (bij bedrijven) | - |
| Detecteren hoogtemelding | Fysiek meetsysteem bij tunnel | | - |
| Detecteren verstoring (incl. stilstand detectie) | Lussen, camera, wegininspecteur | FCD, eCall, social media & communities, drones, hazardous location warning | Snelheid |
| Monitoren verkeer | Lussen, radar, camera | FCD, social media & communities, drones | Intensiteit, snelheid, reistijd |
| Schouwen spitsstrook | Camera, wegininspecteur | Nog niet (penetratiegraad zou 100% moeten zijn) | - |
| Informereren en waarschuwen | | | |
| Filestaartbeveiliging algemeen | Lussen | FCD, video based monitoring, drones | Snelheid |
| Informereren over alternatieve routes | Lussen | FCD | Reistijd |
| Informereren over netwerktoestand (files, vertragingen, blokkades, incidenten, restduur en restcapaciteit, WIU, maximum snelheid, open brug, actieve maatregelen, context informatie) | Lussen, reistijdcamera's, schouwen (weggebruikers bellen) | FCD, social media & communities, drones | Snelheid, reistijd, intensiteit (restcapaciteit) |
| Informereren over parkeren en P+R | Bezettingsgraadsensoren parkeerlocaties | - | - |
| Informereren over reistijden | Lussen, reistijdcamera's | FCD | Reistijd |
| Vrachtwagenverkeer informeren (parkeerplaatsen, slots) | Bezettingsgraadsensoren parkeerlocaties (heel beperkt) | - | - |
| Waarschuwen voor bumperkleven | Schouwen | - (niet beschikbaar voor wegbeheerder) | - |
| Waarschuwen voor gevaarlijke situatie (bijv. wind, mist, gladheid, krappe bocht, spoorvorming, slecht wegdek, spookrijder) | Schouwen, gladheidsmeldsysteem, KNMI, meldingen van weggebruikers | Car-as-a-sensor, social media & communities, neerslagradar, sneeuwradar, camera's? | - |
| Waarschuwen voor naderen van kruispunt (groene golf, groene golf vrachtwagen, adviessnelheid) | Lussen | FCD | - |
| Waarschuwen voor verstoringen (bijv. open brug, incident, stilstaand voertuig, afgevalen landing, bermbrand, WIU) | Schouwen, meldingen weggebruikers, aanmelding/planning | Social media & communities | - |
| Adviseren | | | |
| Verminderen verkeersvraag (weer, spitsmijden, luchtkwaliteit, andere info) | Camera's | Device in voertuig | - |
| Adviseren van alternatieve route | Lussen, reistijdcamera's | FCD (nog niet voor restcapaciteit) | Reistijd |

| Functionaliteit | Huidige databronnen | Meest voor de hand liggende alternatieve databronnen | Verkeerskundige grootheden |
|--|--|---|----------------------------|
| Sturen | | | |
| Filestaartbeveiliging met verlaagde snelheidslimiet | Lussen | FCD | Snelheid |
| Flexibele rijbaanindeling | Lussen | FCD? | - |
| Homogeniseren (o.a. filegolf dempen en snelheidsdeken) | Lussen | FCD | Snelheid |
| Rijstrook open/dicht | Schouwen, planningen/meldingen | Drones (nieuwe manier van schouwen/camera's gebruiken) | - |
| Snelheidslimiet (variabel) | Planning, weerwaarschuwingen, meldingen (staat wegdek), lussen | Car-as-a-sensor, sensor bovenop voertuig (bijv. luchtkwaliteit) | Snelheid |
| Stoppen van verkeer | Melding | - | - |
| Tijdelijke capaciteitsuitbreiding (spits- of plusstrook, wisselstrook) | Lussen, camera's | - | - |
| Verkeer bufferen | Lussen | FCD | Intensiteit, snelheid |
| Verkeer doseren | Lussen | FCD | Intensiteit, snelheid |
| Verkeer beter laten stromen | Lussen | FCD, social media & communities, drones | Intensiteit, snelheid |
| Verkorten duur verstoring | Melding | Social media & communities | - |
| Voorschrijven van alternatieve route | Lussen, reistijdcamera's | FCD (nog niet voor restcapaciteit) | Reistijd |

Uiteindelijk zijn er tien functies aangemerkt als kansrijk om met alternatieve databronnen uit te voeren. De kansrijke functies zijn als volgt samen te vatten:

- Filestaartbeveiliging (informerend, sturen door middel van verlaagde snelheidslimiet)
- Alternatieve routes en reistijden (informerend, adviseren, sturen)
- Verkeer homogeniseren, o.a. filegolf dempen en snelheidsdeken d.m.v. signalering (sturen)
- Verkeer bufferen, doseren en beter laten stromen d.m.v. VRI, TDI (sturen)

Wat deze functies gemeenschappelijk hebben is dat ze snelheden en reistijden nodig hebben, en dat FCD een belangrijke alternatieve databron is. Deze voor onze selectie interessante functies en het mogelijk gebruik van alternatieve databronnen ervoor worden verder uitgewerkt in de rest van deze memo.

4. Onderzoekresultaten

In het vorige hoofdstuk zijn de volgende type maatregelen geselecteerd voor het vervolg van deze memo:

- Filestaartbeveiliging (informereren, sturen door middel van verlaagde snelheidslimiet);
- Alternatieve routes en reistijden (informereren, adviseren, sturen);
- Verkeer homogeniseren, o.a. filegolf dempen en snelheidsdeken d.m.v. signalering (sturen);
- Verkeer bufferen, doseren en beter laten stromen d.m.v. VRI, TDI (sturen).

In dit hoofdstuk beschrijven we een verkenning van onderzoekresultaten en literatuur op dit gebied. De alternatieve databronnen waar we het dan voor het overgrote deel over hebben zijn FCD. Andere alternatieve databronnen worden voor verkeersmanagementmaatregelen nog nauwelijks onderzocht, laat staan dat ze gebruikt kunnen worden voor verkeersmanagement. Daarom volgt in dit hoofdstuk eerst een paragraaf (4.1) over FCD in het algemeen, waarin meer informatie wordt gegeven over wat er met FCD kan. Vervolgens wordt ingegaan op de verschillende functies. Over het gebruik van FCD voor filestaartbeveiliging is een aantal recente onderzoekresultaten beschikbaar in Nederland (paragraaf 4.2). Een kort overzicht van onderzoek op het gebied van reistijden en alternatieve routes op basis van FCD is te vinden in paragraaf 4.3. Onderzoek op het gebied van gebruik van FCD voor homogenisering van het verkeer staat beschreven in paragraaf 4.4. Paragraaf 4.5 bevat tenslotte informatie over onderzoek naar het aansturen van VRI's en TDI's op basis van FCD, en in paragraaf 4.6 is overig mogelijk interessant onderzoek te vinden.

4.1. Floating Car Data in het algemeen

Na mapmatching (koppeling van de data aan een wegenkaart) is het mogelijk om met FCD routes en herkomst-bestemmingspatronen inzichtelijk te maken, en individuele reistijden en snelheden te schatten. Bij een lage meetfrequentie is het lastig om voor specifieke routes of wegvakken op deze manier de snelheden te meten; bij hoge meetfrequenties kan de snelheid redelijk nauwkeurig bepaald worden (dit gaat echter al snel gepaard met een hoog batterijverbruik). Met FCD is het mogelijk om een schatting van intensiteiten te maken, maar de kwaliteit hiervan is nog niet zo hoog. Een heel groot voordeel van FCD is, is dat het overal 'werkt', en je niet afhankelijk bent van waar de geschikte infrastructuur en wegkantssystemen liggen.

Hierboven is genoemd dat mapmatching belangrijk is om FCD te kunnen gebruiken. Dat veronderstelt dat er een goede kaart beschikbaar is om de FCD op te matchen. Dat brengt ons bij een andere, vaak wat onderbelichte, toepassing van FCD, namelijk het genereren van netwerken. FCD wordt hierbij gebruikt om netwerken te genereren [Hamerslag & Taale, 2001] of bestaande netwerken te verbeteren [Tang, et al., 2012]. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om het toevoegen van links, het aanbrengen of juist weghalen van verbindingen en afslagbewegingen.

FCD zijn erg geschikt voor monitoring en ook, onder bepaalde voorwaarden, voor detectie van irregulariteiten zoals slecht weer en incidenten. Daar gaan we nu niet diep op in, omdat dit niet direct de aansturing van verkeersmanagementmaatregelen betreft. Het is echter wel een activiteit die vaak vooraf gaat aan actief verkeersmanagement. Voor de lezer die meer wil weten over het gebruik van alternatieve databronnen voor monitoring en detectie, is er volop literatuur te vinden. Bijvoorbeeld [Baiocchi et al., 2015] en [Zhang et al., 2011] over het monitoren van verkeer en het detecteren van incidenten met behulp van FCD, [Sunderrajan et al., 2016] over het gebruik van FCD voor het in beeld krijgen van de toestand van het verkeer, [Ruiz Lorbacher et al., 2015] over het monitoren van verkeer en informeren van weggebruikers op basis van FCD. In bovenstaand onderzoek wordt geen link gelegd met operationeel verkeersmanagement. In Nederland verloopt detectie van irregulariteiten nu overigens al meestal erg snel, op basis van lusedetectie, bellende mensen, camera's, weggebruikers die informatie doorgeven, etc. Ook sociale media worden al als bron gebruikt. Zie bijvoorbeeld [Gu et al., 2016] over het detecteren van incidenten met behulp van sociale media.

In de NDW datafusiepijl [DITCM, 2014] is aan de hand van een aantal scenario's onderzocht wat de mogelijkheden zijn van FCD als er minder lussen zijn. De pilot liet zien dat FCD en datafusie goed ingezet kunnen worden voor het genereren van gegevens over snelheden. De inzet voor het bepalen van intensiteiten is lastiger en hiervoor zijn nog vaste meetlocaties nodig, zij het mogelijk (veel) minder dan in de huidige situatie. Patronen zoals filegolven bij incidenten lijken doorgaans goed in beeld gebracht te worden.

TNO heeft in 2015 in opdracht van Google de bruikbaarheid, dekking en mogelijke kostenbesparing van de verkeersstatistieken van Google voor verkeersmanagement onderzocht⁶. In dit onderzoek werkte TNO met geanonimiseerde, geaggregeerde historische verkeersstatistieken van Google. Deze statistieken - zoals snelheden en intensiteiten - vergeleek TNO met de metingen van 3.000 verkeerssensoren in het wegennet in Nederland zoals bij de ring A10 bij Amsterdam. De statistieken die Google beschikbaar stelde van gemiddelde snelheden hadden een afwijking van slechts 5 tot 10% ten opzichte van de via traditionele sensoren gemeten snelheid. Dat betekent een afwijking van maximaal 5 km per uur bij een gemiddelde snelheid van 50 km per uur. Deze gegevens zouden bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor het informeren van weggebruikers over de reistijden op verschillende routes.

4.2. Filestaartbeveiliging

Voor het gebruik van FCD voor filestaartbeveiliging (AID) zijn zowel theoretische als praktische studies uitgevoerd en gepland voor de toekomst. In 2015 is er een theoretische studie gedaan over het gebruik van FCD voor de AID door Be-Mobile (in opdracht van Rijkswaterstaat). Naast onderzoek naar de data en gebruik ervan voor AID, zijn ook onderzoeksvragen beantwoord op het gebied van samenwerking en nog te nemen stappen voor implementatie. De resultaten van het

⁶ <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2015/11/google-en-tno-onderzoeken-verkeersstatistieken-voor-verkeersmanagement/>

onderzoek zijn te vinden in [Be-Mobile, 2016]. Er is gekeken naar een datafusie aanpak (fusie tussen FCD en lusdata) met minuutdata, en een puur FCD aanpak met seconden data. De eerste aanpak had een te grote traagheid voor AID toepassingen. Belangrijkste conclusies waren dat het opzetten van real-time data ontsluiting vanuit Rijkswaterstaat omgeving naar een private partij technisch haalbaar is, het combineren van wegkant data met FCD data leidt tot nieuwe afgeleide data, en dat de potentiële winst van FCD groter is dan het verlies aan betrouwbaarheid door geen tellussen te gebruiken. Daarom is geconcludeerd dat er potentie is om FCD als data inwintechniek in te zetten voor AID. Dit waren veelbelovende resultaten, en daarom is in 2016 een pilot uitgevoerd van enkele weken met een 'virtuele' AID, waarbij Be-Mobile data de AID beeldstanden real-time genereerde op basis van FCD. Dit systeem draaide op de achtergrond en is vergeleken met de 'echte' AID (MTM beeldstanden). Deze pilot is geëvalueerd (ModelIT, 2017). De technische beschikbaarheid van het systeem tijdens de praktijkproef was 100% gedurende een periode van ruim drie maanden. Verschillende indicatoren die iets zeggen over de vergelijkbaarheid van FCD en MTM beeldstanden zijn berekend (bijvoorbeeld inschakelmomenten). De resultaten van de analyses geven geen direct uitsluitsel over de toepasbaarheid van FCD voor AID in heel Nederland. Daarvoor verschillen de uitkomsten te veel: tussen de trajecten, maar ook tussen de soorten files. FCD lijkt echter wel kansrijk, zeker ook gezien ontwikkelingen in de techniek en toenemende beschikbaarheid van FCD. Er zijn plannen voor een vervolg met meerdere leveranciers in een operationele setting, te houden begin 2018, waar de nodige beheersmaatregelen zullen worden toegepast om een veilige situatie te behouden voor de weggebruiker.

In [Klunder et al., 2013] zijn de resultaten te vinden van onderzoek naar het effect van afstand tussen lussen en de penetratie van FCD op filestaartwaarschuwingen. De belangrijkste resultaten zijn als volgt. Als de afstand tussen lussen kleiner dan 300 meter is, werkt de filestaartwaarschuwing goed (detectietijd kleiner dan 25 seconden en meetfout in de locatie kleiner dan 200 meter). Als er meer dan 300 meter tussen de lussen zit, gaat de prestatie van de filestaatwaarschuwing sterk achteruit. Bij afstand tussen lussen van 500 meter betekent de toevoeging van slechts 1% FCD een aanzienlijke verbetering van de prestatie. In vervolgonderzoek is onderzocht bij welke penetratiegraad van FCD AID vergelijkbaar of beter functioneert dan met meetlussen [Klunder, 2017]. Dit onderzoek beschouwt dus puur FCD, en niet in combinatie met lussen. De onderzoeksvraag bleek niet gemakkelijk te beantwoorden, omdat het antwoord afhangt van factoren zoals tijdstip op de dag en drukte. Conclusie is dat overdag 10% penetratie van FCD meer dan voldoende is voor een performance van de AID die gemiddeld minstens zo goed is als aansturing met meetlussen. 's Nachts waren er niet genoeg data beschikbaar om een statistisch betrouwbare conclusie te trekken, maar is de verwachting dat 10% penetratie niet voldoende is. Wat ook opgemerkt wordt naar aanleiding van het onderzoek, is dat het de vraag is of het goed is de AID op basis van meetlussen als referentie te nemen, of dat het beter is een bepaalde gewenste performance te specificeren (bijvoorbeeld detectie binnen 60 seconden met een maximale fout van 200 meter).

4.3. Alternatieve routes en reistijden

FCD zijn geschikt om reistijden te schatten en op basis daarvan routeadvies te geven. Echter, omdat met FCD intensiteiten niet goed geschat kunnen worden, is het bepalen van de restcapaciteit niet mogelijk. Als dus routeadviezen gegeven worden op basis van FCD, is het mogelijk dat er te veel verkeer over een alternatieve route wordt gestuurd, waardoor die volloopt en de reistijd toeneemt.

In opdracht van de provincie Zuid-Holland heeft NDW een pilot uitgevoerd, waarbij de reistijden van vier FCD leveranciers zijn onderzocht [Uenk-Telgen, 2016]. De provincie gebruik momenteel kentekencamera's en bluetooth-meetsystemen om reistijden in te winnen, maar de robuustheid hiervan is niet ideaal, bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden, en er is niet altijd voldoende verkeer. Gevolg hiervan is dat de provincie in de afgelopen jaren met enige regelmaat niet over reistijden beschikte. Een mogelijk alternatieve manier is het inwinnen van reistijden met behulp van FCD, en daar is in deze pilot meer onderzoek naar gedaan. In de pilot zijn de FCD reistijden vergeleken met de reistijden van NDW wegkantsystemen met als doel inzicht te krijgen in (1) de kwaliteit van de data, (2) de wijze waarop deze kwaliteit kan worden beoordeeld en (3) of de kwaliteit voldoende is voor het toepassen van deze reistijden op DRIPs. De NDW data zijn dus als 'ground truth' beschouwd, ook al is er in de analyse wel rekening mee gehouden met het feit dat de reistijden van de NDW wegkantsystemen niet de exacte waarheid zijn. De resultaten van de pilot toonden aan dat de kwaliteit van de vier onderzochte leveranciers voldoende is voor toepassingen op DRIPs. De provincie heeft daarom in het najaar van 2016 een uitvraag geformuleerd voor reistijden op basis van FCD. Be-Mobile heeft de aanbesteding gewonnen en gaat nu voor de provincie reistijden leveren. Eventueel gaat dit opgeschaald worden. Daarnaast heeft de pilot waardevolle inzichten opgeleverd voor het definiëren van kwaliteitscriteria van FCD, namelijk dat het verstandig is meerdere kwaliteitsmaten te hanteren. In het artikel zijn deze kwaliteitsmaten beschreven.

Er is in 2010 een pilot met bluetoothmetingen voor reistijden op korte trajecten gedaan in het Rotterdamse havengebied [Wijbenga et al., 2010]. Bluetoothsystemen zijn geschikt voor het bepalen van reistijden, ook op het onderliggend wegennet, en ze zijn makkelijk te installeren/realiseren. De resultaten gaven aan dat het bij hoge intensiteiten goed mogelijk lijkt om met bluetooth reistijden te meten. Wat uiteindelijk precies de kwaliteit is van de reistijden en hoeveel verkeer geregistreerd moet worden voor een betrouwbare reistijd is van meer factoren afhankelijk dan het aantal (opgemerkte) voertuigen, bijvoorbeeld de aanwezige infrastructuur op een traject (parkeerplaatsen, tankstations, etc.), het type weg, voertuigtypes, langzaam verkeer en absolute aantallen voertuigen. Bovenstaande opmerkingen gelden echter ook voor andere technieken dan bluetooth (zoals FCD). Wat betreft de penetratiegraad kon uit de pilot worden opgemaakt dat deze over een langere periode rond een constante waarde van 50% ligt. Wanneer de intensiteit hoog is, dan geldt die 50% ook voor relatief korte periodes (15 minuten). Het is belangrijk hierbij op te merken dat het om geregistreerde bluetoothapparaten gaat en niet om geregistreerde voertuigen. Voor een voldoende hoge penetratie zijn er voldoende mensen nodig die met bluetooth device langs meetpunten rijden (telefoons hebben vaak wel bluetooth, maar die moet wel aanstaan;

auto's hebben steeds vaker bluetooth). Bij grote volumes verkeer waren de uitkomsten dus wel goed, maar in afgelegen gebied waren er niet genoeg metingen. Deze laatste conclusie is in lijn met onderzoek dat een paar jaar later gedaan is in Zuid-Kennemerland [Uenk-Telgen et al., 2015] en ervaringen van het NDW. Een uitkomst van het onderzoek in Zuid-Kennemerland is namelijk dat bluetoothmetingen bruikbaar zijn voor stedelijk verkeersmanagement als rekening gehouden wordt met de lengte van het traject (deze dient niet te kort te zijn), het traject door voldoende verkeer wordt gebruikt, er geen logische alternatieve routes zijn tussen begin- en eindpunt, en er geen parallelle busbanen, spoorlijnen, fietspaden en aantrekkelijke tussenstops zijn. Bij het gebruik van de reistijden dient rekening te worden gehouden met: de filtering van de meting, variatie in reistijden op stedelijke netwerken, de positie van het traject, de nauwkeurigheid daarvan en de actualiteit van de meting.

In [Cohen & Christoforou, 2015] is onderzoek beschreven naar het vergelijken van reistijden verkregen uit verschillende bronnen in Lille (Frankrijk). Deze studie zoomt in op verschillende momenten van de dag, en verschillende voertuigtypes. Het artikel noemt in de 'background section' ook een hoop andere bronnen die reistijden afkomstig van FCD hebben bekeken, en vergeleken met bijvoorbeeld lusdata. Er wordt geen link gelegd met operationeel verkeersmanagement.

4.4. Homogeniseren van verkeer

Op de A58 tussen Eindhoven en Tilburg werd in 2016 een proef uitgevoerd om spookfiles te dempen door middel van een coöperatief voertuig-wegkantsysteem dat gepersonaliseerde snelheidsadviezen aan bestuurders geeft⁷. Hoofddoel van de proef is het testen van het opgeleverde coöperatieve systeem en de adviesverstrekking. Honderden geselecteerde proefpersonen hebben de diensten van twee consortia getest. De consortia hebben elk een eigen coöperatieve on-board unit en een eigen smartphone-app ontwikkeld. Ze verschillen daarmee in gebruikte apparatuur, algoritmes en presentatie, maar bieden dezelfde functionaliteit.

De coöperatieve spookfiledienst werkt als volgt. Op basis van verschillende databronnen (data van lussen en verkeerssystemen (zoals de stand van de matrixborden) worden gecombineerd met FCD) wordt een verkeersbeeld gegenereerd. De serviceprovider destilleert uit dit beeld de filegolven en zendt informatie via 3/4G en wifi-p: locatie van een filegolf, snelheid en lengte. De on-board unit pikt alle berichten uit de ether en filtert wat relevant is. De informatie over congestie gaat naar de smartphone-app, die – rekening houdend met de snelheid van het voertuig en de locatie ten opzichte van de file – een passend snelheidsadvies geeft. Doel is de voertuigen zo soepel mogelijk in de file te laten rijden, zodat bruusk remmen wordt voorkomen en de filegolf langzaamaan afneemt of zelfs oplost. Als de gebruiker in de 'kop' van een filegolf komt, krijgt hij ook een seintje: door tijdig harder te rijden dragen ze eveneens bij aan het oplossen van een filegolf.

⁷ http://www.spookfiles.nl/sites/www.spookfiles.nl/files/documenten/basisartikel_spookfiles.pdf

Alle berichten, adviezen en reacties (snelheidsaanpassingen) van de gebruikers worden geanonimiseerd gelogd. Zo kan in de evaluatie goed worden bepaald hoe de diensten werken, hoe nauwkeurig en 'tijdig' de adviezen zijn en hoe de weggebruikers reageren.

Doordat ook korte-afstandscommunicatie gebruikt wordt (wifi-p) kan de informatie snel verversd worden. Als alleen langeafstandscommunicatie beschikbaar is, wordt het verkeersbeeld elke 30 seconden verversd – en dat is erg traag voor de dynamiek van een filegolf. Met de korte-afstandscommunicatie binnen het coöperatieve systeem is echter een 'verversingsfrequentie' van een verkeersbeeld per seconde mogelijk.

Of de spookfiledienst al tijdens de proef tot een verbetering op de weg zal leiden, hangt af van het aantal coöperatieve gebruikers. Er zullen minimaal 60 gebruikers gelijktijdig op het A58-traject moeten rondrijden om een meetbaar effect te kunnen creëren. Het is de vraag of die aantallen gehaald zijn.

4.5. Aansturen VRI's en TDI's

Informatie over snelheden op basis van FCD kan gebruikt worden als input voor het aansturen van VRI's en TDI's, omdat je dan weet op welke momenten je verkeer bijvoorbeeld moet bufferen of doseren om zo een betere doorstroming te bereiken.

In [Klunder et al., 2016] staat onderzoek beschreven naar de gevolgen van onnauwkeurige data voor de inzet van TDI's. Dit gaat over wachtrijlengteschatting met FCD voor TDI's, waarbij de TDI zich aanpast op de wachtrijlengte. Er is gekeken naar de combinatie van lussen en FCD en naar alleen FCD. Uit de studie kwam naar voren dat een goede schatting van de wachtrijlengte mogelijk is vanaf 20% penetratie van FCD en 10% penetratie van FCD in combinatie met lussen. Dezelfde manier van wachtrijlengte schatten zou ook op VRI's kunnen worden toegepast.

In [Klunder et al., 2014] is onderzoek gedaan waarbij data van camera's en lussen zijn vergeleken met betrekking tot de inzet bij TDI's. Er is ook gekeken naar de gevolgen van onnauwkeurigheden in de data. Een van de conclusies is dat er geen standaard aanpak is voor het bepalen hoe nauwkeurig de data moeten zijn voor verkeersmanagementtoepassingen. Met behulp van een simulatiestudie zijn de effecten van onnauwkeurige lusdata op een TDI bepaald, en daarna zijn in een kosten-baten analyse voor een specifieke case de inzet van lusdata en cameradata vergeleken. Lusdata zijn nauwkeuriger maar ook duurder. Er is aangetoond dat hogere nauwkeurigheid van de data leidt tot een beter prestatie van de TDI, en in een hogere snelheid op het netwerk (betere doorstroming). Deze relatie is ook gekwantificeerd: de hogere nauwkeurigheid van lusdata leidt tot een 1,5 km/u hogere gemiddeld netwerksnelheid (in vergelijking met cameradata). Bij een gemiddelde 'value of time' voor verliezen van €11 leidt dit ertoe dat het binnen een jaar al efficiënter is om lusdata te gebruiken in plaats van camera's. Deze resultaten komen uit een casestudie en zijn daarom niet generaliseerbaar.

4.6. Overig onderzoek

Naast de in dit hoofdstuk al genoemde studies, zijn er andere onderzoeken of lopende projecten die de moeite van het vermelden waard zijn.

Telefonie – cellulaire data

Er loopt een proef met telefoniedata van Vodafone, in opdracht van Rijkswaterstaat. Dit is nog in het beginstadium (proof of concept), dat wil zeggen er wordt nu nagedacht over wat er met telefoniedata kan. Op basis van telefoons die aan staan en die communiceren met antennes kun je de locatie bepalen. Ten opzichte van FCD heeft telefonie een hogere penetratie (de telefoon hoeft alleen maar aan te staan, dus voor een specifieke provider kun je bijvoorbeeld zo 25-30% penetratie hebben – dit wordt ook interessant voor het schatten van intensiteiten), maar het is technisch lastiger, omdat de meetfout in locatiebepaling met zendmasten substantieel is en groter dan de meetfout met GPS. Er zijn partijen die zeggen oplossingen met cellulaire data op GPS niveau te hebben (Cellint en Mezuro).

UNIETD project

Het UNIETD (Understanding New and Improving Existing Traffic Data) project van CEDR (Conference of European Directors of Roads) – zie onder andere [Elias et al., 2016] – heeft als doel richting te geven aan het gebruik van data van derde partijen (zoals FCD, data van sociale media) in plaats van wegkantdata door nationale wegbeheerders. Dit komt voort uit het vraagstuk waar wegbeheerders nu mee te maken hebben of ze zelf data-inwinning blijven doen (met bijbehorende onderhoud van de infrastructuur) of dat ze dit (deels) uitbesteden. Er zijn geen standaard methodieken om de kwaliteit van externe verkeersdata te verifiëren, en daarom wil UNIETD hier sturing aan geven door onder andere in validatietools te voorzien. Een van de uitkomsten van het project is dat informatie over de kwaliteit van verschillende bronnen van verkeersdata zeer gelimiteerd is. Vanwege de diverse karakteristieken die data uit alternatieve databronnen hebben, wordt de toekomst voor verkeersmanagement vooral gezien in datafusie. Een nuttige deliverable van het project is D1 [Ogawa et al., 2014] die beschrijvingen en lijsten van bestaande databronnen bevat, en requirements voor verkeersmanagement.

Invloed van datakwaliteit op VM

Het is een gegeven dat er een verschil in kwaliteit is tussen verschillende databronnen. Dit hoeft echter niet erg te zijn voor verkeersmanagement, want niet elke toepassing heeft data van hetzelfde kwaliteitsniveau nodig. In [Tampère et al., 2011] staat een studie van de Katholieke Universiteit Leuven voor het NDW naar de invloed van datakwaliteit op verkeersmanagement beschreven. Het doel van deze studie was het inzichtelijk maken voor wegbeheerders wat de benodigde kwaliteit en kwantiteit is van de inwinning van gegevens voor VM toepassingen en hoe deze kwaliteit aansluit op de verschillende kwaliteitsniveaus van het NDW. De studie gaat dus puur over gebruik van NDW data, en beperkt zich tot de invloed van datakwaliteit op de kans op foutief inzetten van VM maatregelen (en niet op de impact daarvan). In grote lijnen is de conclusie uit deze studie dat voor slechts een beperkt aantal toepassingen niveau A (het hoogste kwaliteitsniveau) nodig lijkt te

zijn. Voor de meeste toepassingen lijkt niveau B (een lager kwaliteitsniveau) te volstaan. Dit komt enerzijds doordat de gebruikte algoritmes fouten in belangrijke mate filteren, maar ook mede doordat de onnauwkeurigheid van de huidige toestandschattingsalgoritmes (bijvoorbeeld geschatte reistijd) zonder meetfouten al vrij groot is. Het lijkt meer zin te hebben eerst in te zetten op meer geavanceerde algoritmes en niet primair op hoge datakwaliteit. De meerwaarde van niveau A kan mogelijk wel blijken zodra toestandschatters van betere kwaliteit ontwikkeld zijn. De conclusies zijn vrij algemeen (en gebaseerd op enkele specifieke case studies) en voor een concrete VM toepassing in een concrete context is extra onderzoek nodig. Ook is deze studie in 2011 uitgevoerd en hebben sinds die tijd veel relevante ontwikkelingen plaatsgevonden. Momenteel is Gerdien Klunder met een promotieonderzoek bezig dat gaat over ditzelfde onderwerp: de invloed van datakwaliteit op verkeersmanagement.

Toepassingsmogelijkheden FCD voor VM

In het kader van de PPA West is door MuConsult onderzoek uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van FCD voor verkeersmanagement [MuConsult, 2015]. Algemene conclusie van deze studie is dat FCD goede toepassingsmogelijkheden bieden voor verkeersmanagement in het algemeen en Gecoördineerd Netwerkbreed Verkeersmanagement (GNV) in het bijzonder. Echter, om FCD te kunnen toepassen dient een aantal onderzoeksvragen te worden beantwoord. Deze onderzoeksvragen betreffen de kwaliteit van de verschillende databronnen, de verschillende karakteristieken van wegkantdata en FCD, de bewerkingen die door de dataleveranciers worden uitgevoerd, het open karakter van data voor verkeersmanagement en de informatiebehoefte van de verkeersmanagement instrumenten. Geconcludeerd is bij de verdere beoordeling van de waarde van FCD een onderscheid kan worden gemaakt in een aantal archetypen, te weten:

- Reistijd- en routeinformatie (bijvoorbeeld op DRIPs);
- Monitoring voor verkeersmanagement (zoals kiemenspeurder en wachtrijschatter);
- Fractieschattingen en herkomst bestemmingsrelaties.

In dit stadium is de hypothese dat het huidige aanbod van FCD al geschikt is voor (gerealiseerde) reistijd- en routeinformatie maar nog niet geschikt is voor monitoring voor ('real time') verkeersmanagement. Voor fractieschattingen is offline gebruik (met historische data) wel denkbaar.

Gebruik van kennis over herkomsten, bestemmingen en routes

Een volgende stap is het onderzoeken van de mogelijkheden van FCD voor het verschaffen van informatie over herkomsten, bestemmingen en routes. Dit zou kunnen leiden tot betere schattingen van verplaatsingsgegevens, wat gebruikt kan worden voor betere reistijdvoorspellingen, en die weer voor betere regelscenario's. Of bijvoorbeeld voor informatie over waar gestrooid moet gaan worden in de winter, of waar onderhoud aan de weg nodig is. Als het gaat om investeringsbeslissingen, is men beter in staat om een accurate verkeersvraag in verkeersmodellen in te voeren. Verkeerscentrales zouden de informatie kunnen gebruiken bijvoorbeeld bij evenementen (nu gaat veel op basis van expert judgment en camera's). Hoe deze informatie gelijk voor real-time verkeersmanagement gebruikt kan worden is nog onduidelijk (er zijn nog geen standaard tools voor).

Schatten van intensiteiten m.b.v. FCD

Het schatten van intensiteiten kan door het combineren van gemapmatchte FCD data met lusdata. Op basis van beide databronnen worden dan factoren bepaald waarmee intensiteiten geschat kunnen worden. In feite is dit een soort lineaire opschaling met ophoogfactoren. Dit wordt nu vooral toegepast bij kruispunten, VRI's en TDI's.

5. Conclusies en doorkijk naar de toekomst

Op basis van de bevindingen in deze memo is een aantal conclusies te trekken over de situatie ten aanzien van alternatieve databronnen voor verkeersmanagement. Wanneer we het hebben over alternatieve databronnen, hebben we het vooral over FCD. Data afkomstig van andere bronnen spelen (nog) nauwelijks een rol in verkeersmanagement, al is er (in Nederland) wel een proef gepland met telefoniedata en zijn er partijen actief op dat vlak. FCD zijn geschikt voor het bepalen van reistijden en snelheden, maar – vanwege de penetratiegraad – nog niet voor intensiteiten (en dus ook niet voor restcapaciteiten); dan zijn aanvullende (wegkant)data nodig.

Er is veel onderzoek te vinden over het gebruik van FCD voor monitoring en over de kwaliteit van FCD, bijvoorbeeld vergelijkingen van reistijden/snelheden uit FCD met lusdata en het detecteren van congestie. Dit is in feite een tussenstap voordat je actief met verkeersmanagement (het informeren, adviseren en sturen van verkeersdeelnemers) bezig bent. De koppeling met operationeel verkeersmanagement is er dus vaak nog niet. In onderzoek wordt meestal gewerkt met historische data, en wordt nog geen aandacht besteed aan de real-time mogelijkheden. De enige uitzondering is het onderzoek naar en de pilot op het gebied van de AID functionaliteit van verkeerssignaling..

Wanneer we kijken naar de functies van verkeersmanagement zijn er diverse interessant om (deels) op basis van alternatieve databronnen uit te voeren: 1) filestaartbeveiliging, 2) alternatieve routes en reistijden, 3) verkeer homogeniseren en 4) verkeer bufferen, doseren en beter laten stromen. Voor sommige toepassingen (die waarvoor alleen reistijden en/of snelheden nodig zijn) is het mogelijk dat de lussen in de toekomst niet meer nodig zijn. De inzet van alternatieve databronnen voor operationeel verkeersmanagement is echter nog niet triviaal en er is nog veel onderzoek nodig in de komende jaren, vooral praktijkonderzoek zoals nu met de AID.

Als we kijken naar de toekomst zijn er (in elk geval) twee ontwikkelingen te zien. Er is een transitie naar meer monitoring met voertuiggebonden systemen, en er is – nu er steeds meer data beschikbaar komen – een verschuiving van de aandacht van puur inwinning naar verwerking. Deze ontwikkelingen worden in de onderstaande paragrafen uitgelegd.

5.1. Transitie naar monitoring met voertuiggebonden systemen

Meer FCD beschikbaar, relatief hoge kosten wegkantsystemen

Op dit moment zijn lussen voor de wegbeheerder nog het meest gebruikte middel om verkeer te monitoren, zowel in de stad (inductielussen bij verkeerslichten) als op provinciale wegen en autosnelwegen. Ontwikkelingen in de technologie zorgen echter voor een snelle verandering. Er wordt al veel gebruik gemaakt van GPS- en GSM-systemen die de positie (en eventueel snelheid) van voertuigen of reizigers meten. Op dit moment zijn de data die met deze systemen verzameld worden meestal niet vrij beschikbaar, en loopt de distributie via commerciële partijen. Wegbeheerders gebruiken deze data daardoor nu nog niet of nauwelijks voor verkeersmanagement en ver-

keersinformatie. De verwachting is dat daarin op korte termijn verandering komt. In de Routekaart Beter Geïnformeerd op Weg [Connekt, 2013] is één van de bouwstenen de veranderende rol van wegkantsystemen. De verwachting is dat er in de toekomst minder stand-alone systemen langs de kant van de weg zullen zijn, aangezien een deel van de functionaliteit van de wegkantsystemen overlap zal vertonen met die van voertuig- en persoonsgebonden systemen. Daarnaast wordt bekeken hoe de wegkantsystemen 'versoberd' kunnen worden, uit oogpunt van kostenbesparingen.

Voor deze transitie (en ook in de transitieperiode) is het belangrijk nauwkeurig te bekijken welke data nodig zijn voor monitoring van verkeer en verkeersmanagement en van welke kwaliteit. Dat kan een combinatie van verschillende databronnen die dezelfde weg afdekken zijn, maar het kan ook een keuze voor een bepaald systeem op een bepaalde weg betreffen. Verschillende toepassingen stellen verschillende eisen aan de data, en die eisen dienen meegenomen te worden bij de herinrichting van de monitorings- en verkeersmanagementsystemen. Zo is voor verkeersmanagement en verkeersinformatie vooral informatie nodig over drukke wegen, en is die informatie ook met minimale vertraging nodig. Een indicator als intensiteit, bruikbaar bij het bepalen van bijvoorbeeld restcapaciteit, is moeilijker te leveren op basis van FCD, en daar ligt een combinatie van gebruik van wegkantsensoren en FCD voor de hand. Voor rustigere wegen (waar men niet gauw lokale verkeersmanagementmaatregelen zal inzetten) volstaat wellicht het gebruik van historische gegevens over reistijden of snelheden (FCD dan wel wegkant)⁸. Het is dus zaak vast te stellen waar in het netwerk data van wegkantsensoren nodig zijn, en waar FCD alleen voldoende zijn om een beeld van de verkeerssituatie te krijgen. Bij de keuze voor bepaalde systemen spelen uiteraard ook de kosten van het gebruik van wegkantsystemen dan wel FCD een belangrijke rol.

Nederland heeft een uitgebreid bestaand netwerk van wegkantsystemen. De voordelen van wegkantsystemen (metingen van alle verkeer op een bepaalde locatie, zowel intensiteitsdata als snelheden/reistijden) kunnen gecombineerd worden met de voordelen van FCD (metingen overal op het netwerk, met een goede dekking op wegen met hoge intensiteiten, die interessant zijn voor verkeersmanagement en verkeersinformatie). De dichtheid aan wegkantsystemen kan daarbij afnemen. In landen waar weinig wegkantsystemen aanwezig zijn, maar de verkeerssituatie wel vraagt om verkeersmanagement en verkeersinformatie, zullen voertuiggebonden systemen een grote rol kunnen spelen. Toch zal ook daar, op strategische plekken in het wegennet, behoefte zijn aan data uit wegkantsensoren.

Eigendomsrecht

FCD zijn niet zonder meer voor iedereen beschikbaar. In de toekomst zullen er meer mogelijkheden komen de data van voertuiggebonden systemen online binnen te halen – technisch gezien is dat geen probleem. Wegbeheerders kunnen afspraken maken met de bedrijven die verkeersdata verzamelen om toegang te krijgen tot de data. Op dit moment zijn het vooral commerciële partijen die FCD leveren. Deze bedrijven zullen echter – uit bescherming van privacy van hun gebruikers en vanuit concurrentieoogpunt – deze informatie wellicht liever niet afstaan aan wegbeheerders. Aan

⁸ Er kunnen andere redenen zijn om toch intensiteitsgegevens te willen inwinnen, bijvoorbeeld luchtkwaliteit of geluidshinder.

de andere kant kunnen die data geanonimiseerd worden en zijn er bedrijven die juist hun geld verdienen met het leveren van dergelijke data.

Ook voor de reizigers zelf is privacy een issue: anders dan bij lusdata of zelfs cameradata, zullen veel weggebruikers de informatie uit hun apparaten als persoonsgebonden zien. Twee zaken liggen daaraan ten grondslag: (1) de informatie is traceerbaar tot een bepaald apparaat, en (2) er is niet alleen een passage te zien, maar de hele reis kan bekeken worden (inclusief herkomst en bestemming). Daardoor is het noodzakelijk deze informatie te anonimiseren, en mogelijk in stukken te knippen voordat het door de wegbeheerders of andere serviceproviders gebruikt kan worden. Om te voorkomen dat de herkomst en de bestemming teruggevonden kunnen worden, kiest bijvoorbeeld TomTom ervoor het eerste en laatste deel van de rit direct te verwijderen.

Via de NDW bieden veel wegbeheerders data die zijn ingewonnen via hun monitoringssystemen aan als open data, en naar verwachting zal dit alleen nog maar toenemen. Andere partijen kunnen dit uiteraard ook. Eén van de binnen Beter Geïnfomeerd op Weg benoemde 'routeprojecten' is het project 'De Digitale Wegbeheerder'. Dit project richt zich op het beproeven van een virtueel platform (genaamd de 'Digitale Wegbeheerder') dat marktpartijen, overheden en weggebruikers/consumenten elektronisch met elkaar verbindt. Op dit open platform kunnen informatie en diensten worden aangeboden en afgenomen. In Beter Benutten Vervolg vinden ook ontwikkelingen plaats op dit gebied. Er komt bijvoorbeeld een iVRI overnamepunt, waarin ruwe data van afzonderlijke iVRI's (intelligente VRI's) van een bepaald kwaliteitsniveau worden gebundeld en als open data beschikbaar worden gesteld.

5.2. De aandacht verschuift van inwinning naar verwerking

We krijgen de beschikking over steeds meer data. Maar wat gaan we met die data doen? Hoe kunnen we die data bewerken tot nuttige informatie, die verkeersmanagementmaatregelen ondersteunt? Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- Standaardisatie is nodig, zodat data eenduidig geïnterpreteerd worden door verschillende partijen.
- Databewerking en datafusie zijn nodig, om verschillende bronnen te interpreteren en te combineren; gezien de grote hoeveelheden data zijn big data aanpakken interessant om in te zetten.
- Bepaald dient te worden wat nuttige informatie is, in het kader van verkeersmanagement en verkeersinformatie:
 - voor offline monitoring (inzicht nodig in bijvoorbeeld gemiddelden en spreiding);
 - voor online gebruik (er is behoefte aan inzicht in de huidige situatie en aan kortetermijnvoorspellingen).
- Bepaald dient te worden hoe we de nuttige informatie overbrengen aan gebruikers (van wegbeheerders tot weggebruikers):
 - welke indicatoren zijn nuttig én begrijpelijk?
 - gezien de grote hoeveelheden data: welke visualisaties kunnen ondersteuning bieden?

Hieronder worden de aspecten standaardisatie en databewerking en datafusie verder toegelicht. Over de andere aspecten wordt in andere State-of-the-Art achtergronddocumenten informatie gegeven, bijvoorbeeld in het achtergronddocument 'Informerer' [Soekroella et al., 2014].

Standaardisatie

Veel verschillende partijen, waaronder diverse private partijen, winnen data in. Daarbij worden veel verschillende manieren van data opslaan, verwerken en doorgeven gehanteerd. Voor een bloeiende verkeersmanagement en -informatiemarkt is het van belang dat de data zonder veel moeite en/of misverstanden uitgewisseld kunnen worden. Het is ook noodzakelijk dat de gegevens op een standaard manier ingelezen worden voor de verdere verwerking. Daarom is een standaardisatie van de vorm van de gegevens gewenst – een aandachtspunt bij gebruik van bestaande databronnen, maar ook bij de introductie van nieuwe databronnen.

Standaardisatie vindt al wel plaats. Een reden hiervoor is dat fabrikanten van navigatie- en data-verzamelingsapparatuur hun apparatuur in verschillende landen willen verkopen. Ook gebruikers willen in staat zijn met deze apparatuur verkeersinformatie en omleidingsroutes in verschillende landen te ontvangen. Zo kunnen bij incidenten in de grensstreek de snelste omleidingsroutes door Duitsland of België lopen. Om dit soort informatie in goede banen te leiden, moet het systeem van informeren in landen wel interoperabel zijn. Verder zijn er Europese initiatieven zoals DATEX II, de Europese standaard voor het vastleggen en uitwisselen van verkeersgegevens.

Dataverwerking en datafusie

Voertuiggebonden systemen leveren over het algemeen veel data: van elk voertuig elk tijdsinterval een positie en mogelijk een snelheid. Die data moeten gefilterd worden (outliers moeten bijvoorbeeld verwijderd worden), en verwerkt tot een behapbare hoeveelheid informatie (aggregatie over voertuigen, plaats, en/of tijd).

Waar deze technieken nu ontwikkeld worden voor informatie van lussen (minuut-geaggregeerde data uit veel lussen is ook te veel om te presenteren), zullen deze technieken nog moeten worden uitgebreid en verfijnd om nog gedetailleerdere data aan te kunnen (qua verwerkingstijd en tijd benodigd om gegevens te versturen). Daarbij is niet alleen slimme combinatoriek van belang, maar ook de vraag waar welke informatie gecombineerd wordt zodat de rekentijd en verwerkingstijd beperkt blijven.

De beschikbare hoeveelheid data wordt ook steeds groter. Naast de data van wegkantssystemen en de FCD uit GPS/GSM kunnen ook data vanuit andere bronnen zoals Twitter of Facebook interessant zijn. Het fenomeen Big Data is een onderwerp waar onderzoekers op dit moment mee bezig zijn: hoe om te gaan met deze grote datastromen?

Tot nu toe is het gebruik dat alle data ingewonnen en opgeslagen worden, en daarna verwerkt worden tot informatie. Met een grotere hoeveelheid data die beschikbaar zijn, is het mogelijk dat een keuze gemaakt moet worden welke data tot nuttige informatie voor verkeersmanagement en verkeersinformatie leiden en welke data een lagere prioriteit hebben. Dan kan ook een volstrekt

andere aanpak gekozen worden, waarbij niet standaard alle data verstuurd worden, maar in plaats daarvan de datavoorziening vraaggestuurd wordt. In plaats van dat alle data binnenkomen, vraagt een partij, bijvoorbeeld de wegbeheerder, alleen die informatie op die voor hem van belang is. In een nog verdere toekomst kan zelfs gedacht worden dat voor elke weggebruiker een andere subset van de data van belang is, dus dat elke weggebruiker een andere dataset aanvraagt.

Naarmate het drukker wordt in een netwerk, neemt de behoefte aan een coördinerende laag toe, bijvoorbeeld om er voor te zorgen dat niet iedereen naar dezelfde alternatieve route wordt gestuurd. Indien hierover data beschikbaar zijn, kunnen daarbij ook reismotieven en doelgroepen onderscheiden worden.

Kijkend naar wetenschappelijke publicaties is er in de EU reeds veel werk verricht aan het combineren, fuseren en integreren van ruwe verkeersdata. Twee van de meest actieve onderzoeksgroepen zijn die van de Technische Universiteit van Kreta (de onderzoeksgroep van Markos Papageorgiou) en de Technische Universiteit Delft (de groep van Serge Hoogendoorn en Hans van Lint met DiTTLab⁹). In pilot studies (zoals de NDW datafusie-pilot) is het belang en succes van geavanceerde aanpakken aangetoond. Verdere verkeerskundige innovatie is nog wel nodig, zodat de verzamelde informatie verwerkt wordt tot zinvol inzicht in de verkeerssituatie. Uiteindelijk wordt het belangrijk om de sensortechniek, bewerken en distributie van data als één geheel te zien. Op dit moment zijn dit nog losse elementen die op elkaar aangesloten worden.

⁹ <http://dittlab.tudelft.nl/index.php/home>

Literatuur

Baiocchi, A., F. Cuomo, M. De Felice, G. Fusco (2015). *Vehicular Ad-Hoc Networks sampling protocols for traffic monitoring and incident detection in Intelligent Transportation Systems*. Transportation Research Part C 56 (2015) 177–194.

Be Mobile (2016). *Datafusie met floating car data voor Automatische Incident Detectie*. 2016.

Cohen, S., Z. Christoforou (2015). *Travel time estimation between loop detectors and FCD: A compatibility study on the Lille network, France*. Transportation Research Procedia 10 (2015) 245 – 255. 18th Euro Working Group on Transportation, EWGT 2015, 14-16 July 2015, Delft, The Netherlands.

Connekt (2013). *Beter geïnformeerd op weg, Routekaart 2013 – 2023*, Hoofddocument. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu - oktober 2013. Samenvatting beschikbaar @ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2013/11/04/beter-geinformeerd-op-weg-routekaart-2013-2023-samenvatting>

DITCM (2014). *Datafusie Pilot - Openbare resultaten*. Eindrapport R11448 door I. Wilmink, D. Vonk Noordegraaf, T. Thomas, V. Westerwoudt, M. Barten. Oktober 2014.

Elias, D., F. Nadler, I. Cornwell, S. Grant-Muller, T. Heinrich (2016). *UNIETD – assessment of third party data as information source for drivers and road operators*. Transportation Research Procedia 14 (2016) 2035 – 2043, 6th Transport Research Arena April 18-21, 2016.

Gu, Y., Z. Qian, F. Chen (2016). *From Twitter to detector: Real-time traffic incident detection using social media data*. Transportation Research Part C 67 (2016) 321–342.

Hamerslag, R. and H. Taale (2001). *Deriving Road Networks from Floating Car Data*, Selected Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, Seoul, July 2001.

Klunder, G. (2017). *Automatic Incident Detection using Floating Car Data instead of loop detectors – comparison based on measured traffic data*. TNO rapport R11688.

Klunder, G., H. Taale, S. Hoogendoorn (2013). *The Impact of Loop Detector Distance and Floating Car Data Penetration Rate on Queue Tail Warning*. 3rd International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transport Systems, Dresden, Germany, 2-4 December 2013. Beschikbaar @ <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:a4317789-b134-4126-9bd8-1c2db8b41073?collection=research>

Klunder, G., H. Taale, L. Kester, S. Hoogendoorn (2014). *The Effect of Inaccurate Traffic Data for Ramp Metering: Comparing Loop Detectors and Cameras Using Information Utility*. Proceedings of

the 19th World Congress, The International Federation of Automatic Control, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.

Klunder, G., H. Taale, L. Kester, S. Hoogendoorn (2016). *Improving the Performance of Ramp Metering using Queue Length Estimation and Data Fusion*. Submitted to Transactions on Intelligent Transportation Systems on 20 December 2016.

ModelIT (2017). *Evaluatie praktijkproef Filesignalering op basis van Floating Car Data*. 27 februari 2017.

MuConsult (2015). *PPA West: Toepassingsmogelijkheden Floating Car Data voor Verkeersmanagement*. Eindrapport MuConsult, Amersfoort, 9 november 2015. Projectnummer: RW032.

Ogawa, J., M. MacDonald, I. Cornwell, D. Elias, T. Heinrich, S. Grant-Muller (2014). *Review of traffic data for traffic management*, Deliverable No 1 of UNIETD: Understanding New and Improving Existing Traffic Data. June 2014.

Ruiz Lorbacher, M., Q. Le, N. Hien, A. Sohr, E. Brockfeld, A. Sauerländer-Biebl (2015). *Traffic information and traffic management based on Floating Car Data (FCD) and Floating Phone Data*. July 2015. Beschikbaar @ http://remon-hanoi.net/sites/default/files/styles/medium/public/paper_mot_anniversary_2015-07.03_remon.pdf

Soekroella, A., S.P. Hoogendoorn en J.W.H. van Lint (2014). *Informereren*. State-of-the-Art achtergronddocument, Delft, TrafficQuest, 13 mei 2014. Beschikbaar @ http://www.trafficquest.nl/images/stories/documents/State_of_the_Art/3.6_informereren_achtergrondrapport_v10.pdf

Sunderrajan, A., V. Viswanathan, W. Cai, A. Knoll (2016). *Traffic State Estimation Using Floating Car Data*. Procedia Computer Science, Volume 80, 2016, Pages 2008–2018, ICCS 2016. The International Conference on Computational Science.

Tampère, C., F. Corman, W. Himpe (2011). *Invloed van datakwaliteit op Dynamisch Verkeersmanagement*. Report Katholieke Universiteit Leuven. Oktober 2011.

Tang, L., F. Huang, X. Zhang and H. Xu (2012). *Road Network Change Detection Based on Floating Car Data*. Journal of Networks, Volume 7, No. 7, July 2012, pp. 1063-1070.

Uenk-Telgen, M.G. (2016). *Floating car data: geschikt voor toepassingen op DRIPS?* Nationaal verkeerskundecongres 2016.

Uenk-Telgen, M.G., B. van der Veen, G.M. op 't Hof (2015). *Bluetoothmetingen ingezet voor stedelijk verkeersmanagement in Zuid-Kennemerland*. Nationaal verkeerskundecongres 2015.

Verhaeghe, R.J. (2007). *Data, Modeling & Decision making*. Delft, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Collegedictaat CT4831, februari 2007.

Wijbenga, A., J. Bac, S. Boerma (2010). *Een nieuwe manier van verkeerswaarneming? Bluetooth*. Beschikbaar @ <http://www.verkeerskunde.nl/Uploads/2010/10/B50-Een-nieuwe-manier-van-verkeerswaarneming-Bluetoothx.pdf>

Zhang, Y., X. Zuo, L. Zhang, Z. Chen (2011). *Traffic Congestion Detection Based On GPS Floating-Car Data*. *Procedia Engineering* 15 (2011) 5541 – 5546. *Advanced in Control Engineering and Information Science*.