

**Behavioural and Societal
Sciences**

Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10

TNO-rapport**TNO 2016 R11283****Goederenvervoercorridor Oost –
het potentieel van ITS-maatregelen**

Datum	23 november 2016
Auteur(s)	Maaïke Snelder, Simeon Calvert, Robbert Janssen, Jaco van Meijeren, Aroen Soekroella, Reinier Sterkenburg
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	55 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie I&M
Projectnaam	Goederenvervoercorridor Oost - het potentieel van ITS-maatregelen
Projectnummer	060.21438

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 TNO

Samenvatting

In dit rapport is een verkenning gemaakt van de potentiële effecten van ITS-maatregelen op de doorstroming, veiligheid, milieu en logistiek op de goederencorridor Oost (A15 tussen Rotterdam en de Duitse grens). Het gaat om een quickscan. Dat wil zeggen dat geen uitgebreide simulaties zijn uitgevoerd, maar dat effecten uit de literatuur zijn opgeschaald voor de A15. Het onderzoek heeft inzichtelijk gemaakt op welke locaties files als gevolg van capaciteitsproblemen, incidenten en schokgolven voorkomen. Dit is van belang omdat verschillende soorten ITS-maatregelen op verschillende soorten files aangrijpen.

De afzonderlijke effecten van truck platooning, pelotonvorming voor personenauto's via CACC, schokgolfdemping en smart routing zijn met de ITS-quickscantool uitgewerkt. Hierbij is geen rekening gehouden met secundaire vraageffecten (toename in de vraag als gevolg van een verbeterde doorstroming). Daarnaast is een inschatting gemaakt van de potentie van incident management en hazardous location warning.

Op korte termijn van 3 tot 5 jaar zijn geen grote effecten van in-car systemen op de A15 te verwachten omdat deze systemen pas effectief worden bij hogere penetratiegraden. Wel is het mogelijk om op deze termijn via schokgolfdemping met wegkantsystemen voertuigverliesuren als gevolg van schokgolven te reduceren. Op het traject tussen Gorinchem en Papendrecht heeft dit naar verwachting het grootste effect. Op het oostelijk deel van de A15 kan IM+ worden geïmplementeerd. Tevens is het mogelijk om bij vertrek uit de Haven al een aantal veiligheidschecks te doen (bandenspanning, hoogte etc.) waardoor het aantal voertuigverliesuren als gevolg van incidenten kan afnemen.

Op langere termijn (bijvoorbeeld periode 10 tot 20 jaar) kunnen hogere penetratiegraden worden bereikt. Zeker schokgolfdemping en pelotonvorming van personenauto's via CACC kunnen dan het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer verder reduceren (met 10% tot 15%). Smart routing kan bij hogere penetratiegraden het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer op delen van de A15 naar verwachting met 5% tot 15% reduceren. Truck platooning kan de verkeersveiligheid en productiviteit verbeteren. Daarnaast kan brandstof worden bespaard en kunnen logistieke processen verbeteren. ITS-maatregelen gericht op het voorkomen van incidenten of het verkorten van de afhandelingsduur van incidenten de 'incident-voertuigverliesuren' voor het vrachtverkeer met een paar procent reduceren.

Om een grote impact te realiseren is een hoge penetratiegraad van de ITS-maatregelen nodig. Het is aan te bevelen om na te gaan wat het Ministerie van Infrastructuur en Milieu kan doen om sneller tot hogere penetratiegraden en dus tot grotere effecten te komen. Daarnaast is het aan te bevelen om in meer detail na te gaan wie en wat nodig is voor implementatie van de maatregelen.

Tot slot is een globale inventarisatie gemaakt van wat er nodig is qua methode en inspanning om de verkenning van potentiële effecten van ITS-maatregelen inclusief

truck platooning ook op de goederencorridor Zuid, het Duitse deel tussen de grens en Duisburg van de goederencorridor Oost en multimodaal uit te voeren.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
1.1 MIRT goederencorridor Oost.....	5
1.2 Vraagstelling	6
1.3 Aanpak.....	7
1.4 Afbakening	9
1.5 Leeswijzer.....	10
2 Stap 1: probleeminventarisatie – potentie van maatregelen.....	11
2.1 Percentage vrachtverkeer	11
2.2 Doorstroming A15 links richting Maasvlakte	11
2.3 Incidenten	15
2.4 Conclusies probleeminventarisatie	18
3 Stap 2: literatuurstudie potentiële effecten ITS & selectie van maatregelen ..	19
3.1 Overzicht ITS-maatregelen en effecten.....	19
3.2 Selectie van maatregelen	20
4 Stap 3: effect van maatregelen.....	21
4.1 Maatregel 1 Truck platooning	21
4.2 Maatregel 2 Pelotonvorming personenauto's.....	29
4.3 Maatregel 3 Schokgolfdemping	34
4.4 Maatregel 4 Smart routing	37
4.5 Potentie incident management en hazardous location warning.....	40
4.6 Conclusies effect maatregelen	41
5 Implementatie maatregelen	43
6 Stap 4: globale inventarisatie corridor Zuid, Duitsland en multimodaal	45
6.1 Goederenvervoercorridor Zuid	45
6.2 Goederenvervoercorridor Oost – Duitsland.....	45
6.3 Goederenvervoercorridor Oost - Multimodaal	45
7 Conclusies en aanbevelingen	49
Referenties.....	51
Bijlage A: Invloed van wegwerkzaamheden in 2015	53
Bijlage B: Langetermijnprognoses	54
Ondertekening	55

1 Inleiding

Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu zet in op leefbaarheid en bereikbaarheid, met een vlotte doorstroming in een goed ingerichte, schone en veilige omgeving. De opgave op het gebied van bereikbaarheid vraagt om meer dan alleen de aanleg van nieuwe weginfrastructuur. De ruimte is in Nederland beperkt en het benutten van de bestaande infrastructuur biedt perspectief. Momenteel worden negen brede verkenningen uitgevoerd voor het Meerjarenprogramma Infrastructuur Ruimte en Transport (MIRT). Deze verkenningen zijn gericht op de lange termijn (2030), maar tegelijkertijd wordt in de verkenningen ook met alle betrokken partners bekeken welke innovaties op relatief korte termijn gestimuleerd kunnen worden om de lange termijn ambities te bereiken. De toepassing van nieuwe technologie, Intelligente Transport Systemen (ITS), speelt een steeds belangrijkere rol bij het bereikbaar houden van ons land, nu en in de toekomst.

ITS is de verzamelnaam voor nieuwe technologieën en diensten die gebruik maken van ICT in transport. Onderscheid is mogelijk naar coöperatieve of connected ITS (C-ITS) waarbij voertuigen met elkaar en/of met de wegkant (bijvoorbeeld verkeerslichten) communiceren. Invoering van C-ITS draagt ook bij aan grootschalige invoering van automatisch rijdende voertuigen in Nederland. In deze laatste categorie is truck platooning één van de meest in het oog springende maatregelen. In het vervolg wordt het hele spectrum van connected, coöperatieve diensten tot en met de automatisch rijdende voertuigen en truck platooning aangeduid met ITS. Internationaal gezien wordt traditioneel verkeersmanagement ook geschaard onder ITS, maar in dit rapport wordt dit buiten beschouwing gelaten.

1.1 MIRT goederencorridor Oost

De MIRT goederencorridor Oost bestaat uit de A15 in Nederland en loopt door naar Duitsland (tot Duisburg). De A15 is van belang voor vervoer van en naar de Rotterdamse Haven. Figuur 1.1 toont een overzicht van de top 20 van trajecten met de meeste economische schade voor het vrachtverkeer in 2014. De A15 komt hier 2x in voor op positie 11 en 16 met twee aansluitende trajecten: knp. Ridderkerk – Papendrecht (N3) en Papendrecht – knp Gorinchem. Opgeteld leidt dit tot een plekje in de top 4. Bijlage A laat zien dat de werkzaamheden in 2015 deze knelpunten niet hebben opgelost. In de langetermijnprognoses voor 2030 en 2040 (zie Bijlage B) waar al rekening is gehouden met geplande investeringen en een algemene capaciteitsverhoging van 5% als gevolg van ITS komt het tweede traject in het lage en hoge scenario ook terug als knelpunt (zie bijlage B). De vraag is dus, welke maatregelen mogelijk zijn.

Binnen de MIRT goederencorridor Oost wordt onder andere het thema Smart Corridor uitgewerkt. Het primaire doel van een Smart Corridor is om een efficiënt, betrouwbaar, flexibel en duurzaam multimodaal transportsysteem te ondersteunen door toepassing van nieuwe technologieën gericht op het delen van data/informatie om maximaal te profiteren van afgestemde operaties tussen partijen en beschikbare capaciteit optimaal te benutten voor het goederenvervoer. Binnen dit thema is door TNO een inventarisatie gemaakt van relevante lopende trajecten en initiatieven waarbij specifiek is gekeken naar de volgende onderwerpen: ITS, multimodaal verkeersmanagement, data, benutting van de infrastructuur,

synchronodaal transport en initiatieven binnen de Topsector Logistiek. Eén van de conclusies is, dat voor de goederencorridor Oost, ITS-maatregelen potentie hebben om de bereikbaarheid te verbeteren, maar dat er geen lopende initiatieven zijn en er ook weinig bekend is over wat ITS-maatregelen op de corridor Oost concreet kunnen opleveren. Daarnaast blijkt dat daar waar ITS-maatregelen al wel worden overwogen – met name in de provincie Noord-Brabant in het programma Bereikbaarheid Zuid Nederland – er primair gekeken wordt naar de inrichting van dit meerjarige programma, en pas in een latere instantie naar de potentie van specifieke ITS-maatregelen voor het goederenvervoer. Ook is geconcludeerd dat truck platooning een interessante innovatieve maatregel voor het goederenvervoer is die momenteel veel aandacht krijgt. Voor truck platooning geldt eveneens dat de voordelen die het voor het goederenvervoer biedt nog niet duidelijk in kaart zijn gebracht.



Figuur 1.1: Top 20 van trajecten met meeste economische schade in 2014 (Bron: TLN, EVO, TNO)

1.2 Vraagstelling

Naar aanleiding van bovenstaande heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu aan TNO gevraagd een verkenning te maken van de potentiële effecten van ITS-maatregelen op de doorstroming, veiligheid, milieu en logistiek op de goederencorridor Oost (gehele A15 tussen Rotterdam en grens met Duitsland).

Vanuit het perspectief van de ladingbelanghebbende (met name de verlader) is het belang van corridormanagement duidelijk. De lading moet over de gehele corridor van herkomst tot bestemming van de goederen efficiënt, betrouwbaar, flexibel en duurzaam vervoerd worden.

In de praktijk is er bij het goederenvervoer echter sprake van dat veel zaken niet vanuit een corridorperspectief worden georganiseerd, maar vanuit nationaal, regionaal of lokaal perspectief waardoor issues en knelpunten ontstaan rond o.a. taalgebruik, regelgeving, equipment, technologie en standaarden. Daarnaast wordt

er nog veel unimodaal gewerkt waardoor afstemming en uitwisseling tussen verschillende modaliteiten moeilijk is.

Het doel van corridormanagement is om de lading centraal te stellen en de verschillende onderdelen van de keten dusdanig op elkaar af te stemmen zodat de goederen via het meest optimale alternatief over de corridor vervoerd kunnen worden.

In dit project wordt in eerste instantie gekeken naar de Goederencorridor Oost (A15 tussen Rotterdam en Duitse grens) om een start te maken met de verkenning van de impact van ITS maatregelen en het project niet in één keer te groot te maken. Vanuit het bredere perspectief van de MIRT goederencorridors wordt er voor de wat langere termijn aan gedacht om deze verkenning uit te breiden naar de Goederencorridor Zuid, het deel in Duitsland tot aan Duisburg en de modaliteiten spoor en binnenvaart mee te nemen. Uiteindelijk gaat het om het perspectief van de lading tussen Rotterdam en Duisburg. Corridormanagement is hierbij nodig om het beste alternatief in het multimodale netwerk te kunnen kiezen waarbij voldaan wordt aan de wensen van de klant en het netwerk optimaal wordt benut.

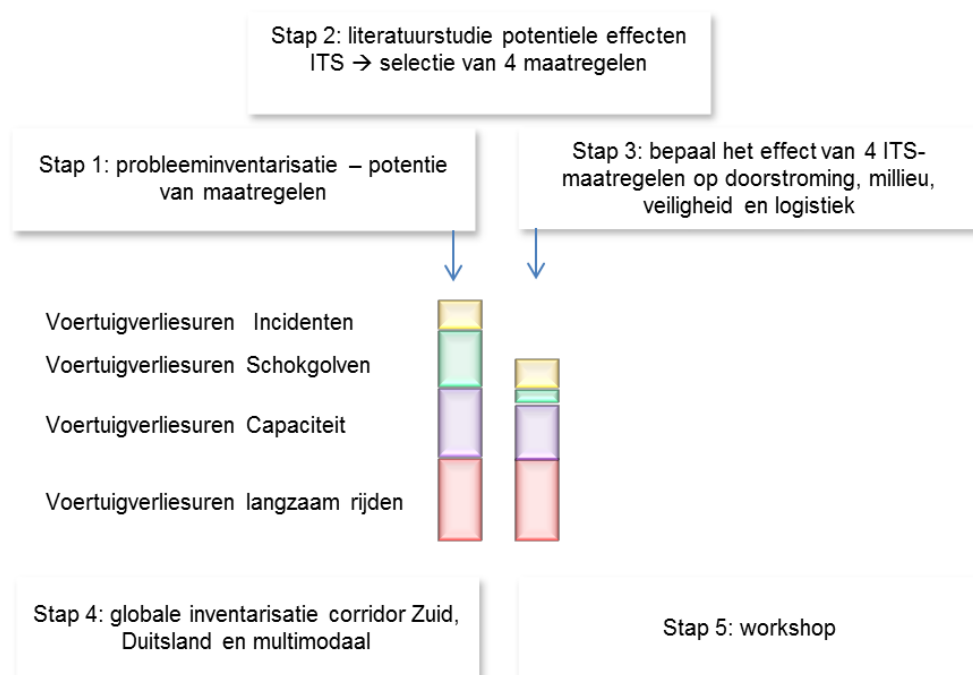
Naast de verkenning van de impact van ITS-maatregelen op de A15 wordt er daarom in dit project ook een globale inventarisatie gemaakt van wat er nodig is qua methode en inspanning om de verkenning van potentiële effecten van ITS-maatregelen inclusief truck platooning ook op de goederencorridor Zuid (A16/ A58/ A67), het Duitse deel tussen de grens en Duisburg van de goederencorridor Oost en multimodaal uit te voeren.

1.3 Aanpak

We hebben een aanpak gevolgd waarbij op basis van een data-analyse, een literatuurstudie en de ITS-quickscantool een inschatting is gemaakt van de potentie van ITS-maatregelen voor de A15. Figuur 1.2 geeft een overzicht van de aanpak.

In stap 1 is op basis van een uitgebreide data-analyse een probleeminventarisatie gemaakt. Voor de A15 is voor alle wegvakken bepaald hoeveel voertuigverliesuren (VVU) in 2015 optraden en wat de oorzaak daarvan was. Daarbij is tevens geanalyseerd hoeveel voertuigverliesuren het vrachtverkeer had. In de volgende stappen wordt bepaald hoeveel deze voertuigverliesuren met ITS-maatregelen kunnen worden gereduceerd. Het onderscheid naar oorzaak van files is nodig, omdat verschillende ITS-maatregelen op verschillende soorten files effect hebben.

In stap 2 is op basis van literatuuronderzoek eerst een longlist van ITS-maatregelen opgesteld. Voor deze longlist is aangegeven wat in de literatuur bekend is ten aanzien van effecten op doorstroming, emissies, veiligheid en logistiek en onder welke condities die effecten optreden. Dit laatste is nodig om een doorvertaling te kunnen maken naar de A15. Op basis van het literatuuronderzoek is een selectie gemaakt van 4 maatregelen. Truck platooning is één van de maatregelen. Daarnaast is een top 3 geselecteerd aan andere ITS-maatregelen die naar verwachting de grootste impact hebben op het vrachtverkeer.



Figuur 1.2: Overzicht aanpak

In stap 3 is de ITS-quickscantool ingezet om de effecten uit de literatuur door te vertalen naar de A15. Hierbij is onder andere bepaald in welke mate de voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer op de A15 zoals berekend in de eerste stap kunnen worden teruggedrongen. Dit rapport richt zich op voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer, omdat het MIRT-onderzoek zich op goederenvervoer richt. Het effect van ITS-maatregelen op voertuigverliesuren voor personenauto's is niet bepaald. Naast voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer zijn ook de overige effecten op emissies, veiligheid en logistiek waar mogelijk met de tool vertaald naar de A15. Waar dit niet mogelijk was, is een kwalitatieve analyse uitgevoerd.

Figuur 1.3 positioneert de quickscantool ten opzichte van andere methodes. Veelal worden vuistregels gebruikt om een indicatie te geven van de impact van ITS-maatregelen (bijvoorbeeld 3% voor alle maatregelen). Met behulp van expertinschattingen is meer differentiatie tussen maatregelen mogelijk. Simulatiestudies maken het mogelijk om in veel meer detail de effecten in te schatten. Er zijn dan ook heel veel simulatiestudies uitgevoerd voor verschillende ITS-maatregelen. Deze simulaties richten zich echter vaak op wegen zonder bottlenecks of specifieke situaties en het rijgedrag met en zonder ITS-maatregel is nog niet altijd realistisch. Recent is 'Simsmartmobility' gestart om een simulatietool voor Smart Mobility maatregelen te ontwikkelen zodat in de toekomst wel simulaties voor een hele corridor kunnen worden uitgevoerd. De quickscantool vormt een tussenweg waarbij op basis van simulatieresultaten voor andere wegen en expertinschattingen¹ een doorvertaling wordt gemaakt naar de A15 op basis van specifieke kenmerken van de A15 (infrastructuur en voertuigverliesuren naar oorzaak).

¹ Rekening houdend met genoemde tekortkomingen van simulatiemodellen



Figuur 1.3: Positionering quickscantool

In stap 4 is een verkenning uitgevoerd naar een methode om de potentiële effecten van ITS-maatregelen inclusief truck platooning ook op de goederencorridor Zuid, het Duitse deel tussen de grens en Duisburg van de goederencorridor Oost en multimodaal uit te voeren.

Stap 5 behelst een workshop om de concept-resultaten te delen en feedback te vragen van de stakeholders.

1.4 Afbakening

Momenteel worden ITS-maatregelen getest en toegepast in relatief kleinschalige pilots. Het is de verwachting dat deze maatregelen de komende jaren op steeds grotere schaal worden toegepast in Nederland. Deze opschaling is geografisch (meerdere locaties) en in termen van gebruikers (penetratiegraad; het aandeel met ITS uitgeruste weggebruikers). Het is vaak nog niet duidelijk in welk tempo deze maatregelen worden geïmplementeerd en ook de implementatiecurve (lineair in de tijd of exponentieel) is onbekend. In deze verkenningen analyseren we daarom meerdere penetratiegraden en maken we een expertinschatting van wat realistisch is in een periode van 3-5 jaar en 10 jaar voor truck platooning.

In deze studie wordt de probleemanalyse gebaseerd op de data van de afgelopen periode. Door de inzet van maatregelen (zoals het aanleggen van nieuwe wegen of het verbreden van bestaande wegen) en de ontwikkeling van de verkeersvraag zal de probleemanalyse er over 3-5 jaar weer anders uit zien. Aangezien het een verkenning betreft, wordt het effect van reeds geplande (of naar waarschijnlijkheid verwachte) maatregelen niet kwantitatief meegenomen (wel beperkt kwalitatief). Ook wordt in de probleemanalyse uitgegaan van de huidige infrastructuur zonder aanpassingen (bijvoorbeeld: er zijn nu geen doelgroepstroken voor vracht, dus deze worden ook niet meegenomen in de studie).

De verkenning wordt gebaseerd op de effecten die in de literatuur bekend zijn. Er worden dus geen nieuwe simulatiestudies gedaan. De doorvertaling van de effecten betreft een quickscan-analyse. Dit betekent inzicht in de ordegrrootte van effecten en de relatieve positie van effecten ten opzichte van elkaar.

Per ITS-maatregel moeten aannames worden gemaakt over de variant (hoe de dienst eruit ziet/ ontworpen wordt). Ook moeten er aannames gemaakt worden over de toepassing van de dienst (schaal waarop de dienst is ingevoerd). In deze studie wordt voor elke dienst 1 variant en 1 toepassingsschaal gekozen. Op basis daarvan worden de effecten vastgesteld.

In deze studie wordt het effect van individuele maatregelen bepaald. Deze effecten mogen niet worden opgeteld om tot een gecombineerd effect te komen.

1.5 Leeswijzer

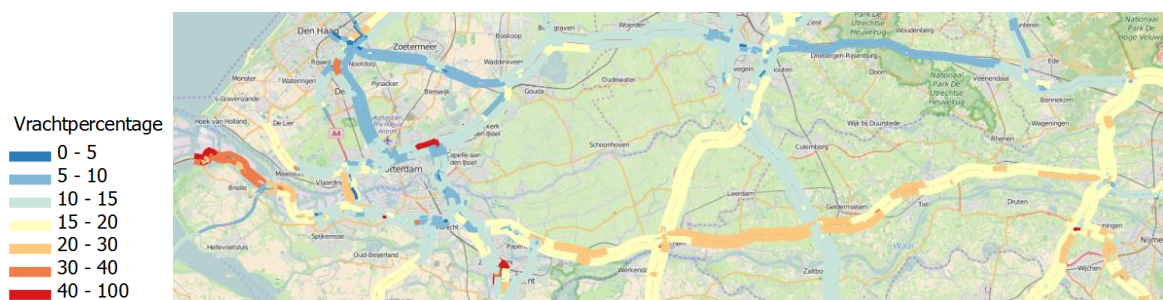
Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de probleeminventarisatie (stap 1). Hoofdstuk 3 gaat nader in op de selectie van maatregelen op basis van een literatuurstudie (stap 2). Hoofdstuk 4 gaat in op het effect van de geselecteerde maatregelen (stap 3). Hoofdstuk 5 gaat in op implementatiekeuzes en –kosten. In hoofdstuk 6 is aangegeven wat er nodig is om de potentiële effecten van ITS-maatregelen ook op de goederencorridor Zuid, het Duitse deel tussen de grens en Duisburg van de goederencorridor Oost en multimodaal te bepalen. Hoofdstuk 7 beschrijft tot slot de conclusies en aanbevelingen.

2 Stap 1: probleeminventarisatie – potentie van maatregelen

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van een data-analyse van de congestie op de A15. In paragraaf 2.1 wordt het percentage vrachtverkeer getoond. Paragraaf 2.2 gaat in op de doorstroming op de A15. Paragraaf 2.3 gaat tot slot in meer detail in op incidenten. De resultaten van dit hoofdstuk – omvang voertuigverliesuren naar file-oorzaak – worden in het vervolg van dit rapport gebruikt om te bepalen wat de potentie is van ITS-maatregelen voor het vrachtverkeer. Zoals eerder aangegeven grijpen verschillende soorten ITS-maatregelen op verschillende soorten files aan.

2.1 Percentage vrachtverkeer

Figuur 2.1 toont het percentage vrachtverkeer in 2015 op de A15. Zeker in de buurt van de haven is het percentage vrachtverkeer hoog (tussen de 30% en 40%) maar ook op het traject ten oosten van Gorinchem tussen Arkel en Andels is het percentage hoog. Op dit deel van de A15 is geen signalering aanwezig (zie Figuur 2.2). Dit is van belang omdat op wegen zonder signalering ITS-maatregelen gericht op veiligheid een grotere impact kunnen hebben. Op wegen met signalering vindt al automatisch incidentdetectie en filestaartbeveiliging via de matrixborden plaats. De figuur laat ook duidelijk zien dat het percentage vrachtverkeer hoog is ten opzicht van andere wegen zoals de A12.



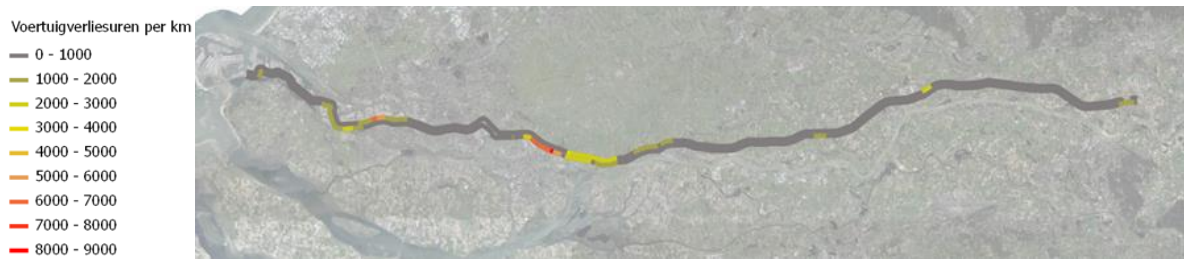
Figuur 2.1: Percentage vrachtverkeer (Bron: Inweva)



Figuur 2.2: Deel van de A15 met en zonder signalering (groen = met signalering)

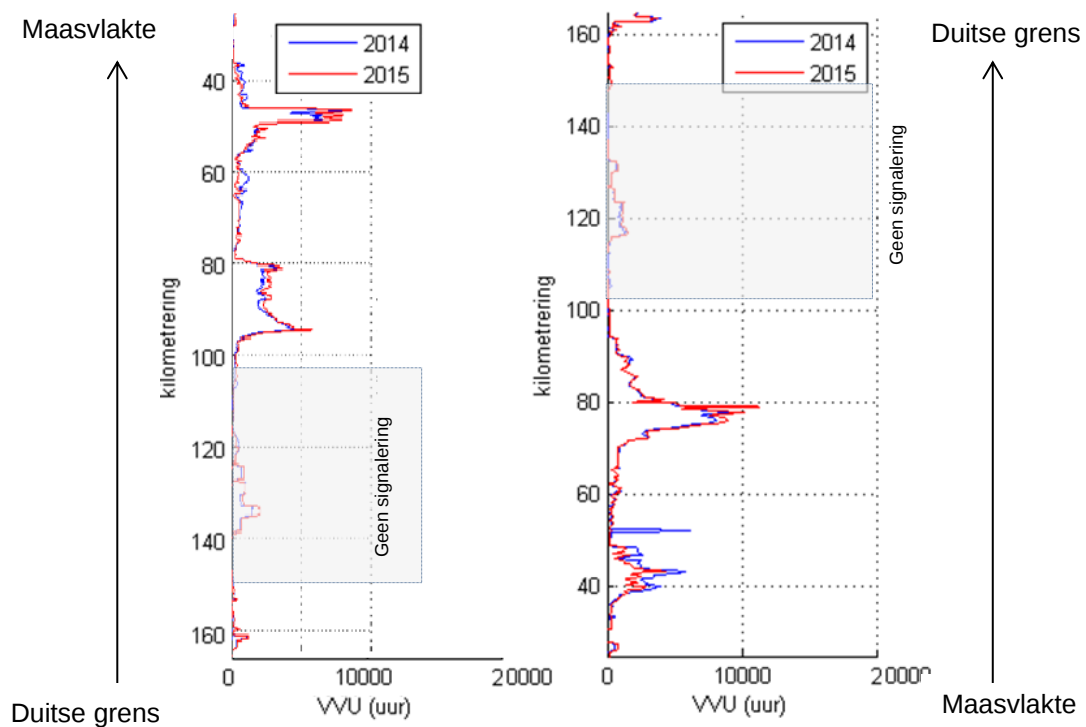
2.2 Doorstroming A15 links richting Maasvlakte

Figuur 2.3 laat het gemeten aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer zien op de A15 in 2015.



Figuur 2.3: Voertuigverliesuren vrachtverkeer per kilometer per jaar op de A15 in 2015.

Figuur 2.4 laat het gemeten aantal voertuigverliesuren op de A15 zien voor al het verkeer op basis van gegevens van Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW). In het NDW zijn ook verkeersgegevens opgenomen voor het gedeelte van de A15 waar geen signalering is. Op dit gedeelte zijn grotendeels wel lussen aanwezig op basis waarvan voertuigverliesuren kunnen worden berekend. De afstand tussen de lussen is alleen iets groter dan op het gedeelte van de A15 waar wel signalering is. Op een traject van 9 km, ongeveer tussen afslag Ochten en Andelst, zijn geen lussen aanwezig en zijn dus ook geen voertuigverliesuren gemeten.



Figuur 2.4: Voertuigverliesuren op de A15 in 2015 (al het verkeer). Links A15L richting Maasvlakte; Rechts A15R richting Duitsland.

In de volgende twee sub-paragrafen is een nadere analyse van de voertuigverliesuren gemaakt voor beide rijrichtingen. Hierbij wordt onder andere aangegeven wat de oorzaak is van de voertuigverliesuren in bovenstaande figuren.

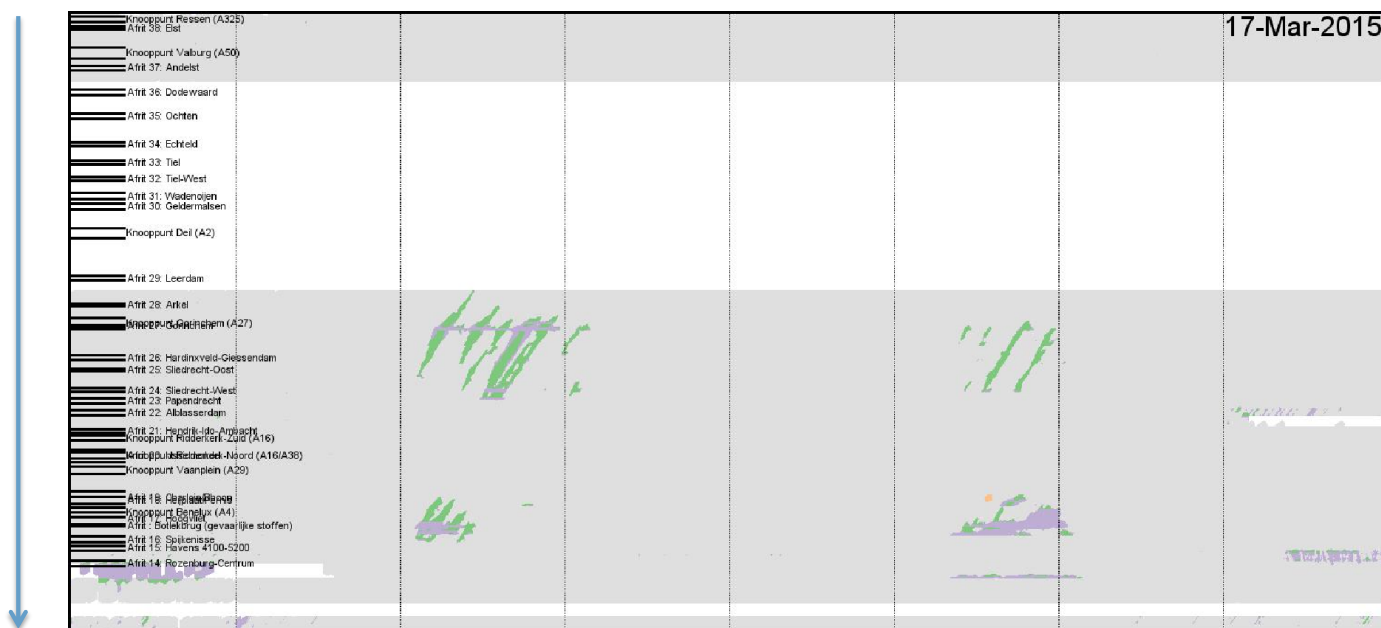
2.2.1 Doorstroming A15 links richting Maasvlakte

Figuur 2.5 toont de file op een dag met een gemiddeld filepatroon in 2015 op de A15 van Duitse grens richting de Maasvlakte. Verticaal is de A15 weergegeven. Bovenaan staat de splitsing met de A325 in de buurt van de Duitse grens en onderaan staat de Maasvlakte. Horizontaal staat de tijd. Dit betreft een etmaal. De verticale lijnen splitsen de tijd in periodes van 3 uur. De paarse vlekken duiden op een capaciteitsfile (congestie als gevolg van een vaste infrastructuurbottleneck waar het verkeer minder dan 70 km/uur rijdt). De groene vlekken duiden op schokgolven en de oranje vlekken duiden op incidentfiles.

Op het gedeelte van de A15 waar geen signalering is (witte balk) zijn wel voertuigverliesuren gemeten op basis van NDW-data, maar was het niet mogelijk om de voertuigverliesuren te classificeren.

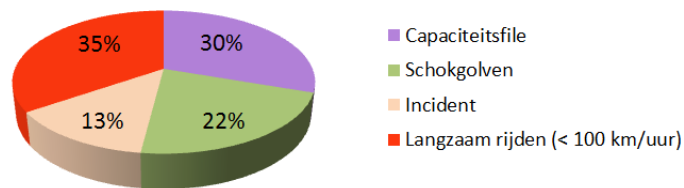
Uit deze figuur blijkt dat de belangrijkste knelpunten optreden bij:

- Afrit Spijkenisse en afrit Botlekbrug: dit komt voort uit een capaciteitsprobleem bij de afrit en late weefbewegingen in de tunnel. Daarnaast ontstaan hier schokgolven die doorlopen tot en met afrit Charlois. Het percentage vrachtverkeer is hier ongeveer 20%.
- Afrit Papendrecht en oprit Sliedrecht-west: als gevolg van capaciteitsproblemen ontstaan hier files welke terugslaan tot en met Gorinchem. Tussen Hardinxveld-Giessendam en Papendrecht ontstaan veel schokgolven door een hoge benutting in combinatie met een smalle rijbaan (2 rijstroken) en soms een smalle vluchtstrook.



Figuur 2.5: Files uitgesplitst naar oorzaak op een typische dag in 2015 op de A15 richting Maasvlakte (verkeer rijdt van boven naar beneden).

Figuur 2.6 laat zien dat het grootste gedeelte van het reistijdverlies op de A15 ontstaat door langzaam rijden (tussen de 70 en 100 km/uur). Dit is in feite een voorstadium van een file, maar het rijdt nog wel door. Ten opzichte van het landelijk gemiddelde op snelwegen is het percentage schokgolven en incidentfiles hoog.



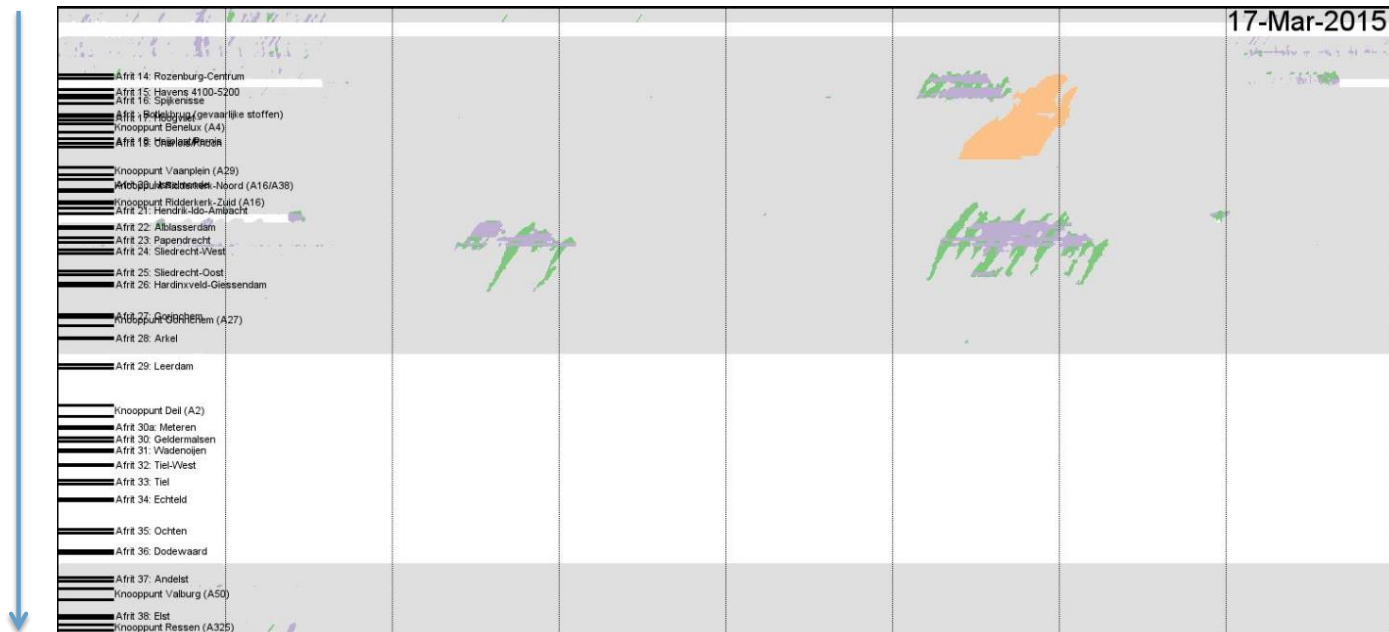
Figuur 2.6: Verdeling van de voertuigverliesuren op de A15 richting Maasvlakte over file-oorzaken.

Eerdere studies hebben aangetoond dat het percentage voertuigverliesuren dat door de gebruikte analysemethode als incidentfile wordt geclassificeerd wordt onderschat omdat de methode geen rekening houdt met kijkfiles en fileterugslag (deze worden in andere categorieën geplaatst). In (Snelder et al., 2016) is een meer gedetailleerde analyse uitgevoerd waarbij alle rijstrookafkruisingen (als gevolg van pechgevallen, ongevallen, afgevalen lading etc.) in de periode 2012 t/m 2014 zijn geanalyseerd. Uit deze analyse volgt dat ongeveer 25% - 28% van alle voertuigverliesuren op de A15 door rijstrookafkruisingen worden veroorzaakt. Dit betekent dat de in dit rapport berekende effecten van ITS-maatregelen gericht op incidentfiles, als een ondergrens kunnen worden beschouwd.

2.2.2 Doorstroming A15 rechts richting Duitsland

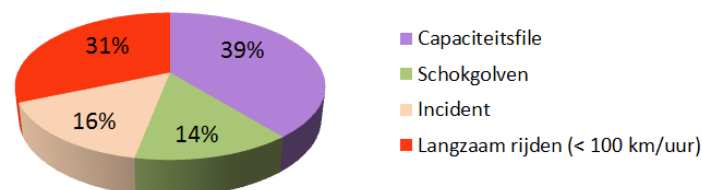
Figuur 2.7 toont de files op een dag met een 'gemiddeld' filepatroon in 2015 op de A15 van de Maasvlakte richting de Duitse grens. De oranje vlek geeft de file als gevolg van een incident weer. Deze oranje vlek behoort niet tot het gemiddelde filepatroon. Uiteraard kunnen op andere dagen op andere locaties incidenten voorkomen. Uit deze figuur blijkt dat de belangrijkste capaciteitsfiles en schokgolven optreden bij:

- Papendrecht - Hardinxveld-Giessendam: bij Papendrecht ontstaan files als gevolg van capaciteitsproblemen bij de afrit. Daarnaast ontstaan veel schokgolven in de ochtendspits vanaf Hardinxveld-Giessendam en in de avondspits vanaf Sliedrecht-Oost.
- Weefvak Spijkenisse: hier is in 2016 extra capaciteit bijgekomen. Die problemen treden nu waarschijnlijk niet meer op.



Figuur 2.7: Files uitgesplitst naar oorzaak op een typische dag in 2015 op de A15 richting Duitsland (verkeer rijdt van boven naar beneden).

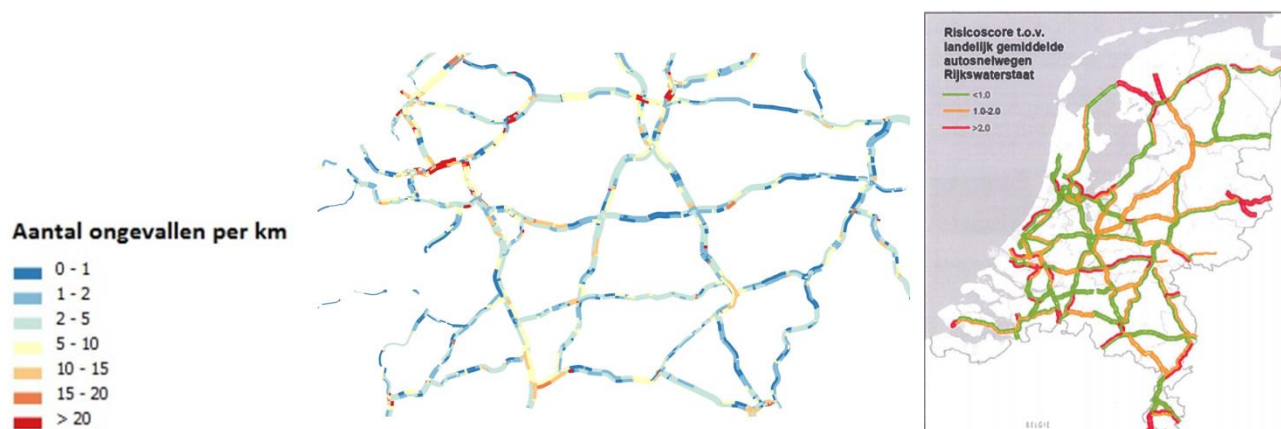
Figuur 2.8 laat zien dat 39% van de voertuigverliesuren in deze richting door capaciteitsproblemen wordt veroorzaakt en 31% door schokgolven.



Figuur 2.8: Verdeling van de voertuigverliesuren op de A15 richting Duitsland over file-oorzaken.

2.3 Incidenten

In 2015 vonden volgens de BRON-ongevallen registratie 1220 personenauto en vrachtauto-ongevallen plaats op de A15. De linkerzijde van Figuur 2.8 toont het aantal ongevallen per kilometer. Deze figuur toont aan dat op de A15 relatief weinig ongevallen per kilometer plaatsvinden vergeleken bij andere wegen zoals de A20 bij Rotterdam en ook rondom Utrecht. De meeste ongevallen vinden op de A15 plaats bij weefvakken en op locaties waar schokgolven optreden. De rechterzijde van het figuur geeft het risico weer om als verkeersdeelnemer betrokken te raken bij een ernstig slachtofferongeval. Het risico wordt berekend per voertuigkilometer in plaats van per kilometer en is daarmee een andere indicator dan in de linker figuur is weergegeven. Wat opvalt, is dat het risico op ernstige-ongevallen op de A15 tussen Gorinchem en de Duitse grens in beide richtingen groot is ten opzichte van andere wegen. Zoals in de linker figuur te zien is het aantal geregistreerde ongevallen op dat deel van de A15 relatief laag ten opzichte van andere wegen. Het risico per voertuigkilometer is echter hoger. Mogelijk kan dat verklaard worden doordat er op dat deel van de A15 geen signalering is.



Figuur 2.9: Links - aantal ongevallen per kilometer (bron: BRON 2015); rechts - risico op ernstig-ongeval (bron: Rijkswaterstaat, 2016)

Tabel 2.1 laat het aantal incidenten en ongevallen op de A15 zien voor de periode 2007-2009 uitgesplitst naar het deel van de A15 met en zonder signalering en uitgesplitst naar vrachtauto-incidenten/ongevallen. Als bron voor deze tabel is een database voor de periode 2007-2009 gebruikt waarin loggings van verkeerscentrales, CMI/CMV²-loggings en BRON zijn gecombineerd. Uit de tabel blijkt dat bij ongeveer 11% van de incidenten en ongevallen vrachtwagens betrokken zijn.

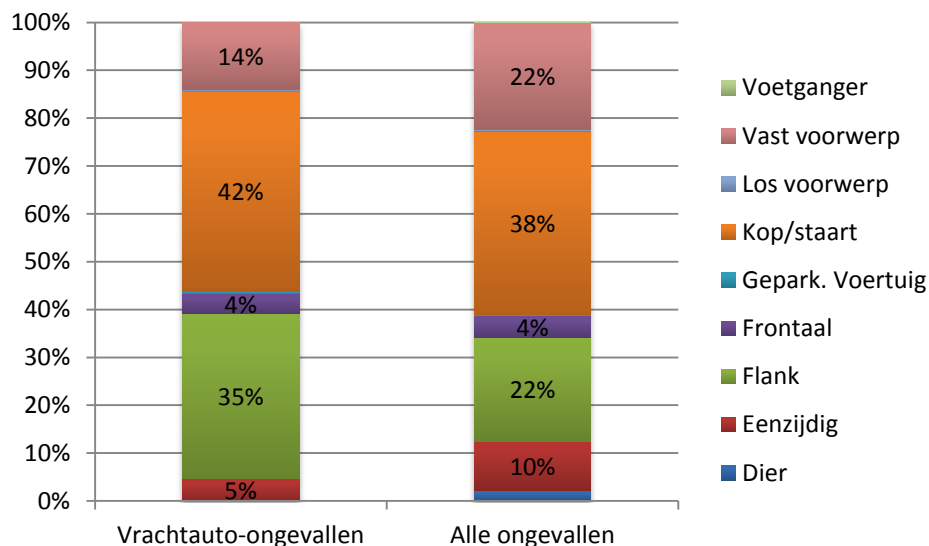
Uitsplitsing naar ongevallen op het deel van de A15 met en zonder signalering (zie ook Figuur 2.2) is van belang omdat op het gedeelte met signalering nu al veiligheidssystemen actief zijn en aanvullende ITS-maatregelen dus weinig effect zullen hebben. Op het gedeelte zonder signalering hebben sommige op veiligheid gerichte ITS-maatregelen een groter effect. Hoofdstuk 4 gaat hier nader op in. Op ongeveer 40% van de N15/A15 is geen signalering aanwezig. 23% van alle incidenten/ongevallen vindt plaats op het gedeelte van de A15 zonder signalering. Naar rato vinden er dus minder ongevallen plaats op het gedeelte van de A15 zonder signalering. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er op dit deel minder voertuigkilometers worden afgelegd. Voor het vrachtverkeer vindt 11%-15% plaats op het gedeelte van de A15 zonder signalering. Op dit deel van de incidenten zouden dus specifieke maatregelen gericht kunnen worden. Het is niet bekend welk percentage van de voertuigverliesuren als gevolg van incidenten op wegen zonder signalering plaatsvindt. Vermoedelijk zal dit minder zijn dan de genoemde percentages omdat minder voertuigen reistijdvertraging ondervinden (lagere intensiteit).

Tabel 2.1: Aantal incidenten en ongevallen op de A15 in de periode 2007-2009 (bron: database verkeerscentrale, CMI/CMV, BRON)

	Incidenten	Vrachtauto-incidenten	Ongevallen	Vrachtauto-ongevallen
Met signalering	17954	2232	5046	607
Zonder signalering	5185	283	1517	109
Zonder signalering (%)	22%	11%	23%	15%
Totaal	23139	2515	6563	716

² CMI = Centraal Meldpunt Incidenten; Centraal Meldpunt Vrachtwagens (incident management).

Figuur 2.10 geeft een uitsplitsing naar oorzaak van ongevallen op de A15. Met name kop/staart botsingen (38%-42% van alle ongevallen) en ongevallen waarbij een chauffeur niet binnen de rijstrook blijft (een deel van de eenzijdige en een deel van de flank-ongevallen) kunnen met ITS-maatregelen worden voorkomen.

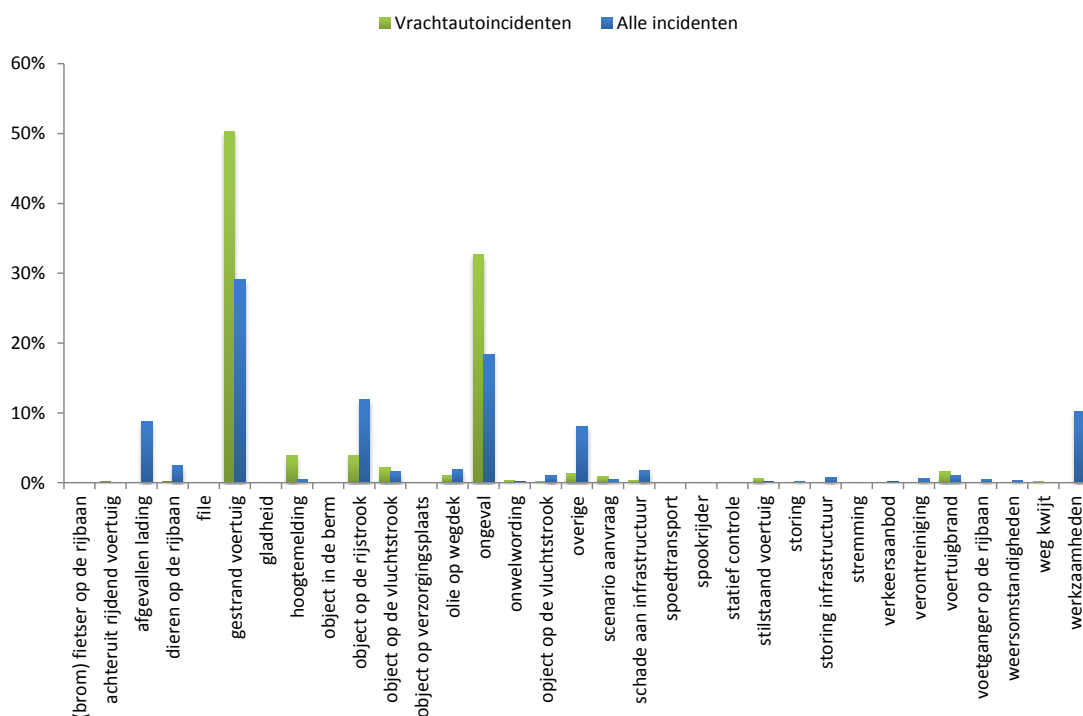


Figuur 2.10: Uitsplitsing naar oorzaak van ongevallen op de A15 in de periode 2007-2009

Figuur 2.11 geeft een uitsplitsing van het aantal vrachtauto-incidenten naar oorzaak. Deze figuur laat zien dat het grootste gedeelte van de incidenten wordt veroorzaakt door gestrande voertuigen en ongevallen. Bij de vrachtauto-incidenten is dit aandeel groter dan bij het overige verkeer. Gestrande voertuigen en zeker gestrande vrachtwagens kunnen wel tot voertuigverliesuren leiden, maar ITS-maatregelen kunnen dergelijke incidenten niet voorkomen. De voertuigverliesuren kunnen wel beperkt worden via incidentmanagementmaatregelen, informatie- en routeadvies.

Verder valt op dat het aantal hoogtemeldingen zeer beperkt was in de periode 2007-2009: 10 bij de Botlektunnel en 28 bij de Noordtunnel. Voor hoogtemeldingen kunnen specifieke maatregelen worden genomen. Het aantal hoogtemeldingen in de database is echter een onderschatting³.

³ Navraag bij Rijkswaterstaat leert dat hoogtemeldingen alleen in de handmatige logging (UDLS) worden gelogd als een melding heeft geleid tot afsluiting van de tunnel en als er een weginspecteur heen gestuurd is. In praktijk zijn er voormeldingen (lichten beginnen te knipperen), hoofdmeldingen (lichten op geel en waarschuwing verkeerscentrale) waarbij vrachtwagens soms nog doorrijden omdat chauffeurs weten dat ze nog in de marge van de 'echte' hoogte van de tunnel zitten en situaties waarbij de verkeerscentrale de lichten op rood gezet heeft en er echt stilstand is geweest en de vrachtwagen op tijd gestopt is. Als een vrachtwagen uit zichzelf van de weg af gaat en de zijroute neemt wordt dat niet gelogd. Systeemloggingen van tunnels en MTM (signalering) zijn completer.



Figuur 2.11: Uitsplitsing naar oorzaak van incidenten 2007-2009

2.4 Conclusies probleeminventarisatie

Dit hoofdstuk heeft inzicht geboden in de omvang en oorzaak van de voertuigverliesuren op de A15. Deze gegevens worden in het vervolg van het rapport gebruikt om het effect van ITS-maatregelen op de voertuigverliesuren op verschillende locaties op de A15 te bepalen.

Uit de data-analyse is gebleken dat op de A15 richting Maasvlakte capaciteitsproblemen aanwezig zijn bij de afrit Spijkenisse, de afrit Botlekbrug. Op deze locaties ontstaan ook schokgolven die doorlopen tot en met afrit Charlois. Daarnaast ontstaan bij de afrit Papendrecht en oprit Sliedrecht-west files als gevolg van capaciteitsproblemen die terugslaan tot en met Gorinchem. Tussen Hardinxveld-Giessendam en Papendrecht ontstaan veel schokgolven door een hoge benutting in combinatie met een smalle rijbaan (2 rijstroken) en soms een smalle vluchstrook. In de andere richting ontstaan bij Papendrecht files als gevolg van capaciteitsproblemen bij de afrit. Daarnaast ontstaan veel schokgolven in de ochtendspits vanaf Hardinxveld-Giessendam en in de avondspsits vanaf Sliedrecht-Oost.

ITS-maatregelen gericht op capaciteitsfiles en schokgolven kunnen zich dus het beste op bovenstaande locaties richten. ITS-maatregelen die op veiligheid gericht zijn kunnen zich het beste op het oostelijke deel van de A15 richten omdat hier nog geen veiligheidssystemen actief zijn. Het aantal incidenten per kilometer is op dit deel lager dan op het westelijke deel, maar het incidentrisico is hoger. Daarnaast zijn preventieve maatregelen mogelijk op ook op het westelijke deel incidenten zoals pechgevallen, hoogtemeldingen etc. te voorkomen. De volgende hoofdstukken gaan hier nader op in.

3 Stap 2: literatuurstudie potentiële effecten ITS & selectie van maatregelen

Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht van ITS-maatregelen en de effecten van deze maatregelen die in de literatuur bekend zijn. Het doel hiervan is om een selectie te maken van een top 3 aan maatregelen die naast truck platooning in het volgende hoofdstuk in meer detail worden uitgewerkt.

3.1 Overzicht ITS-maatregelen en effecten

Ricardo (2015) geeft een overzicht van het verwachte effect van verschillende ITS-maatregelen op basis van 9 andere Europese studies. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de resultaten voor een penetratiegraad van 100%. Dit betekent dat alle voertuigen zijn uitgerust. Hoe groter het verwachte effect, hoe donkerder groen de betreffende cel gemarkeerd is. Wat duidelijk opvalt, is dat de meeste systemen op veiligheid zijn gericht. De effecten op doorstroming (traffic efficiency) zijn gemeten op niet-snelwegen en daarom rood gemarkeerd. Deze effecten zijn niet representatief voor snelwegen.

100% penetratiegraad	Traffic Efficiency	Fuel consumption TEN-T		CO ₂ Emissions TEN-T		NOx Emissions		PM10 Emissions		Safety light/Heavy trucks			
										Fatalities	Serious injuries	Light injuries	Material damages
		Cars	Trucks	Cars	Trucks	Cars	Trucks	Cars	Trucks				
Emergency electronic brake light	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3%	2%	2%	2%
Emergency vehicle approaching	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1%	1%	1%	1%
Slow or stationary vehicle(s) warning	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1%	1%	1%	1%
Traffic jam ahead warning	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2%	4%	4%	4%
Hazardous location notification	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%	5%	5%	5%
Roadworks warning	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2%	2%	2%	2%
Weather conditions	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3%	3%	3%	3%
In-vehicle signage	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1%	0%	0%	0%
In-vehicle speed limits	-1.4%	2.3%	2.3%	0.2%	0.2%	0.5%	0.5%	0.4%	0.4%	7%	4%	4%	4%
Probe vehicle data	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3%	5%	5%	5%
Shockwave damping	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8%	5%	5%	5%
Green Light Optimal Speed Advisory/Time to Green (GLOSA/TTG)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Signal violation / Intersection Safety	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Traffic signal priority request by designated vehicles	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Information on alternative fuelled vehicle charging and fuelling stations	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
On-street parking information and management	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Off-street parking information and management	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Park & Ride information	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Traffic information & Smart routing	0.0%	2.0%	2.0%	0.2%	0.2%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	0%	0%	0%	0%
Loading zone management	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Zone access control management	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Vulnerable road user protection (pedestrians and cyclists)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Cooperative collision risk warning	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%	7%	7%	7%
Motorcycle approaching indication	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%
Wrong way driving warning	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	0%

Figuur 3.1: Effect van ITS-maatregel (Bron: Ricardo 2015)

Bovenstaande maatregelen zijn op basis van expertise van TNO geclusterd naar maatregelen gericht op doorstroming, schokgolven, incidenten en het onderliggend wegennetwerk en aangevuld met enkele andere maatregelen:

- Doorstroming: truck platooning, CACC, smart routing, traffic information, Motorway Traffic Management System (MTM), dynamisch inhaalverbod vrachtwagens, TDI priority request by designated vehicles (e.g. trucks), loading zone management (voor haven-terminals; bufferen).
- Schokgolven: schokgolfdeemping en dynamische snelheidslimieten.
- Incidenten: Lane keeping support, Filestaartbeveiliging (matrixborden), Bandenspanning terminal, Hoogtedetectie, Loszittende lading, Weigh in motion (overbeladen vrachtauto's), Emergency electronic brake light, Emergency vehicle approaching, Slow or stationary vehicle(s) warning, Traffic jam ahead warning, Hazardous location notification, Roadworks warning, Weather condition warning, In-vehicle signage, In-vehicle speed limits, Off-street truck

- parking information and management, Cooperative collision risk warning, Motorcycle approaching indication, Wrong way driving warning.
- Stedelijk wegennet (en dus niet/minder relevant voor de A15): Green Light Optimal Speed Advisory/Time to Green (GLOSA/TTG), Signal violation / Intersection Safety, On-street parking information and management, Park & Ride information, Vulnerable road user protection (pedestrians and cyclists), Zone access control management (bijvoorbeeld venstertijden).

Daarnaast zouden toeritdoseerinstallaties, dynamisch beprijzen en spitsmijden voor vrachtverkeer en logistieke maatregelen zoals combineren van ritten etc. ook de doorstroming, emissies en veiligheid kunnen verbeteren. Deze maatregelen zijn echter uitgesloten omdat ze ofwel al op grote schaal worden toegepast of niet binnen de focus van dit project passen.

3.2 Selectie van maatregelen

Op basis van verwachte effecten en de termijn (5 tot 10 jaar) waarop de effecten gerealiseerd kunnen worden is in overleg met TrafficQuest de volgende top 5 (in willekeurige volgorde) aan maatregelen samengesteld:

- Pelotonvorming personenauto's via CACC.
- Schokgolfdemping/dynamische snelheidslimiet.
- Smart routing.
- Hazardous location warning.
- Incident management.

Deze maatregelen worden in het volgende hoofdstuk nader toegelicht. Uiteindelijk is besloten om naast truck platooning de eerste drie maatregelen met de ITS-quickscantool uit te werken en hazardous location warning en incident management beknopt uit te werken. De reden hiervoor is dat de ITS-quickscantool meer meerwaarde biedt bij de andere maatregelen, omdat de andere maatregelen aangrijpen op de reguliere capaciteit en/of intensiteit. De ITS-quickscantool kan het effect van veranderingen in de intensiteit en/of de capaciteit op de reistijd en voertuigverliesuren uitrekenen. De effecten van hazardous location warning en incident management kunnen rechtstreeks op basis van de data-analyse worden bepaald omdat van de incidenten op de A15 al via data-analyse bepaald is tot hoeveel voertuigverliesuren ze leiden.

4 Stap 3: effect van maatregelen

Dit hoofdstuk geeft per maatregel een beschrijving, de effecten op doorstroming, brandstofverbruik, emissies en veiligheid volgens de literatuur en de verwachte effecten na opschaling/toepassing op de A15 volgens de ITS-quickscantool. Met deze tool is bepaald in hoeverre de voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer die uit de data-analyse volgen (hoofdstuk 2) kunnen worden gereduceerd. De effecten van de maatregelen zijn afzonderlijk van elkaar geanalyseerd en mogen niet zomaar bij elkaar worden opgeteld. Voor truck platooning is CACC in de vrachtwagens bijvoorbeeld vereist. Daarnaast is CACC ook een vergaande vorm van schokgolfdemping. Optellen van de effecten van CACC, truck platooning en schokgolfdemping zou dus tot een overschatting van het totale effect leiden.

4.1 Maatregel 1 Truck platooning

4.1.1 Beschrijving maatregel

Truck platooning is de benaming voor het concept waarbij vrachtwagens in treintjes over de snelweg rijden. Het truckpeloton (of konvooi genaamd) bestaat doorgaans uit 2 tot 4 trucks. De trucks zijn onderling virtueel verbonden met een wireless-verbinding en gebruiken daarnaast diverse sensoren en technologie zoals radar, lidar, camera's en GPS-informatie. Door de combinatie van sensoren en wireless communicatie zijn de trucks in staat om veilig op een zeer korte afstand van elkaar te rijden – geregeld minder dan 1.0s volgafstand.



Figuur 4.1. Truck platooning: coöperatief automatisch rijdende vrachtwagens

In essentie is truck platooning een innovatie in voertuigtechnologie. Alle grote truckfabrikanten zetten groot in op de technologie. DAF, Daimler, Iveco, MAN, Scania en Volvo hebben allen hun eigen implementatie van de technologie en namen afgelopen 6 april ook deel aan de European Truck Platooning Challenge. Een belangrijke gebeurtenis waar de zes grootste fabrikanten lieten zien allemaal klaar te zijn voor zogenaamd SAE Level 1 truck platooning waarbij alleen gasgeven en remmen geautomatiseerd is, maar de chauffeurs nog zelf sturen en de omgeving in de gaten houden (SAE International, 2014). Multi-brand platooning is nu nog niet mogelijk. Dit is wel een voorwaarde om truck platooning op grote schaal mogelijk te maken.

Op middellange termijn, vanaf 2025, is het mogelijk dat er hogere technologieniveaus bereikt worden waarbij meer rijtaken geleidelijk over gaan van chauffeur naar systeem. Vanaf SAE Level 4 zal het zelfs zo zijn dat de trucks vanaf het moment dat ze de snelweg oprijden tot het moment dat ze de snelweg verlaten volledig automatisch kunnen rijden. Chauffeurs zouden dan ook niet meer actief hoeven te rijden. Op dat moment zijn er zelfs geen chauffeurs meer nodig in de opvolgende voertuigen van het peloton. Daardoor wordt truck platooning gezien als de eerste opstap richting volledig automatische vrachtwagens.

4.1.2 *Voorwaarden truck platooning*

Voor truck platooning is regelgeving nodig die het toestaat om automatisch dicht op elkaar te rijden en die experimenteerruimte biedt. Daarnaast moeten standaarden worden afgesproken om multi-brand platooning mogelijk te maken. Ook zijn instanties nodig die pelotonvorming coördineren (afspraken tussen vervoerders).

Voor wat betreft de infrastructuur is het nodig om eisen te stellen aan de belasting van de infrastructuur. Ook moet bepaald worden of er veranderingen in het ontwerp of de instrumentatie nodig zijn bij op- en afritten en weefvakken. Tevens kan het handig/wenselijk zijn om op wegen met een hoog vrachtpercentage, bijvoorbeeld in of vlakbij het havengebied, een aparte strook voor truck platooning te creëren. De effectiviteit hiervan moet wel eerst onderzocht worden.

Tot slot moeten alle vrachtwagens worden uitgerust met een OBU (on board unit) en diverse sensoren en technologie zoals radar, lidar, camera's en GPS-informatie.

4.1.3 *Effecten volgens de literatuur*

Truck platooning heeft de potentie om allerlei voordelen te bieden waaronder verbetering van verkeersveiligheid, brandstofbesparing en vermindering van CO₂-emissies (Janssen et al., 2015). Een aantal van deze voordelen is op dit moment al met enige voorzichtigheid te kwantificeren. Zo zijn er internationaal al diverse experimenten geweest waar tijdens platooning-ritten het brandstofverbruik gemonitord is. Echter, doordat truck platooning nog in de R&D-fase zit zijn veel potentiële voordelen nog niet te kwantificeren. Daarom hebben we in Tabel 4.1 en Figuur 4.1 een kwalitatief overzicht geschetst van te verwachten voordelen van truck platooning, opgesplitst naar directe en indirecte effecten. De directe effecten zijn rechtstreeks toe te schrijven aan ontwikkeling en uitrol van truck platooning in de maatschappij. De indirecte effecten bestaan uit voordelen die ontstaan in het kielzog van uitrol van truck platooning; truck platooning kan de aanjager en versneller zijn die ervoor zorgt dat deze voordelen sneller beschikbaar komen en truck platooning wordt als innovatie op zichzelf aantrekkelijker door een aantal van deze indirecte voordelen zoals V2I-groene golven voor platoons.

Tabel 4.1: Kwalitatief overzicht directe en indirecte voordelen van Truck Platooning

Directe voordelen	Indirecte voordelen
• Betere verkeersveiligheid en minder botsingen • Bestuurderscomfort en meer veiligheid • Brandstofbesparing en CO₂-besparing • Betere traffic flow en minder gebruik wegcapaciteit • Productiviteitsverbetering – geen stilstand tijdens pauzes (2020+) • Productiviteitsverbetering – van rijtijd naar arbeidstijd in volgende voertuigen (2020+) • Productiviteits verbetering – zelfrijdend zonder chauffeurs (2025+)	• Logistieke optimalisatie door connected trucks • Minder schade bij parkeren en docking (door V2I-communicatie) • Groene golf voor platoons (door V2I-communicatie) • Aantrekkingskracht Nederland testland

Er zijn risico's van truck platooning die nader onderzocht moeten worden. Te denken valt aan de verkeersafwikkeling bij op- en afritten en weefvakken. Ten eerste vinden daar gedwongen rijstrookwisselingen van de platoons plaats, waarvan nog niet bekend is hoe dat verloopt in druk verkeer. Ten tweede ondervindt ander verkeer dat ter hoogte van een platoon van rijstrook moet wisselen mogelijk hinder van het peloton. Het aantal pelotons en het aantal vrachtwagens in een peloton en de lengte van invoegstroken is hierbij van belang. Een ander risico waarvan de omvang nog niet bekend is, is systeemfalen. Er zijn diverse systemen nodig om platooning mogelijk te maken en onbekend is hoe vaak één van deze systemen uitvalt en wat de gevolgen daarvan zijn.

Directe voordelen: Veiligheid

Het moeilijkst te kwantificeren, maar potentieel het aantrekkelijkste voordeel van truck platooning, is het feit dat de verkeersveiligheid kan verbeteren. 90% van alle ongevallen ontstaat door menselijke fouten (Janssen et al., 2015) en het is de verwachting dat uitrusting van trucks met sensoren en communicatieapparatuur ervoor zal zorgen dat de verkeersveiligheid verbetert.

In algemene zin verbetert de verkeersveiligheid en de interactie met overige weggebruikers doordat truck platoons zijn uitgerust met allerlei sensoren. Door inzet van radar, lidar en camera's krijgen de chauffeurs als het ware extra ogen, die ook nog eens ver vooruit kunnen kijken en hierdoor gevaarlijke situaties kunnen voorkomen. Deze sensoren functioneren dan nog als ADAS: Advanced Driver Assistance Systems en ondersteunen de chauffeur bij het rijden.

Ook zijn trucks die in platoon-modus rijden in staat om nagenoeg gelijktijdig te remmen. De wireless dataverbinding tussen de voertuigen (DSRC V2V: Dedicated Short Range Communication Vehicle-to-Vehicle) zorgt ervoor dat een remactie in het voorste voertuig in minder dan 0,1 seconde wordt doorgegeven aan de volgende voertuigen in het platoon, aanzienlijk sneller dan de reactietijd van een menselijke chauffeur. Hierdoor worden kop-staart botsingen voorkomen of wordt de impact van een botsing verkleind. Dit kan goed samen gaan met de al sinds 2015 verplichte aanwezigheid van het AEB-systeem (Autonomous Emergency Braking).

Ook wordt verwacht dat truck platooning extra comfort oplevert voor beroepschauffeurs. Platooning zorgt ervoor dat het rijden van relatief lange stukken snelweg comfortabeler wordt door bijvoorbeeld fysieke handelingen als gasgeven en remmen te automatiseren (Cooperative Adaptive Cruise-Control) of een stuurassistent (Lane Keeping Assist) te gebruiken. De chauffeur moet dan nog wel zijn ogen en aandacht op de weg houden en ingrijpen indien nodig. Hierbij het is nog wel een belangrijke onderzoeksvraag of de chauffeur zijn aandacht goed bij het rijden kan houden als het aantal fysieke handelingen afneemt.

Directe voordelen: Business case

Truck platooning kan momenteel rekenen op grote interesse vanuit de transportsector. Dit komt omdat de business case voor platooning technologie op termijn zeer aantrekkelijk is. Op korte termijn is het voor de transportsector aantrekkelijk dat door truck platooning de brandstofkosten verlaagd kunnen worden. Doordat de trucks kort op elkaar rijden vermindert de luchtweerstand wat een positief effect heeft op het brandstofverbruik. Alle trucks in een platoon ervaren voordelen, dus alleen de volgende voertuigen maar ook het eerste voertuig. Gemiddeld beschrijft de literatuur besparingen van 6 – 10% brandstof voor platoons bestaande uit 2 trucks (Janssen et al, 2015; Verhaart, 2016). In Japan heeft men zelfs een gemiddelde van >15% brandstofbesparing per truck bij een 3-truck platoon gemeten (Verhaart, 2016). En omdat brandstofverbruik 1-op-1 is gerelateerd aan CO₂-uitstoot zullen de gerealiseerde brandstofbesparingen zich rechtstreeks uiten in een vermindering van CO₂-uitstoot van dezelfde grootte.

Op langere termijn (2020+), als de technologie voor coöperatief automatisch rijdende voertuigen nog verder is ontwikkeld, is het zelfs mogelijk dat de chauffeur andere taken kan vervullen, omdat het systeem dan alle rijtaken veilig kan vervullen. Het is dan beleidsmatig een interessante vraag of rij- en rusttijdenwetgeving aangepast kunnen worden naar een nieuwe situatie waar de chauffeur bijvoorbeeld administratief werk uitvoert in een rijdend voertuig. Het zou dan kunnen zijn dat de chauffeur in een volgend voertuig niet valt onder rij- en rusttijden wetgeving maar onder arbeidstijden wetgeving. In dat geval wordt de business case van platooning al vergroot doordat een chauffeur meer productieve uren per dag zou kunnen draaien.

Ook zou een chauffeur dan zijn pauze kunnen nemen in een rijdend voertuig. In plaats van dat de trucks dan stil moeten staan op een parkeerplaats is het mogelijk om door te blijven rijden. Zo wordt de 'range' (reikwijdte) die een vrachtwagen in de tijd van een enkele rij- en rustijdencycli kan doorlopen opeens een stuk hoger wat de servicegraad en efficiency van een transporteur vergroot.

Op lange termijn (2025+) is de business case zeer aantrekkelijk omdat het zelfs mogelijk is om überhaupt geen chauffeurs meer in de volgende voertuigen nodig te hebben – het tweede en/of derde voertuig in het platoon volgen het leidende eerste voertuig dan automatisch. Op dit moment vormen loonkosten nog ongeveer 50% van de totale operationele kosten van een transporteur, dus als er geen chauffeurs meer nodig zijn in volgende voertuigen kan er al 25% van de totale kosten gereduceerd worden in een 2-truck platoon, tot zelfs 33% van de kosten in een 3-truck platoon.



Figuur 4.2: Potentiele voordelen van Truck Platooning

Directe voordelen: Verkeer

Verkeerstechisch kunnen er van truck platooning enkele effecten op het verkeersbeeld en doorstroming worden verwacht doordat gebruik van wegcapaciteit verbeterd wordt.

De korte volgafstand tussen de voertuigen zorgt voor minder gebruik van wegcapaciteit. Zo kunnen trucks in platoon-formatie op slechts 0.3s van elkaar rijden, wat bij 80km/h een volgafstand van 6,7m bedraagt. 2 reguliere trekker-trailers van 16,50m die op een normale volgafstand van 1,6s rijden nemen ongeveer 69 meter wegcapaciteit in. In platoon-formatie en met gebruik van de wireless verbinding kan op een volgafstand van 0,3s gereden worden. Dit vermindert het gebruik van wegcapaciteit tot bijna 40 meter; een vermindering van meer dan 40%.

Inhalende vrachtwagens zijn één van de grootste ergernissen van Nederlandse automobilisten, maar van platoons kan verwacht worden dat ze niet in zullen halen omdat ze gezamenlijk op (Cooperative) Adaptive Cruise-Control zullen rijden wat op zichzelf al zorgt voor een gelijkmatigere verkeersflow en een betere doorstroming op de linker rijstroken.

Bij veel van deze voorziene effecten is het de vraag of ze in de praktijk ook zo uit zullen vallen. Bij het eerste voorbeeld kan men zich ook voorstellen dat hoewel platoons inderdaad minder wegcapaciteit innemen, dat de trucks in het platoon steeds kleine snelheidsaanpassingen moeten doen om bij elkaar te blijven. Dit kan er juist voor zorgen dat er kleine schokgolven ontstaan wat de doorstroming kan belemmeren. Ook is de huidige infrastructuur op sommige fronten nog niet berekend op de opkomst van truck platooning wat gevaarlijkere situaties kan geven. Zo bleek in het Europese SARTRE-project dat de vangrails nog niet in staat waren een geheel 2-truck platoon goed op te vangen, mocht het mis gaan (Janssen et al., 2015).

Indirecte effecten

Truck platooning kan een aantal andere innovaties in de Nederlandse transportsector en economie versnellen. Van truck platoons kan bijvoorbeeld verwachten worden dat deze trucks de eerste voertuigen zijn die continue “connected” zijn met het Internet. Een truck die continu verbonden is kan allerlei nieuwe functionaliteiten gebruiken. Zo kan een dergelijke truck zijn lokalisatie- en statusgegevens doorgeven, voertuigconditie monitoring en -diagnose op afstand uitvoeren en papierwerk minimaliseren en vervangen voor gedigitaliseerde informatie zoals transportorders en vrachtbrieven. Ook het reserveren van parkeerplaatsen of het vinden van een lege plaats bij een truckstop kan worden ondersteund. Door het opzetten van “geofences” kan een truck op basis van zijn actuele plaats- en tijdsgegevens doorgeven wat de Estimated Time of Arrival (ETA) op de plaats van bestemming zou zijn en dus hoe laat een dock of losplaats beschikbaar moet zijn voor de truck.

Ook voor overheden en wetshandhavers zijn er mogelijkheden om de voordelen van connected trucks te benutten. Zo zou overbelading of te hoge asbelasting automatisch gerapporteerd kunnen worden en zou weginfrastructuur effectiever benut kunnen worden door het real-time doorgeven van file- en ongevaleninformatie. Ook tolheffing in de verschillende EU-lidstaten kan

automatisch gebeuren zonder dat er een verscheidenheid aan tolkastjes in de voertuigen aanwezig hoeft te zijn.

Een vliegwieleffect ontstaat als naast de voor truck platooning kenmerkende voertuig-voertuig communicatie (V2V) gecombineerd wordt met voertuig-infrastructuur communicatie (V2I). Als transportcorridors worden uitgerust met ITS-technologie kunnen truck platoons hiervan sterk profiteren. Zo kunnen diensten als Hazardous Location Warning en Traffic Jam Ahead Warning ervoor zorgen dat de platoons al ruim voor de gevaarlijke situatie vaart minderen, mogelijk gemaakt door de lange-afstands communicatie. Ook digitaal doorgeven weersinformatie kan bijvoorbeeld gebruikt worden om de ideale volgafstand te bepalen – in het geval van slecht weer kan de volgafstand dan dynamisch wat groter gemaakt worden. Ook zouden er groene golven voor platoons (Green Light Optimal Speed Advisory voor platoons) ingericht kunnen worden. Het platoon communiceert dan met de verkeersregelinstallatie (VRI) dat het platoon eraan komt en graag als geheel platoon intact onder het verkeerslicht door wil rijden. Dit levert een tijdsbesparing op voor de beide voertuigen en hun chauffeurs en vermindert brandstofverbruik door niet te hoeven stoppen en te accelereren. Ook wordt de tijd en afstand dat er in platoonformatie wordt gereden dan gemaximaliseerd, wat de voorgenoemde directe voordelen van platooning dan weer mogelijk realiseert.

Een andere toepassing van V2I-communicatie is mogelijk als het dock of de terminal waar de truck aankomt ook voorzien is van sensoren. De sensoren in bijvoorbeeld de dock deuren of onder de terminalkranen kunnen de truck helpen om sneller te parkeren en minder schades op te lopen tijdens het parkeren of docken.

De grootste potentie van truck platooning ontstaat als logistieke concepten geïnnoveerd kunnen worden door gebruik van platooning-technologie. Neem containertransport van en naar de Maasvlakte in de haven van Rotterdam als voorbeeld; één van de drukke logistieke stromen van Nederland. Normaliter rijdt een truck richting de containerterminal, moet daar een tijdje wachten op het lossen en/of laden van een container en rijdt dan weer richting het achterland. Typisch hieraan is dat de chauffeurs vaak lang moeten wachten en tegen de tijd dat ze weer willen gaan rijden aan het maximum van hun rij- en rusttijden zitten en eerst hun pauzes moeten nemen.

In de nabije toekomst kan een connected platoon alvast onderweg van te voren communiceren dat het platoon onderweg is en dat het platoon de geschatte aankomsttijd waarschijnlijk gaat realiseren. Op de containerterminal bereiden ze zich voort op de komst van het platoon door de containers alvast uit de stacks te halen. De chauffeurs parkeren hun trucks bij de poort van de containerterminal, waarna de trucks automatisch en zonder chauffeur hun rit vervolgen over de containerterminal. De chauffeurs nemen ondertussen hun pauze en eten wat. Ondertussen zorgt de terminal operator ervoor dat de containers op de trucks geladen en gelost worden en stuurt het nog zelfrijdende platoon weer naar de poort. Bij de poort aangekomen stappen de uitgeruste chauffeurs in en vervolgen hun weg. In dit eenvoudige voorbeeld worden zowel de truckoperaties als de terminaloperaties geoptimaliseerd wat aan beide kanten van de keten leidt tot lagere kosten, hogere efficiency, hogere doorloopsnelheid en minder wachttijd. Dergelijke innovaties van logistieke business modellen kunnen ook in andere sectoren van transport worden gerealiseerd door te verkennen welke impact truck

platooning-technologie kan hebben op de operationele processen en waar besparingspotentieel zit.

Bij elkaar genomen biedt truck platooning zowel op micro- als macro-economisch niveau vele directe en indirecte voordelen voor bedrijven en de BV Nederland. Als Nederland zich (verder) wil profileren als Nederland Testland zal dit ook een magneetwerking hebben op allerlei gerelateerde onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten, die een grote economische uitwerking zullen hebben voor de Nederlandse Topsector Logistiek en de BV Nederland.

4.1.4 *Opschaling effecten voor de A15*

Figuur 4.1 toont de resultaten voor de A15 voor verschillende penetratiegraden van Truck platooning. Tevens zijn de resultaten berekend voor een situatie met 2 en met 3 vrachtwagens in een peloton. Bij lage penetratiegraden is het moeilijker om pelotons te vormen en zijn de verwachte baten dus ook lager. De effecten worden groter als grotere pelotons kunnen worden gevormd.

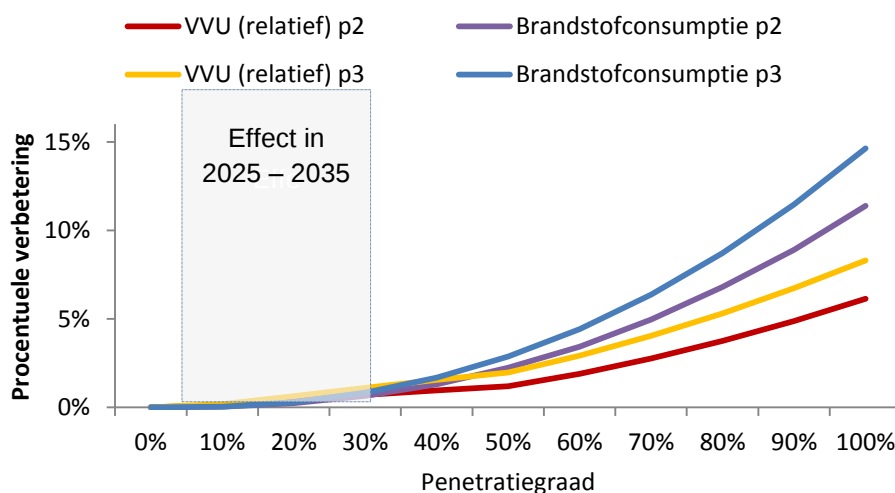
Het aantal voertuigverliesuren (VUU) voor het vrachtverkeer neemt af doordat de capaciteit als gevolg van pelotonvorming toeneemt⁴. De toename van de capaciteit is het grootst op de locaties waar het percentage vrachtverkeer het hoogst is. De afname in voertuigverliesuren is dus afhankelijk van het percentage vrachtverkeer en de oorzaak van de voertuigverliesuren.

Het effect op veiligheid is niet verder doorgerekend, omdat hier nog onvoldoende van bekend is. Er is bijvoorbeeld niet bekend hoe vaak bestuurders van personenauto's risicovolle manoeuvres uitvoeren om van rijstrook te wisselen met een peloton in de buurt dat daarbij mogelijk hindert.

Truck platooning kan de voertuigverliesuren die door vrachtwagenincidenten worden veroorzaakt mogelijk reduceren. De totale procentuele verandering in voertuigverliesuren, kan dus groter zijn dan weergegeven in de grafiek.

Het verwachte effect op de brandstofconsumptie is groter (t/m 15% afhankelijk van penetratiegraad en pelotongrootte) dan op de voertuigverliesuren. De afname in brandstofconsumptie leidt ook tot een afname in CO₂-uitstoot omdat dit direct aan elkaar is gerelateerd.

⁴ Secundaire effecten: veranderingen in de vervoervraag als gevolg van een kortere reistijd zijn niet meegenomen. Mogelijk neemt de vraag weer toe waardoor de afname in voertuigverliesuren kleiner kan zijn.



Figuur 4.3: Resultaten truck platooning (p2 is pelotons van 2 voertuigen; p3 is pelotons van 3 voertuigen)

Volgens Sia Partners (2016) is de penetratiegraad in 2025 naar verwachting ongeveer 5,5%. Dit zal snel groeien naar 22% en 30% respectievelijk in 2030 en 2035. Uiteraard is het moeilijk in te schatten hoe hoog de penetratiegraad in 2025 precies zal zijn. Het grijze blok geeft indicatief de range weer waarin de effecten kunnen liggen. Gemiddeld gezien zal het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer en de brandstofconsumptie en CO₂ uitstoot tot en met 2035 slechts 1% afnemen. Dit is een gemiddelde. Vrachtwagens die deel uitmaken van pelotons ervaren meer voordeel.

Figuur 4.4 laat de absolute verwachte afname van voertuigverliesuren op de A15 als gevolg van Truck Platooning zien tussen 2025 en 2030 bij een penetratiegraad van 10%. Het effect is vrijwel nihil. Bij hogere penetratiegraden kunnen grotere effecten worden gehaald.



Figuur 4.4: Verwachte afname van voertuigverliesuren van het vrachtverkeer op de A15 als gevolg van Truck Platooning in 2025-2030 bij een penetratiegraad van 10%; exclusief vraageffecten⁴

4.2 Maatregel 2 Pelotonvorming personenauto's

4.2.1 Beschrijving maatregel

Pelotonvorming van personenauto's via CACC is een maatregel die sterkt lijkt op truck platooning. Bij truck platooning wordt onder andere CACC-technologie

toegepast. Deze maatregel heeft echter betrekking op het personenautoverkeer. Omdat autoverkeer een groot deel van het verkeer vormt, kan met deze maatregel de doorstroming makkelijker worden verbeterd dan met een maatregel die alleen op het vrachtverkeer is gericht. Het vrachtverkeer profiteert hier van.

Auto's die uit zichzelf in staat zijn om een ingestelde snelheid aan te houden zonder interventie van de bestuurder bestaan al geruime tijd met de technologie Cruise Control (CC). Adaptive Cruise Control (ACC) kwam eind jaren negentig op de markt en maakte het mogelijk om niet alleen een bepaalde snelheid in te stellen, maar ook dat een voertuig bij het naderen van een voorligger geleidelijk zijn snelheid aanpast en zijn voorligger volgt zonder interventie van de bestuurder. Coöperatieve ACC, ofwel CACC, is de laatste ontwikkeling op dit gebied, waarbij voertuigen niet alleen autonoom in staat zijn om hun longitudinale gedrag te regelen, maar waarin dit ook gebeurt in onderlinge communicatie met andere voertuigen. Voertuigen communiceren rijgegevens aan elkaar door middel van korte afstand communicatiemiddelen en kunnen daardoor rekening houden met de bewegingen van andere voertuigen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is terug te vinden in het volgedrag van met CACC uitgeruste voertuigen. Twee uitgeruste voertuigen kunnen veilig op zeer korte afstand van elkaar voortbewegen doordat het volgende voertuig vrijwel instantaan op de hoogte is van rem- en acceleratie-acties van het leidende voertuig via de coöperatieve communicatie. Standaard ACC is reactief op de bewegingen van de voorligger en heeft niet de mogelijke voordelen van CACC dat proactief kan reageren door middel van de communicatie.

Voor een voldoende goede prestatie en invloed op het verkeerssysteem is een bepaalde kritische penetratie met CACC-voertuigen ook nodig. Indicaties uit literatuur geven aan dat deze drempelwaarden liggen rondom 30%-40% penetratie (Shladover et al., 2012).

4.2.2 *Voorwaarden Pelotonvorming personenauto's*

Voor pelotonvorming van personenauto's via CACC is net als bij truck platooning regelgeving nodig die het toestaat om automatisch dicht op elkaar te rijden en die experimenteerruimte biedt. Voordat deze systemen op de weg mogen, dienen ze goedgekeurd te worden door de RDW. De veiligheid dient aangetoond te zijn in praktijktests.

Er zijn verschillende fabrikanten van voertuigen met CACC-systemen, die voor een groot deel ook onafhankelijk van elkaar zijn ontworpen. Het zal echter noodzakelijk zijn dat deze verschillende systemen in staat zijn om met elkaar te communiceren aangezien er geen enkele autofabrikant is met voldoende marktpenetratie. Hier moeten dus standaarden voor worden afgesproken. Tevens zijn voorschriften nodig over het gebruik van CACC met betrekking tot volgafstanden. Te grote volgafstanden kunnen tot een capaciteitsafname leiden, terwijl te kleine volgafstanden tot veiligheids- en/of acceptatieproblemen kunnen leiden.

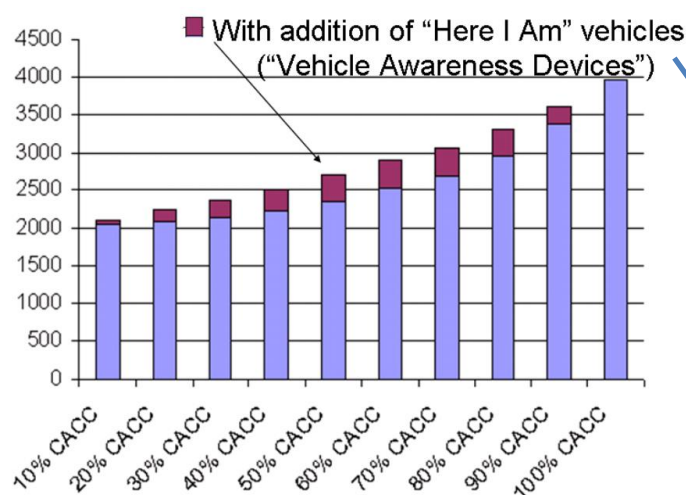
Daarnaast is aandacht nodig voor bestuurdersacceptatie. Dit geldt voor zowel de bestuurder van een CACC-voertuig als andere bestuurders. CACC-voertuigen kunnen tot op een zeer korte afstand rijden van hun voorligger op veilige wijze, dit kan echter een onveilig gevoel geven bij een bestuurder vanwege de onmacht om in te kunnen grijpen in geval van nood of systeemfalen. Ook andere bestuurders kunnen deze korte afstanden mogelijk als onwenselijk beschouwen. Net als andere

technologieën, zal CACC daarom ook geleidelijk aan acceptatie moeten winnen. Opleiding en training kunnen hierbij helpen.

Tot slot moeten de auto's worden uitgerust met een OBU (on board unit) en diverse sensoren en technologie zoals radar, lidar, camera's en GPS-informatie. De extra kosten hiervan (+/- 500 – 3000 Euro) mogen geen barrière vormen om een met CACC uitgerust voertuig te kopen.

4.2.3 Effecten volgens de literatuur

Inzet van CACC wordt vaak gezien als één van de meest kansrijke en volwassen voertuig technologieën om een verbetering in doorstroming te realiseren. Zoals eerder aangegeven is daarvoor wel een minimum penetratieniveau nodig. Volgens Shladover et al. (2012) zal de verbetering voor de verkeersdoorstroming nog beperkt zijn voor penetratieniveaus onder de 40%. Echter boven de 40% stijgt de effectiviteit exponentieel en kunnen veel hogere operationele capaciteiten worden behaald (zie Figuur 4.5). Andere onderzoekers zijn het globaal hier mee eens, ook al verschillen de omslagpunten waarbij de effectiviteit sterk begint toe te nemen tussen 20-50%. De waarden in Figuur 4.5 gelden voor doorgaande snelwegen zonder bottlenecks. Bij bottlenecks zou de capaciteitswinst kleiner kunnen zijn.

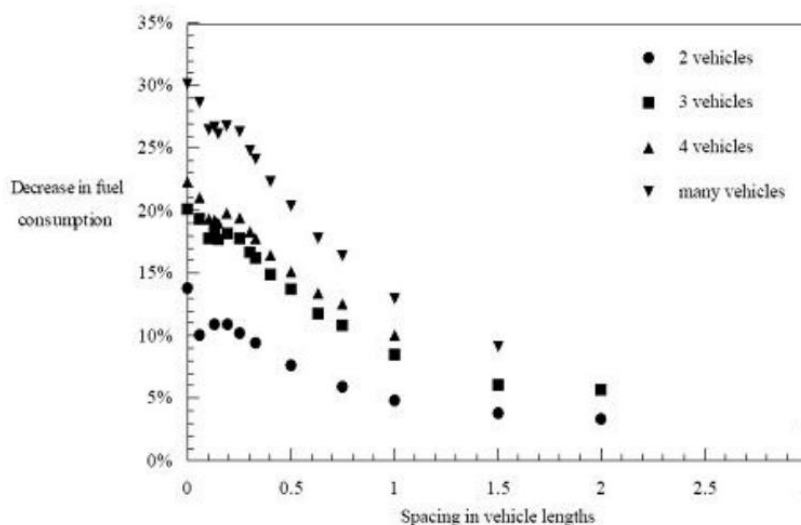


A Here I Am Vehicles is driven manually, but it is equipped with a DSRC radio that frequently broadcasts a "here I am" message giving its location and speed. If it is being followed by a CACC vehicle, that following vehicle can use CACC.

Figuur 4.5: Effect van CACC op de capaciteit van een rijstrook (bron: Shladover et al. 2012)

Een verbetering van het brandstofverbruik kan ook worden verwacht met de inzet van CACC. Zabat et al. (1995) toonde aan dat korte volgafstanden het benzineverbruik in een peloton CACC-voertuigen meer dan 10% kan reduceren (zie Figuur 4.6). Het SARTRE-project (Dávila en Nombela, 2010) bevestigde de actualiteit van het onderzoek van Zabat et al. Van Arem en van Driel Visser (2006) gaven aan dat besparingen tot wel 20% mogelijk kunnen zijn.

De reductie in uitstoot van CO₂-emissie kan evenredig worden aangenomen aan de reductie van het brandstofgebruik. Het is ook te verwachten dat de uitstoot van andere emissies zal zakken, door een meer constante snelheid, waardoor minder acceleratiebewegingen nodig zijn, die vaak gepaard gaan met een hogere uitstoot. Deze zijn echter nauwelijks beschreven in literatuur.



Figuur 4.6: Effect van de volgfstand bij CACC op het brandstofverbruik (Zabat et al.,1995)

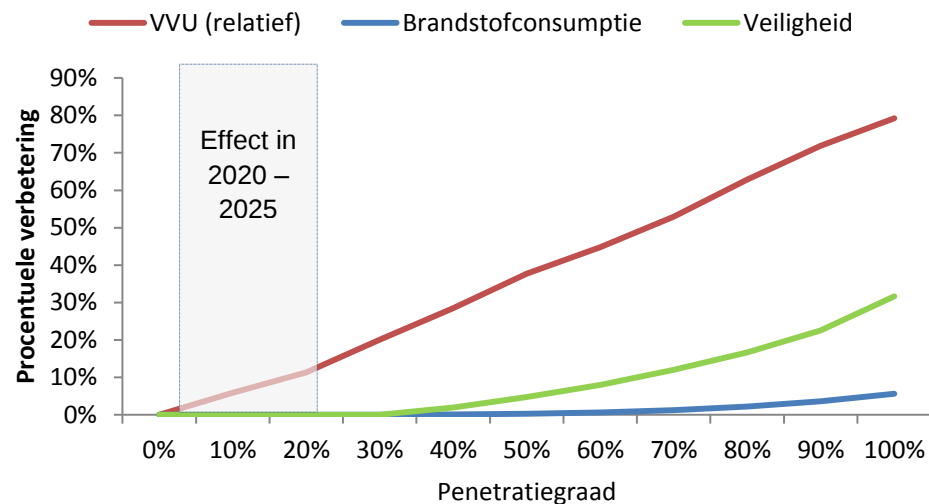
Er wordt een verbetering verwacht op het gebied van verkeersveiligheid door het gebruik van CACC. Dit komt met name door het overnemen van veiligheidsgevoelige taken van bestuurders door een de auto. Circa 90%-95% van de ongevallen komt door menselijk falen (Brown, 2005). Een groot deel van de ongevallen op Nederlandse wegen wordt door kop-staart botsingen veroorzaakt (zie hoofdstuk 2). Juist dit soort ongevallen kunnen sterk gereduceerd worden door CACC, omdat dankzij CACC snel en adequaat wordt gereageerd op rembewegingen van voorliggers en daarmee kop-staart botsingen worden voorkomen. Net als bij truck platooning is het echter lastig om een goede kwantitatieve inschatting te maken van de verbeteringen. Er kan hooguit aan de hand van het aantal kop-staartbotsingen, dat bekend is, een inschatting worden gemaakt van het aantal te vermijden ongevallen. Bovendien is het ook onbekend of nieuwe soorten ongevallen kunnen optreden door fouten van een CACC-systeem.

4.2.4 Opschaling effecten voor de A15

Figuur 4.7 toont de resultaten voor de A15 voor verschillende penetratiegraden van CACC. Bij lage penetratiegraden is het moeilijker om pelotons te vormen en zijn de verwachte baten dus ook lager.

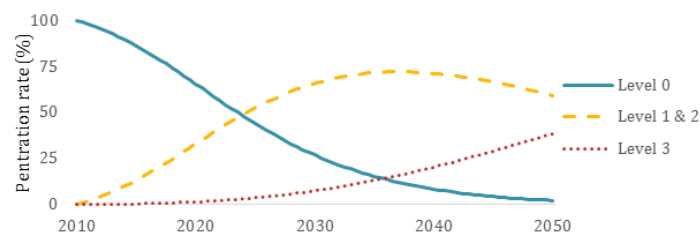
Het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer neemt af doordat de capaciteit als gevolg van pelotonvorming toeneemt. Bij hoge penetratiegraden kunnen zeer grote capaciteitswinsten worden bereikt⁵. Bij lage penetratiegraden is de toename in capaciteit klein, maar kleine toenames in de capaciteit hebben toch al een effect op de files (voertuigverliesuren) zoals blijkt uit de figuur omdat dan de capaciteit op sommige locaties net niet wordt overschreden of files later ontstaan en eerder weer oplossen. De effecten op veiligheid in deze figuur hebben betrekking op het totale verkeer.

⁵ Secundaire effecten: veranderingen in de vervoervraag als gevolg van een kortere reistijd zijn niet meegenomen. Mogelijk neemt de vraag weer toe waardoor de afname in voertuigverliesuren kleiner kan zijn.



Figuur 4.7: Resultaten pelotonvorming personenauto's via CACC

Figuur 4.8 toont de verwachte penetratiegraad van verschillende niveaus van automatische voertuigen over de tijd. CACC valt in de categorie level 1&2 (gele lijn). Het percentage CACC-voertuigen in Nederland is nu lager dan de figuur voor 2016 aangeeft. De penetratiegraad voor CACC zal in de periode tot 2025 naar verwachting dus lager zijn dan de figuur aangeeft. De curves moeten dus een stuk naar rechts worden verschoven (expertinschatting workshop – start vanaf 2020). Het grijze blok Figuur 4.7 geeft indicatief de range weer waarin de effecten kunnen liggen in 2020-2025.



Figuur 4.8: Penetratiegraad van niveau 0, 1/2, 3 automatische voertuigen (Afgeleid uit Nieuwenhuijsen, 2015). CACC valt in de categorie level 1&2.

Figuur 4.9 laat de absolute verwachte afname van voertuigverliesuren op de A15 als gevolg van CACC zien in 2020-2025.



Figuur 4.9: Verwachte afname van voertuigverliesuren van het vrachtverkeer op de A15 als gevolg van CACC in 2020-2025 bij een penetratiegraad van 10%; exclusief vraageffecten⁵

4.3 Maatregel 3 Schokgolfdemping

4.3.1 Beschrijving maatregel

Naast reguliere knelpuntfiles bestaan ook schokgolffiles. Dit zijn gebieden van filevorming die stroomopwaarts bewegen. Het is gebleken uit onderzoek dat de uitstroom uit deze files aanzienlijk lager is dan de instroom, zodanig dat men in deze files kan spreken van een capaciteitsval. Volgens onderzoek van Kerner en Rehborn (1996) kan dit tot wel 30% schelen in de operationele capaciteit van een weg. Daarnaast leiden schokgolffiles tot onveilige stop-start bewegingen van voertuigen en veroorzaken extra emissies door de extra optrekbewegingen. Schokgolffiles kunnen verschillende oorzaken hebben die sterk gerelateerd kunnen zijn aan de locatie waar de file ontstaat. Wel heeft de oorsprong vaak te maken met een verstoring van de verkeersstroom. Soms kan dit op een willekeurige plek zijn, waarbij het verkeer verstoord wordt door bijvoorbeeld een spontane rembeweging van een bestuurder. Maar ze kunnen ook regelmatig op dezelfde plekken ontstaan en dagelijks voorkomen, zoals bij weefvakken, waarbij het verkeer vaak wel door kan rijden, maar waar met enige regelmaat korte heftige snelheidsverlagingen ontstaan in de verkeersstromen.

Er zijn verschillende manieren om schokgolffiles aan te pakken. Hegyi en Hoogendoorn (2010) geven aan dat er twee belangrijke methodes zijn: het voorkomen van het ontstaan van de file of het dempen van de schokgolffile door verkeerhomogenisering. Het is niet altijd mogelijk om schokgolven te voorkomen, door bijvoorbeeld onevenredige investeringskosten of fysiek ruimtegebrek ter hoogte van het knelpunt. We richten ons daarom op homogenisering. Homogenisering van het verkeer houdt in dat snelheids- en dichtheidsverschillen in het verkeer worden afgezwakt, ofwel gedempt, dusdanig dat de file ophoudt te bestaan. Er zijn verschillende manieren om deze files te dempen. Hier wordt aangenomen dat dit het beste gedaan kan worden door het geven van snelheidsadviezen of snelheidsbevelen aan bestuurders. Snelheidsadvies is met de huidige technologie al mogelijk en de effectieve werking is al aangetoond (Hegyi et al., 2005). Bij het project Dynamax is voor het eerst op grote schaal op de A12 schokgolfdemping via maximumsnelheidsaanpassingen via de matrixborden boven de weg getest (wegkantsystemen). Bij het Spookfile-project op de A58 wordt schokgolfdemping via in-car systemen getest.

4.3.2 Voorwaarden Schokgolfdemping

Schokgolfdemping kan lokaal worden toegepast, maar indien er een landelijke toepassing komt, kan sneller een hoge penetratiegraad worden gehaald.

Schokgolfdemping kan via wegkantsystemen (snelheidsadvies boven de weg) en in-car worden uitgevoerd (via snelheidsadvies of CACC). Via wegkantsystemen kan een hogere penetratiegraad worden behaald. Uit testen in 2011 op de A270 waarbij wegkantsystemen (voor detectie van schokgolven) communiceerden met een beperkt aantal met CACC of snelheidsadvies uitgeruste voertuigen bleek dat bij een penetratiegraad van 10% al schokgolven gedempt werden (Netten et al., 2011). Daar is echter maar naar 1 rijstrook gekeken. Afhankelijk van de techniek vraagt 10% opvolging een hogere penetratiegraad omdat niet iedereen het advies opvolgt. Mogelijk kan ook al bij lagere opvolgingspercentages effect worden bereikt. Dit is echter niet getest op de A270.

Voor schokgolfdemping is data nodig om de schokgolven te kunnen detecteren. Dit kan via floating car data en via wegkantinfrastuctuur. Tevens is communicatie tussen de wegkantsystemen/dienstenplatform en de voertuigen nodig. De voertuigen moeten beschikken over een on board unit of een app op een smartphone.

4.3.3 Effecten volgens de literatuur

Bepaling van de effecten van schokgolfdemping is lastig, omdat het effect sterk afhankelijk is van de lokale verkeersomstandigheden en de gebruikte algoritmieken. Toch zijn er verschillende studies die duidelijk de voordelen van schokgolfdemping hebben laten zien (Yun, 2011; Papageorgiou et al, 2008). In onze studie maken we gebruik van studies naar de effecten van schokgolfdemping op de A12 in Nederland, omdat deze studies veel gelijkenissen hebben met de A15, waar we hier naar kijken. Uit empirisch onderzoek voor de A12 bleek het mogelijk om 60% van de files te dempen, waarvan circa 77% van de schokgolffiles (Hegyi en Hoogendoorn, 2010). In Meng et al. (2011) wordt vooral ingegaan op de effecten op de verkeersdoorstroming en voertuigdynamiek om emissie-effecten te bepalen. Uit het werk van Meng et al. (2011) kan worden afgeleid dat door schokgolffiles te dempen, een snelheidsverhoging kan worden gerealiseerd van circa 0,6% met een verhoogde uitstroom van bijna 5%. Het effect op het brandstofgebruik de uitstoot van CO₂-emissies van 0,5%. Hoewel het te verwachten is dat overige emissies beïnvloed worden door de maatregel, laat literatuur zien dat deze effecten gering zijn.

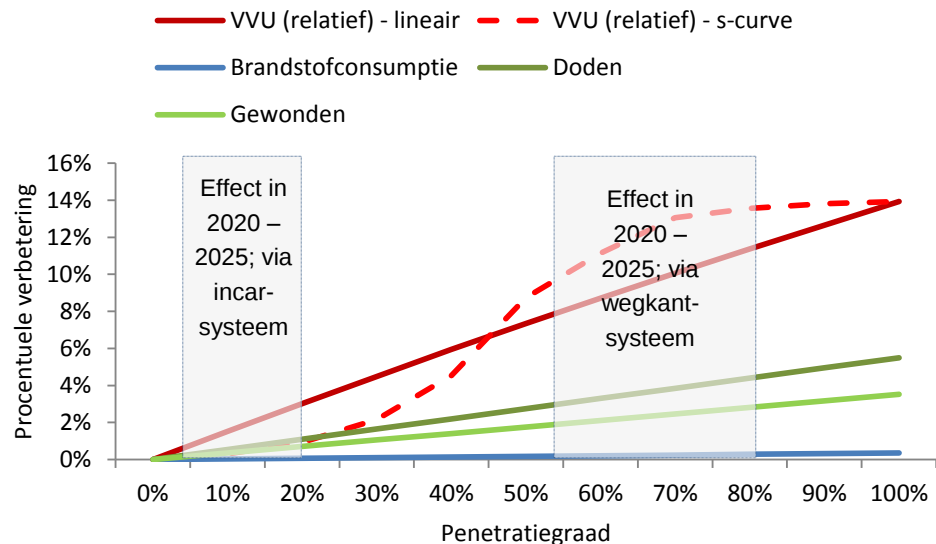
In een Europese studie naar de veiligheidseffecten van schokgolfdemping, wordt aangegeven dat dodelijke ongevallen met zo'n 7,8% gereduceerd kunnen worden en overige ongevallen met circa 5% (VTT, TRL, 2008).

4.3.4 Opschaling effecten voor de A15

Figuur 4.10 toont de resultaten voor de A15 voor verschillende penetratiegraden van Schokgolfdemping. Het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer neemt af doordat de schokgolffiles verminderen op de locaties waar schokgolven voorkomen⁶. Ook nemen de files als gevolg van incidenten af. In de figuur zijn twee lijnen getekend voor de afname van voertuigverliesuren. De eerste lijn gaat uit van

⁶ Secundaire effecten: veranderingen in de vervoervraag als gevolg van een kortere reistijd zijn niet meegenomen. Mogelijk neemt de vraag weer toe waardoor de afname in voertuigverliesuren kleiner kan zijn.

een lineair verband (doorgetrokken lijn) en de tweede lijn gaat uit van een s-curve (gestippelde lijn) waarbij vanaf 10% penetratiegraad een effect begint op te treden. De veronderstelling hierbij is dat als slechts enkele voertuigen hun snelheid aanpassen en het overige verkeer dus nog gewoon doorrijdt, de schokgolven niet worden gedempt. Vanaf 70% penetratiegraad is verondersteld dat afvlakking optreedt (grootste effect is behaald). Dit is indicatief omdat in de literatuur niet bekend is wat de relatie is tussen de penetratiegraad en het effect op snelheid en capaciteit.



Figuur 4.10: Resultaten Schokgolfdemping

De verwachte penetratiegraad over 3 tot 5 jaar is afhankelijk van de vorm waarin snelheidsadviezen worden gegeven. Met wegkantssystemen kan een hoge penetratiegraad worden gehaald. Niet iedereen zal de adviezen echter opvolgen. Indien via in-car systemen een snelheidsadvies wordt gegeven is de penetratiegraad naar verwachting lager. Ook bij in-car systemen zal niet iedereen de adviezen opvolgen.

Figuur 4.11 laat de absolute verwachte afname van voertuigverliesuren op de A15 als gevolg van schokgolfdemping zien in 2025 op basis van de lineaire curve bij een in-car implementatie. Bij een wegkant-implementatie kan op het deel van de A15 met signalering een groter effect worden behaald.



Figuur 4.11: Verwachte afname van voertuigverliesuren van het vrachtverkeer op de A15 als gevolg van schokgolfdemping in 2020-2025 bij een penetratiegraad van 15%; exclusief vraageffecten⁶

4.4 Maatregel 4 Smart routing

4.4.1 Beschrijving maatregel

Smart routing is een maatregel waarbij automobilisten vooraf en tijdens de rit real-time en voorspelde informatie krijgen over de op dat moment handigste en snelste route. Het verkeer wordt zo goed mogelijk verspreid over het netwerk op basis van persoonlijke voorkeuren (kortste route, snelste route, vaste route, zo weinig mogelijk congestie, hoofdwegen etc.), op basis van eerder gegeven route-adviezen aan de bestuurder zelf en aan andere bestuurders en op basis van inzicht in de files en restcapaciteiten.

In 2014 en 2015 is hiermee een grootschalige proef uitgevoerd rond Amsterdam: de Praktijkproef Amsterdam. Deze proef was uitgevoerd voor het personenverkeer. Enerzijds profiteert het vrachtverkeer van verbeteringen in de doorstroming als het personenverkeer slim wordt gerouteerd. Anderzijds is het mogelijk om ook voor het vrachtverkeer een smart routing applicatie te ontwikkelen. Voor het vrachtverkeer kunnen zelfs slimmere algoritmes ontwikkeld worden die bijvoorbeeld rekeningen houden met de wachttijden bij terminals en de noodzaak om in een bepaald tijdsvenster bij de bestemming aan te komen. Als er weinig haast is kan vrachtverkeer bijvoorbeeld tijdelijk naar een bufferlocatie gerouteerd worden of over een minder snelle, maar misschien wel kortere route worden gestuurd waar geen congestie is. Voorwaarde is uiteraard wel dat routes geadviseerd worden die voor de betreffende voertuigen ook aantrekkelijk zijn.

4.4.2 Voorwaarden Smart routing

Om een smart routing toepassing op grote schaal te realiseren moet een groot deel van het verkeer uitgerust worden met een navigatieservice waarin smart routing is opgenomen. Voor vrachtwagens dient aangesloten te worden bij de systemen in de vrachtwagens. Tevens is een centraal systeem nodig dat de slimme route-adviezen geeft.

Het is mogelijk om klein te beginnen met een aantal vervoerders. Iedereen die deelneemt, kan immers al profiteren op basis van meer en betere informatie (dan bijvoorbeeld alleen real-time verkeersinformatie via een serviceprovider) en kortere wachttijden.

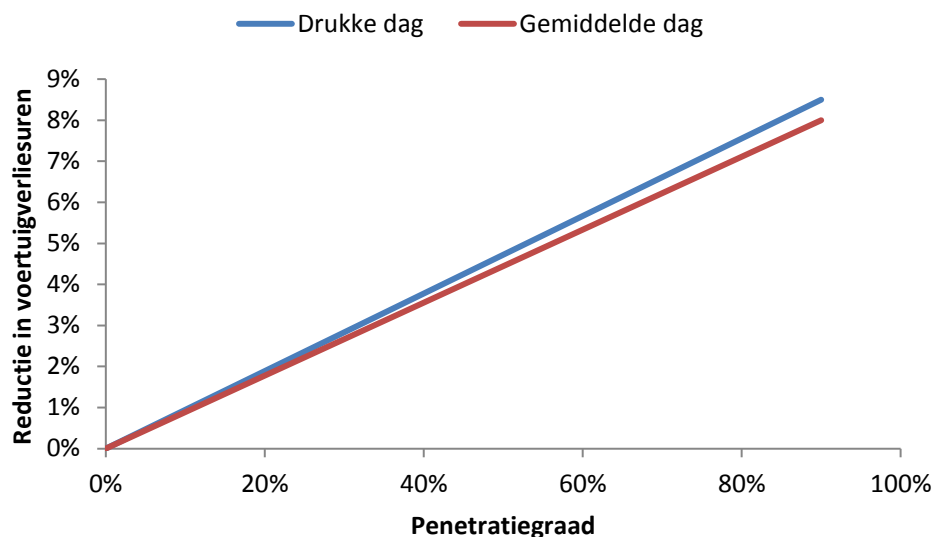
Smart routing is een applicatie die niet beperkt blijft tot één corridor. Er moet juist ook informatie beschikbaar zijn over de alternatieve routes. Zo is het mogelijk om

verkeer van de A15 naar andere routes te sturen. De A15 kan ook als alternatief dienen bij verstoringen op de andere routes.

4.4.3 Effecten volgens de literatuur

In de literatuur is nog weinig bekend over de effecten van Smart routing. Voor het gebied van de Praktijkproef Amsterdam heeft (Klunder, nog niet verschenen) verkennende simulaties uitgevoerd waarbij de penetratiegraad van smartrouting, de kwaliteit van de data en de databeschikbaarheid is gevarieerd voor een drukke dag en voor een gemiddelde dag. Figuur 4.12 laat de resultaten zien voor een situatie met volledige databeschikbaarheid en 100% goede kwaliteit van de data. De reductie in voertuigverliesuren is op beide dagen bijna gelijk. Uiteraard hangen deze resultaten samen met de beschikbaarheid en restcapaciteit op alternatieve routes. Voor de gesimuleerde dagen geldt in ieder geval dat daar weinig verschil tussen zit. Enerzijds is de verwachting dat op de drukste dagen en vooral ook bij incidentsituaties de grootste reistijdwinsten zijn te verwachten. Anderzijds is het op deze dagen ook drukker op alternatieve routes.

Het is van belang om hierbij op te merken dat de in de figuur getoonde percentages een totale afname van de voertuigverliesuren betreft. Individuele voertuigen kunnen veel grotere reistijdwinsten bepalen.



Figuur 4.12: Gesimuleerde effect van Smart Routing voor Amsterdam en omgeving (gebaseerd op Klunder, nog niet verschenen).

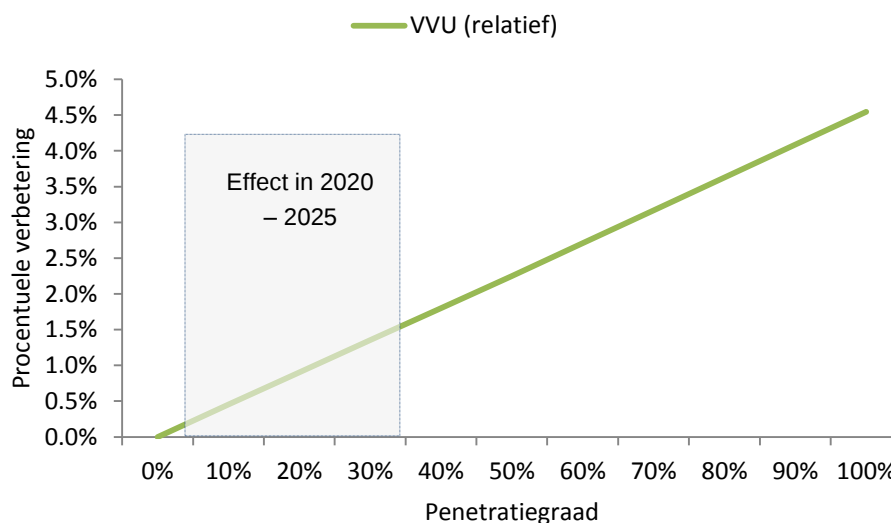
Effecten op voertuigkilometers en daarmee op brandstofverbruik, emissies en deels ook veiligheid zijn niet bepaald in de betreffende studie.

4.4.4 Opschaling effecten voor de A15

Om de effecten van Smart routing op te schalen naar de A15 is een analyse nodig van de route-alternatieven voor de A15, de restcapaciteit op die routes en de verwachte reistijden op die routes. Om dit te bepalen is een simulatiestudie nodig zoals gepresenteerd in de vorige paragraaf. Het is namelijk van belang om te weten wat de herkomsten en bestemmingen van het vracht verkeer op de A15 zijn. Daarnaast maakt het uit hoe ver een vrachtwagen al onderweg is om te bepalen wat geschikte route-alternatieven zijn. Omdat simulaties geen onderdeel uit maken

van dit project zijn de resultaten voor Amsterdam rechtstreeks op de A15 toegepast en is een kwalitatieve analyse toegevoegd.

Figuur 4.13 geeft een indicatie van het potentieel van een smart routing toepassing voor al het verkeer⁷. De potentiële reductie in voertuigverliesuren is kleiner dan in de simulaties van Amsterdam omdat verondersteld is dat smart routing geen invloed heeft op schokgolven en ook niet op langzaam rijdend verkeer tussen de 70 – 100 km/uur. Dat deel, ongeveer 50%, van de voertuigverliesuren blijft dus bestaan. Als de vertraging door schokgolven en langzaam rijden groot genoeg is om alternatieve routes aantrekkelijk te maken, kan het effect van smart routing dus nog iets groter zijn.



Figuur 4.13: Resultaten Smart routing

Uit de analyse van voertuigverliesuren voor de A15 blijkt dat het grootste gedeelte van de voertuigverliesuren ontstaat tussen knooppunt Ridderkerk en Gorinchem en tussen de aansluiting N57 en knooppunt Benelux/knooppunt Vaanplein (zie hoofdstuk 2). Voor het vrachtverkeer zijn van en naar de haven voor dit laatste deel van de A15 weinig route-alternatieven beschikbaar. De route-alternatieven die er zijn, hebben zeer beperkte restcapaciteit. Wel is het mogelijk om een nieuw smart routing concept te ontwikkelen waarbij vrachtverkeer wordt geïnformeerd over wachttijden bij terminals en naar bufferlocaties wordt gerouteerd indien zij nog niet op hun bestemming aan hoeven te komen. Hierdoor kan ander vrachtverkeer profiteren. Voor het eerst genoemde traject zijn voor lange-afstandsverplaatsingen meer route-alternatieven beschikbaar (afhankelijk van de bestemming). De A12 en zuidelijkere corridors via de A58 of de A59 hebben echter ook weinig restcapaciteit. Desondanks kan het voor deze locaties wel degelijk zin hebben om het vracht- en personenautoverkeer beter te spreiden. Mogelijk zijn hier de resultaten zoals weergegeven in Figuur 4.13 te realiseren. Om preciezere resultaten te krijgen zijn simulatie runs nodig.

⁷ Secundaire effecten: veranderingen in de vervoervraag als gevolg van een kortere reistijd zijn niet meegenomen. Mogelijk neemt de vraag weer toe waardoor de afname in voertuigverliesuren kleiner kan zijn.

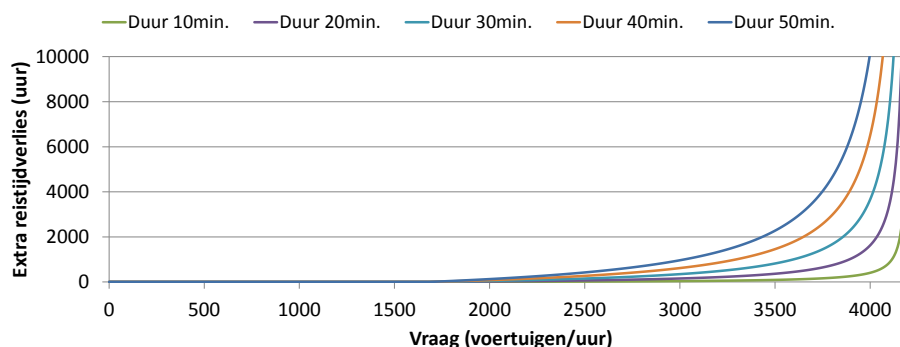
Tot slot maakt smart routing het ook mogelijk om over de hele A15 voertuigverliesuren als gevolg van incidenten te voorkomen. Het is daarvoor wel cruciaal dat incidenten worden gedetecteerd en doorgegeven.

4.5 Potentie incident management en hazardous location warning

Hazardous location warning is een verzamelnaam voor waarschuwingssystemen voor gevaarlijke situaties (bijvoorbeeld stilstaand verkeer, gladheid, dieren op de weg etc.) waar het verkeer op afrijdt. Hiermee kunnen incidenten voor zowel het personen- als het vrachtverkeer worden voorkomen. Dit kan via systemen boven de weg of in het voertuig. Aangezien met de matrixborden boven de weg al kan worden gewaarschuwd voor situaties waar al file is stroomafwaarts, zal het inzetten nieuwe waarschuwingssystemen dus vooral effect hebben op het deel van de A15 waar geen signalering is. In paragraaf 2.3 is aangegeven dat ongeveer 23% van de incidenten en ongevallen op de A15 plaatsvindt op wegen zonder signalering. Vooral kop/staart botsingen en aanrijdingen met dieren kunnen voorkomen worden. Dit betreft ongeveer 40% van de ongevallen, waarvan uiteraard maar een deel door waarschuwingssystemen voorkomen kan worden. Gemiddeld leidt een ongeval ongeveer tot 390 voertuigverliesuren (Snelder en Drolenga, 2011). Ook dit is voor het gedeelte van de A15 zonder signalering een bovengrens omdat hier maar 2 rijstroken zijn en de intensiteit dus relatief laag is. Een bovengrens voor het te besparen aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer is dan ongeveer 11000 uur ($1220 \text{ ongevallen} * 23\% * 40\% * 390 * 25\% \text{ vrachtverkeer}$). Dit is een reductie van maximaal 5%.

ITS-maatregelen gericht op incident management, zoals eCall en andere incidentdetectiesystemen kunnen de economische schade als gevolg van incidenten ook beperken. Dat is gunstig bij alle incidenten, maar zeker als het incidenten met vrachtwagens betreft. Het gaat daarbij om hoogtemeldingen, lekke banden, overbelading, ongevallen etc. Het oostelijke deel van de A15 heeft nog geen Incident Management Plus (IM+).

Figuur 4.14 geeft een indicatie van de duur van een incident op het aantal voertuigverliesuren als gevolg van een incident waarbij 1 rijstrook is afgesloten. In dit voorbeeld is een weg beschouwd met 2 rijstroken en is de vraag gevarieerd. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat een 10 minuten kortere afhandelingsduur het aantal voertuigverliesuren met 35% tot 75% kan reduceren. Voor 5 minuten is dit 25% - 35%. En voor 1 minuut is dit ongeveer 10%. Aangezien 15%-28% van alle voertuigverliesuren op de A15 door incidenten komen, kan hier dus een deel van worden gereduceerd.



Figuur 4.14: Invloed van de duur van een incident op de voertuigverliesuren als gevolg van een incident.

4.6 Conclusies effect maatregelen

Impact truck platooning

Truck platooning heeft de potentie om allerlei voordelen te bieden waaronder verbetering van verkeersveiligheid, productiviteitsverbetering door minder stilstand bij pauze en doordat de chauffeurs in de volgende voertuigen hun tijd anders kunnen besteden of zelfs helemaal niet meer aanwezig hoeven te zijn. Gemiddeld gezien zal het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer en de brandstofconsumptie en CO₂-uitstoot tot en met 2035 slechts ongeveer 1% afnemen uitgaande van een penetratiegraad van maximaal 30%. Dit is een gemiddelde. Vrachtwagens die deel uitmaken van pelotons ervaren meer voordeel. Bij hogere penetratiegraden zijn grotere effecten te verwachten. Tot slot kan truck platooning logistieke processen verbeteren.

Impact pelotonvorming personenauto's via CACC

Deze maatregel is gericht op personenauto's. Aangezien het grootste gedeelte van het verkeer bestaat uit personenauto's, heeft deze maatregel voor het vrachtverkeer een groter positief effect op de voertuigverliesuren dan truck platooning: een afname tot 10% in de periode tot en met 2025 afhankelijk van de penetratiegraad die kan worden gehaald. De effecten op brandstofconsumptie, emissies en veiligheid zijn voor het vrachtverkeer klein, omdat de maatregel gericht is op het personenverkeer.

Impact schokgolfdemping

Schokgolfdemping is een maatregel die op verschillende manieren kan worden gerealiseerd en al in een proef is toegepast op de A12 en A58. Het verwachte effect is afhankelijk van de vorm waarin snelheidsadviezen worden gegeven. Met wegkantssystemen kan een hoge penetratiegraad worden gehaald en dit kan op korte termijn worden gerealiseerd op het deel van de A15 met signalering. Voor het vrachtverkeer kan deze maatregel de voertuigverliesuren met 10% tot 14% reduceren. Met in-car systemen is het verwachte effect op de korte termijn (3 tot 5 jaar) lager omdat daarbij een lagere penetratiegraad kan worden gehaald. Tevens zijn kleine verbeteringen in veiligheid mogelijk.

Impact smart routing

Smart routing kan het aantal voertuigverliesuren voor het totale vrachtverkeer tot 5% reduceren op de hele A15. Op de A15 tussen Gorinchem en Ridderkerk zijn

waarschijnlijk grotere winsten te bepalen (10% tot 15%). Individuele deelnemende vrachtwagens kunnen in het bijzonder bij verstoringen grotere tijdwinsten behalen. Tot op heden is er geen speciale vorm van smart routing voor het vrachtverkeer beschikbaar. Het is mogelijk om veel meer informatie over bijvoorbeeld wachttijden bij terminals etc. te verstrekken. Tevens kan anders gerouteerd worden dan bij personenauto's omdat vrachtwagens andere afwegingen maken bij vertrektijdstipkeuze en routekeuze. Zeker op de locaties van de A15 met hoge vrachtpercentages kan dit effect sorteren.

Tot slot kunnen ITS-maatregelen gericht op het voorkomen van incidenten of het verkorten van de afhandelingsduur van incidenten de 'incident-voertuigverliesuren' voor het vrachtverkeer met een paar procent reduceren.

5 Implementatie maatregelen

Dit hoofdstuk benoemt een aantal keuzes die gemaakt moeten worden om de maatregelen te kunnen implementeren.

1. Keuze voor techniek: er zijn verschillende opties voor technische implementatie van de maatregelen. Deze hebben uiteraard invloed op de hoogte van de investeringen, en in veel gevallen ook op de operationele. Twee fundamentele keuzes betreffen:
 - a. De keuze voor het communicatienetwerk: wordt er gekozen voor communicatie via wegkantinfrastuctuur (ITS G5), via het mobiele netwerk (3G en 4G) of via beide (hybride)? Deze keuze is afhankelijk van welke maatregelen geïmplementeerd worden. Bij truck platooning en pelotonvorming personenauto's via CACC kunnen de voertuigen direct met elkaar communiceren en is een apart communicatienetwerk niet noodzakelijk.
 - b. Maken de diensten gebruik van een OBU (On Board Unit, met ITS G5 communicatie), van een smartphone, of is beide mogelijk?
Zie Tabel 5.1 voor een overzicht van de mogelijkheden en eisen.
2. Keuze van maatregelen en penetratie: niet voor alle maatregelen is een OBU vereist. Smart routing maakt bijvoorbeeld gebruik van smartphones. De meeste bestuurders beschikken reeds over een smartphone, zodat hiervoor geen investeringen nodig zijn. Voor schokgolfdemping is het wenselijk, maar niet noodzakelijk, om wegkantinfrastuctuur te implementeren. Deze kan vervolgens hergebruikt worden voor andere diensten (denk bijvoorbeeld aan diensten als hazardous location warning en in vehicle signage).

In Tabel 5.1 is een overzicht gegeven van de eisen aan implementatie voor de vier uitgewerkte maatregelen.

Tabel 5.1: implementatie-eisen

Maatregel	Penetratie	In car hardware	Netwerk
Truck platooning & pelotonvorming personenauto's	Geleidelijke groei	ITS G5 OBU vereist om op de besturing van het voertuig in te kunnen grijpen	Geen wegkant nodig
Schokgolfdemping	Zo hoog mogelijk	ITS G5 OBU gewenst voor snelheidsadvies, hybride opties met smartphone	ITS G5 via wegkant gewenst
Smart Routing	Zo hoog mogelijk Al snel voordelen voor gebruikers.	Via smartphone	Via mobiele netwerk (3/4G)

3. Keuze van het business model: welke partij vult welke rol in, en wie betaalt welk deel van de investeringen? Wat wordt betaald door de voertuigeigenaar, wat door de overheid en wat wordt aan de markt overgelaten? Het ligt voor de

hand dat benodigde wegkantinfrastuctuur door de overheid wordt betaald. On board units kunnen bij truck platooning door de logistieke dienstverlener betaald worden. Maar bij een dienst als schokgolfdamping zal de individuele weggebruiker minder geneigd zijn hierin te investeren, omdat met deze maatregel vooral maatschappelijke belangen worden gediend en er mogelijk pas significante effecten optreedt bij een behoorlijke penetratie (zie paragraaf 4.3.3). Ook marktpartijen zullen een rol hebben, bijvoorbeeld voor het leveren van diensten, of voor de communicatie.

De grootste investeringen voor truck platooning, pelotonvorming personenauto's via CACC en schokgolfdamping zullen zitten in de OBU en het verder uitrusten van de voertuigen met radar, lidar, camera's en de wireless voertuig-voertuig communicatie. In de ontwikkelfase zullen de investeringen per voertuig hoog zijn en bij grootschalige implementatie steeds lager worden. Daarbij schat Roland Berger in dat met name de softwareontwikkeling voor platooning veruit de grootste kostencomponent zal zijn, in een verhouding 15:85 (hardware:software) (Roland Berger, 2016).

Voor schokgolfdamping is het wenselijk om wegkantinfrastuctuur voor ITS G5 communicatie tussen voertuigen en wegkant te implementeren. Hierbij moet rekening worden gehouden met de kosten voor een wegkantunit en installatiekosten. Deze units moeten om de 500 meter worden geplaatst. Daarnaast zijn voor het traject goederencorridor Oost naar schatting 5 servers nodig. De wegkantssystemen en servers moeten worden aangesloten op elektriciteit en een communicatienetwerk.

Naast de investeringen in hardware zullen er ook investeringen moeten worden gedaan in ontwikkeling van bijvoorbeeld een dienstenplatform, marketing en voorlichting, en zijn er projectkosten.

Voor smart routing kan gebruik worden gemaakt van smartphones en het bestaande mobiele communicatienetwerk. Er hoeft voor deze maatregel dus niet geïnvesteerd te worden in OBU's en wegkantinfrastuctuur. De kosten zullen vooral bestaan uit operationele kosten voor bijvoorbeeld hosting, een helpdesk en licenties voor kaartdata. Daarnaast hebben de gebruikers data-kosten.

6 Stap 4: globale inventarisatie corridor Zuid, Duitsland en multimodaal

In de voorgaande hoofdstukken is uitgebreid ingegaan op de potentiële effecten van ITS-maatregelen voor het wegtransport. Dit hoofdstuk gaat in op uitbreiding naar de goederenvervoercorridor Zuid (paragraaf 6.1), het Duitse gedeelte van de goederencorridor Oost (paragraaf 6.2) en een multimodale aanpak voor de corridor Oost (paragraaf 6.3).

6.1 Goederenvervoercorridor Zuid

De aanpak die gebruikt is voor de corridor Oost kan ook gebruikt worden om een analyse te maken voor de corridor Zuid (A16/ A58/ A67). Een belangrijk verschil is dat er op de corridor Zuid al diverse projecten zijn geïnitieerd waar enerzijds rekening mee moet worden gehouden en waaruit anderzijds lessen geleerd kunnen worden over de verwachte impact. Voorbeelden van projecten/programma's zijn de 'ITS-corridor Rotterdam-Frankfurt-Wenen', het 'Smart mobility deelprogramma van Smartwayz.nl', de 'A58 spookfiles', 'CACC-proef in Helmond' en het 'Hybride testbed (Beter Benutten)'. Er zijn ook vele stakeholders actief: gemeentes, ITS-bureau Brabant, brainport netwerk, etc.

Een aanpak voor de corridor Zuid bestaat daarom uit het betrekken van meerdere partijen om een volledig overzicht te krijgen van alle projecten en om draagvlak te verkrijgen. Hierbij wordt specifiek aandacht besteed aan het goederenvervoerperspectief. Op deze manier kunnen de meest kansrijke maatregelen voor de corridor Zuid voor het goederenvervoer worden geselecteerd en met de ITS-quickscantool worden doorgerekend. Hierbij is tevens een data-analyse nodig zoals uitgevoerd voor de corridor Oost. Een inhoudelijk aandachtspunt hierbij is dat het niet meer voldoende is om één weg te analyseren, maar dat meerdere wegen in samenhang moeten worden beschouwd, onder andere om rekening te houden met fileterugslag en alternatieve routes.

6.2 Goederenvervoercorridor Oost – Duitsland

De aanpak die gebruikt is voor het Nederlandse deel van de corridor Oost kan grotendeels ook gebruikt worden voor uitbreiding naar het Duitse deel van de corridor Oost tot Duisburg. Een belangrijk verschil is dat TNO niet over lusdata beschikt van de Duitse wegen. In Duitsland zijn dergelijke gegevens echter wel beschikbaar. De eerste contacten zijn hiertoe reeds gelegd. Indien de benodigde data beschikbaar is kan een verkenning worden uitgevoerd. Een aandachtspunt hierbij is dat sommige maatregelen op uniforme wijze in Nederland en Duitsland moeten worden uitgevoerd.

6.3 Goederenvervoercorridor Oost - Multimodaal

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de vraag wat er voor nodig is om de potentiële effecten van ITS-maatregelen ook voor spoor en binnenvaart te bepalen. In vervolg hierop wordt aangegeven wat de potentiële effecten zijn als ITS maatregelen multimodaal beschouwd worden ("multimodaal netwerkmanagement").

Spoorgoederenvervoer

Daar waar een vrachtwagen in het algemeen de vrijheid heeft om zelf route en tijdstip van transport over het wegennet te bepalen en dit last minute zonder verdere afstemming met wie dan ook te kunnen wijzigen, geldt dit voor een goederentrein niet. Voor het rijden van een trein moet een treinpad (route op het spoornetwerk met een tijdslot) worden aangevraagd bij en vervolgens worden toegewezen door ProRail. Bij het rijden van de trein heeft de verkeersleiding van ProRail zicht op de locatie van de trein en weet de verkeersleiding of de trein binnen het toegewezen treinpad rijdt. Indien een trein buiten het tijdslot van het treinpad rijdt (plus of min 3 minuten) heeft de verkeersleiding van ProRail de mogelijkheid om de trein aan de kant te zetten waarna er gekeken wordt wanneer er een treinpad beschikbaar is waarin de trein verder kan rijden. Dit betekent dat het netwerkmanagement in handen ligt van ProRail en ProRail mogelijkheden heeft om (binnen een set afspraken) te sturen op het gebruik van het netwerk gericht op een optimale benutting van dit netwerk.

Als er naar een gehele corridor gekeken wordt, is er echter geen sprake van sturing op het gebruik van het gehele netwerk en is er sprake van verschillende manieren van sturing op verschillende delen van het netwerk. Zo heeft de verkeersleiding van ProRail geen zicht op de treinen in de haven van Rotterdam op de trajecten tussen terminals en emplacementen en worden deze treinen niet aangestuurd wat tot inefficiënt gebruik van het netwerk kan leiden. Daarnaast is de wijze van planning en besturing van het netwerk in Duitsland door DB Netz anders dan in Nederland waardoor afstemmingsproblemen ontstaan (werkwijze met treinpaden zoals in Nederland gebruikt wordt, wordt in Duitsland niet gebruikt).

Kortom, aan de ene kant is er voor het spoorvervoer sprake van netwerkmanagement door ProRail, aan de andere kant geldt dat dit (nog) niet werkt voor een gehele corridor. Momenteel lopen bij ProRail enkele projecten om meer zicht te krijgen op het proces tussen terminal en emplacement en op basis van deze informatie hier uiteindelijk ook beter rekening mee te kunnen houden en/of op te kunnen sturen. Daarnaast wordt vanuit de Europese Rhine – Alpine rail freight corridor – waarin o.a. ProRail vertegenwoordigd is – ingezet op een betere afstemming tussen landen en het realiseren van kwaliteitsverbeteringen. Ook bij spoor is er een ontwikkeling richting autonoom rijdende treinen. Met de ontwikkeling van ERTMS gaan treinen onderling communiceren en kunnen deze korter op elkaar gaan rijden. Een verdere ontwikkeling betreft Automatic Train Operations (ATO) waarbij treinen zelfstandig kunnen rijden (zie aankondiging in juni 2016 dat DB Cargo in samenwerking met ProRail op de Betuweroute een test gaat uitvoeren met een zelfrijdende trein).

Voor meer inzicht in de potentiële effecten van dit soort ITS-maatregelen is een inventarisatie nodig bij ProRail om te achterhalen of op basis van bestaande studies reeds een kwalitatieve dan wel een kwantitatieve analyse is gemaakt van de verwachte voordelen.

Binnenvaart

De binnenvaart lijkt weer meer op het wegtransport. Een binnenvaartschip kan zelf route en tijdstip van de reis bepalen. Bij bruggen en sluizen is communicatie tussen binnenvaart en Rijkswaterstaat wel van belang over bedieningstijden, verwachte passagetijden en verstoringen. Recent is hiervoor voor Rijkswaterstaat een

trajectplanner ontwikkeld. Hiermee kan Rijkswaterstaat inschatten hoe druk het bij een sluis wordt en krijgt de schipper een verwachte passagetijd voor één of meerdere sluispassages.

Een belangrijk probleem rond de binnenvaart betreft de afhandeling van de binnenvaart in de haven van Rotterdam. De wachttijden voor de binnenvaart zijn regelmatig zeer hoog en bovendien is de wachttijd en de afhandeltijd onbetrouwbaar. In het kader van o.a. NextLogic wordt aan een oplossing gewerkt. Met betrekking tot corridormanagement is in het Europese Corisma project de laatste jaren gewerkt aan de ontwikkeling van River Information Services (RIS) waarbij Rijkswaterstaat een van de partners in dit project is. In het COMEX-project worden de resultaten opgepakt en wordt gewerkt aan implementatie van corridormanagement.

Waar het gaat om het toepassen van nieuwe slimme concepten en technieken in de binnenvaart heeft BTB eind november een visie voor de binnenvaart gemaakt (Binnenvaart 3.0) waarbij zoveel mogelijk bestaande concepten en technieken gebruikt en gecombineerd worden.

Voor meer inzicht in de potentiële effecten van dit soort ITS-maatregelen is een inventarisatie nodig bij Rijkswaterstaat om te achterhalen of op basis van bestaande studies reeds een kwalitatieve dan wel een kwantitatieve analyse is gemaakt van de verwachte voordelen.

Multimodaal netwerkmanagement goederenvervoer

De ITS-maatregelen voor zowel het wegvervoer als voor spoor en binnenvaart richten zich in eerste instantie op het vlot, veilig en betrouwbaar laten verlopen van het verkeer over de desbetreffende netwerken. Een uitbreiding hiervan betreft de integratie en afstemming tussen logistieke processen en verkeersmanagement. Een voorbeeld van hoe dit kan werken betreft de Trajectplanner voor de binnenvaart. Deze trajectplanner is nu primair voor Rijkswaterstaat ontwikkeld om in te kunnen schatten hoe druk het wordt bij sluisen zodat sluiswachters weten wat er aan komt en daar op in kunnen spelen. De trajectplanner kan echter ook gebruikt worden om een betrouwbare ETA te bepalen voor schippers waarbij op basis van real-time data de verwachte passagetijd van één of meerdere sluispassages op een traject bepaald kan worden. Nog een stap verder (voor de langere termijn) is dat op basis van de logistieke processen gestuurd kan worden op sluispassages.

In het kader van de Topsector Logistiek zijn er enkele demonstratieprojecten ontwikkeld waarin gewerkt is aan de integratie tussen logistieke processen en verkeersmanagement.

Een nog verdere uitbreiding betreft de integratie tussen logistieke processen en verkeersmanagement niet alleen binnen modaliteiten, maar ook over de modaliteiten heen. Bij dit multimodale netwerkmanagement wordt afgestemd tussen logistieke processen van multimodale en/of synchro-modale ketens en het multimodale netwerkmanagement. Zeker op de corridor tussen Rotterdam en Duisburg zijn hiervoor veel mogelijkheden omdat voor elk van de modaliteiten verschillende route-alternatieven in het netwerk beschikbaar zijn.

Vanuit multimodaal netwerkmanagement kan aan verschillende opties gedacht worden:

- Informatievoorziening over verschillende alternatieven in het netwerk (verwachte reistijden op basis van drukte, fysieke kenmerken van alternatieven (hoogte, diepte, breedte, bedieningstijden, ...), geplande verstoringen met alternatieven en ongeplande verstoringen met prognose van de impact).
- Informatievoorziening over verschillende alternatieven in het netwerk – plus algemeen advies vanuit het perspectief van optimale benutting van het netwerk
- Informatievoorziening over verschillende alternatieven in het netwerk – plus advies op maat vanuit het perspectief van optimale benutting van het netwerk en vanuit het perspectief van het logistieke proces (snelheid, rekening houden met bekende wachttijd in haven, ...)
- Informatievoorziening over verschillende alternatieven in het netwerk – plus sturing op maat vanuit het perspectief van optimale benutting van het netwerk en vanuit het perspectief van het logistieke proces. Sturing kan in de vorm van afdwingen of verleiden met bepaalde incentives.

Voor de logistieke processen worden de informatievoorziening, de adviezen en/of de sturing gebruikt om deze processen te verbeteren. Andersom wordt vanuit de logistieke processen informatie gedeeld over omvang, modaliteit, route en tijdstip van vervoer waarmee binnen het multimodale netwerkmanagement rekening kan worden gehouden.

Om inzicht te verkrijgen in de potentiële voordelen van de integratie van logistieke processen en verkeersmanagement kunnen de bekende demonstratieprojecten worden geïnventariseerd. Tegelijkertijd zijn er nog niet zo heel veel van dit soort projecten en is het van belang dat er meer projecten komen waarbij deze aanpak uitgetoetst wordt en inzichtelijk wordt gemaakt hoe het werkt, wat er voor nodig is en welke voordelen het oplevert.

7 Conclusies en aanbevelingen

De afzonderlijke potentiële effecten van truck platooning, pelotonvorming personenauto's via CACC, schokgolfdemping en smart routing zijn met de ITS-quickscantool uitgewerkt. Hierbij is geen rekening gehouden met secundaire vraageffecten (toename in de vraag als gevolg van een verbeterde doorstroming). Daarnaast is een inschatting gemaakt van de potentie van incident management en hazardous location warning.

Conclusies

Op korte termijn van 3 tot 5 jaar zijn geen grote effecten van truck platooning, pelotonvorming personenauto's, smart routing en hazardous location warning te verwachten omdat deze systemen pas effectief worden bij hogere penetratiegraden. Wel is het mogelijk om op deze termijn via schokgolfdemping met wegkantssystemen voertuigverliesuren als gevolg van schokgolven te reduceren. Op het traject tussen Gorinchem en Papendrecht heeft dit naar verwachting het grootste effect. Op het oostelijk deel van de A15 kan IM+ worden geïmplementeerd. Tevens is het mogelijk om bij vertrek uit de Haven al een aantal veiligheidschecks te doen (bandenspanning, hoogte etc.) waardoor het aantal voertuigverliesuren als gevolg van incidenten kan afnemen.

Op langere termijn (bijvoorbeeld periode 10 tot 20 jaar) kunnen hogere penetratiegraden worden bereikt. Zeker schokgolfdemping en pelotonvorming van personenauto's via CACC kunnen dan het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer verder reduceren (met 10% tot 15%). Deze maatregelen hebben een sterke overlap, omdat CACC ook schokgolven dempt. Schokgolfdemping in dit rapport is uitgewerkt als een snelheidsadvies terwijl bij CACC de snelheid door het voertuig wordt bepaald. Schokgolfdemping in de vorm van advies kan sneller worden geïmplementeerd dan CACC.

Smart routing kan bij hogere penetratiegraden het aantal voertuigverliesuren voor het vrachtverkeer op delen van de A15 naar verwachting met 5% tot 15% reduceren. Individuele deelnemende vrachtwagens kunnen in het bijzonder bij verstoringen grotere tijdwinsten behalen.

Truck platooning heeft de potentie om allerlei voordelen te bieden waaronder verbetering van verkeersveiligheid, productiviteitsverbetering door minder stilstand bij pauze en doordat de chauffeurs in de volgende voertuigen hun tijd anders kunnen besteden of zelfs helemaal niet meer aanwezig hoeven te zijn. Daarnaast kan brandstof worden bespaard en kunnen logistieke processen verbeteren. Op korte termijn geldt dit voor de deelnemende vrachtwagens. Pas bij hogere penetratiegraden zijn effecten op de doorstroming te verwachten. Over de invloed van truck platooning op de verkeersafwikkeling bij op- en afritten en weefvakken is nog weinig bekend.

Tot slot kunnen ITS-maatregelen gericht op het voorkomen van incidenten of het verkorten van de afhandelingsduur van incidenten de 'incident-voertuigverliesuren' voor het vrachtverkeer met een paar procent reduceren.

Aanbevelingen

Om een grote impact te realiseren is een hoge penetratiegraad van de ITS-maatregelen nodig. In de workshop waren diverse experts sceptisch ten aanzien van de tijd die nodig is om een hoge penetratiegraad te bereiken. Het is aan te bevelen om na te gaan wat het Ministerie van Infrastructuur en Milieu kan doen om sneller tot hogere penetratiegraden en dus tot grotere effecten te komen door bijvoorbeeld te investeren in pilots op de A15 of door te investeren in maatregelen die de kosten van implementatie in de voertuigen reduceren.

Tevens is het aan te bevelen om na te gaan hoe ITS-maatregelen die niet in de besturing van het voertuig ingrijpen (schokgolfdemping via huidige wegkantsystemen, hazardous location warning, incident management) versneld op de A15 ingevoerd kunnen worden. Ditzelfde geldt voor smart routing, maar dat is een maatregel die in een groter gebied ingevoerd moet worden. Dit vraagt om een landelijke uitrol en coördinatie daarin. Tevens is het aan te bevelen om de effecten van smart routing in meer detail via simulatie te bepalen en na te gaan of er speciale vormen van smart routing voor het vrachtverkeer mogelijk zijn.

Ten aanzien van standaardisatie en regelgeving is het aan te bevelen om aan te sluiten bij lopende trajecten. Het is niet nodig om te wachten op het resultaat hiervan. Pilots op de A15 kunnen ook bijdragen aan de standaard. Ten aanzien van truck platooning is het beleidsmatig een interessante vraag of rij- en rusttijdenwetgeving aangepast kan worden.

In deze studie is een quickscan-analyse van afzonderlijke maatregelen uitgevoerd. Het is aan te bevelen om in meer detail de gecombineerde verkeerskundige impact van verschillende ITS-maatregelen te verkennen en om in meer detail de relatie met logistiek uit te werken.

Tot slot is het aan te bevelen om de uitgevoerde verkenning uit te breiden:

- Uitbreiding Duitse deel tot aan Duisburg (nodig vanuit corridor management perspectief; corridor stopt niet bij de grens; zeker niet voor smart routing)
- Uitbreiding naar corridor Zuid: de effecten zijn voor de A15 uitgerekend op basis van files die daar staan (uitgesplitst naar oorzaak). Op de corridor Zuid is het filepatroon anders en heeft ook het wegennetwerk andere kenmerken. De omvang van de effecten zal dus ook anders zijn.
- Uitbreiding met spoor en binnenvaart (nodig vanuit corridor management perspectief; afstemming over modaliteiten heen en wat is daarvoor nodig; nu nog veel onduidelijkheid over)

Referenties

Bakermans, B.A. (2016) *Truck Platooning, Enablers, Barriers, Potential and Impacts*. Master thesis. Delft University of Technology.

Brown, I. (2005) *Review of the "Looked but Failed to See" Accident Causation Factor*, Road Safety Research Report.

Dávila, A., M. Nombela (2010) Sartre: Safe road trains for the environment. In *Conference on Personal Rapid Transit PRT@ LHR*. Vol. 3, pp. 2-3.

Hegyi, A., B. De Schutter, J. Hellendoorn (2005) Optimal coordination of variable speed limits to suppress shock waves. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6(1), 102-112.

Hegyi, A., S.P. Hoogendoorn (2010) Dynamic speed limit control to resolve shock waves on freeways-Field test results of the SPECIALIST algorithm. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference*, pp. 519-524.

Janssen, R., H. Zwijnenberg, I. Blankers, J. de Kruijff (2015) *Truck Platooning Driving The Future Of Transportation*, TNO, Delft.

Kerner, B. S., H. Rehborn (1996) Experimental properties of complexity in traffic flow. *Physical Review E*, 53(5), R4275.

Klunder (nog niet gepubliceerd) Improvement of Network Performance by In-vehicle Routing using Floating Car Data.

Netten, B., Th. H.A. van den Broek, I. Passchier, P. Lieveerse (2011) Low penetration shockwave damping with cooperative driving systems. 8th ITS European Congress.

Nieuwenhuijsen, J. A. H. (2015) *Diffusion of Automated Vehicles*. TU Delft.

Papageorgiou, M., E. Kosmatopoulos, I. Papamichail, I.: Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2047, 2008. pp. 37–48

Ricardo (2015) *Study on the Deployment of C-ITS in Europe: input data overview – impacts data*. Report for DG MOVE, MOVE/C.3./№ 2014-794

Rijkswaterstaat (2016) Publieksrapportage Rijkswegennet – 1e periode 2016.

Roland Berger (2016). Automated Trucks: the next big disruptor in the automotive industry, Chicago/Munich, March 2016

SAE International. (2014). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. SAE International, rapport SAE J 3016.

Shladover, S., D. Su, X. Y. Lu (2012) Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2324), 63-70.

Sia Partners (2016) *Platooning towards sustainable road freight transport – the benefits, drawbacks and future outlook*.

Snelder, M., H. Drolenga (2011) *De Robuustheid van het Nederlandse hoofdwegennet*. TNO-060-DTM-2011-04228.

Snelder, M., E. de Feijter, S. Calvert, J. van Huis, A. Soekroella, H. Zhou (2016) *Methode Robuustheidsscore*, TNO 2016 R10641.

TLN, EVO, TNO (2015) *Economische Wegwijzer*.

Van Arem, B., Van Driel, C. J., & Visser, R. (2006). The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(4), 429-436.

Verhaart, J. (2016) *Truck Platooning: A Technology That Could Pave The Way For Autonomous Trucks*, Erasmus University, pp 1-73.

VTT, TRL. (2008) *CODIA Deliverable 5*. Final Study report.

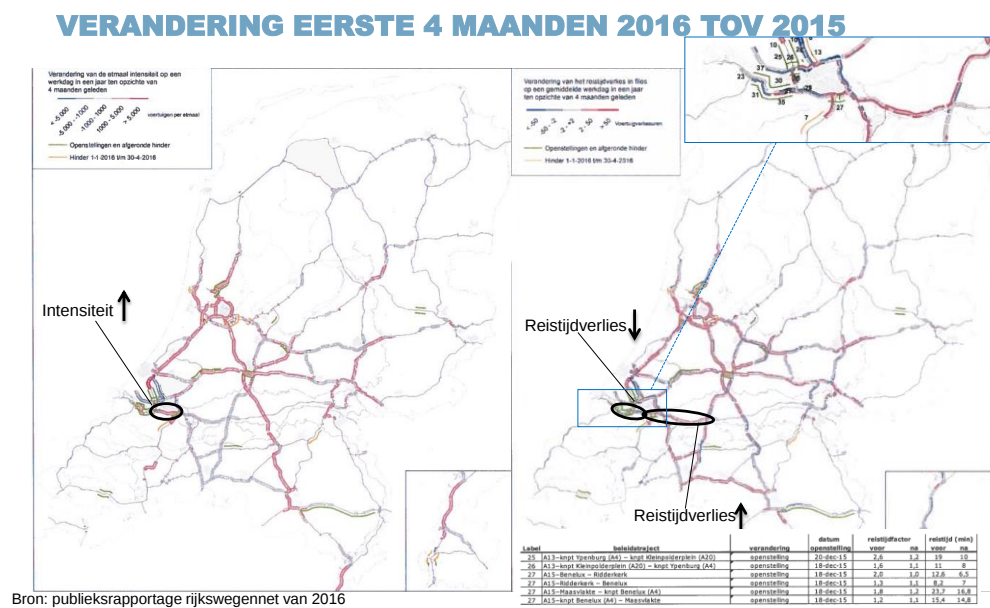
Wang, M., W. Daamen, S.P. Hoogendoorn, B. Van Arem (2011) Estimating acceleration, fuel consumption, and emissions from macroscopic traffic flow data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2260, 123-132.

Yun, W. (2011) *Dynamic variable speed limit control: design, analysis and benefits*, PhD thesis, Faculty of the USC graduate school, University of Southern California.

Zabat, M., N. Stabile, S. Farascarioli, F. Browand (1995) The aerodynamic performance of platoons: A final report. *California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH)*.

Bijlage A: Invloed van wegwerkzaamheden in 2015

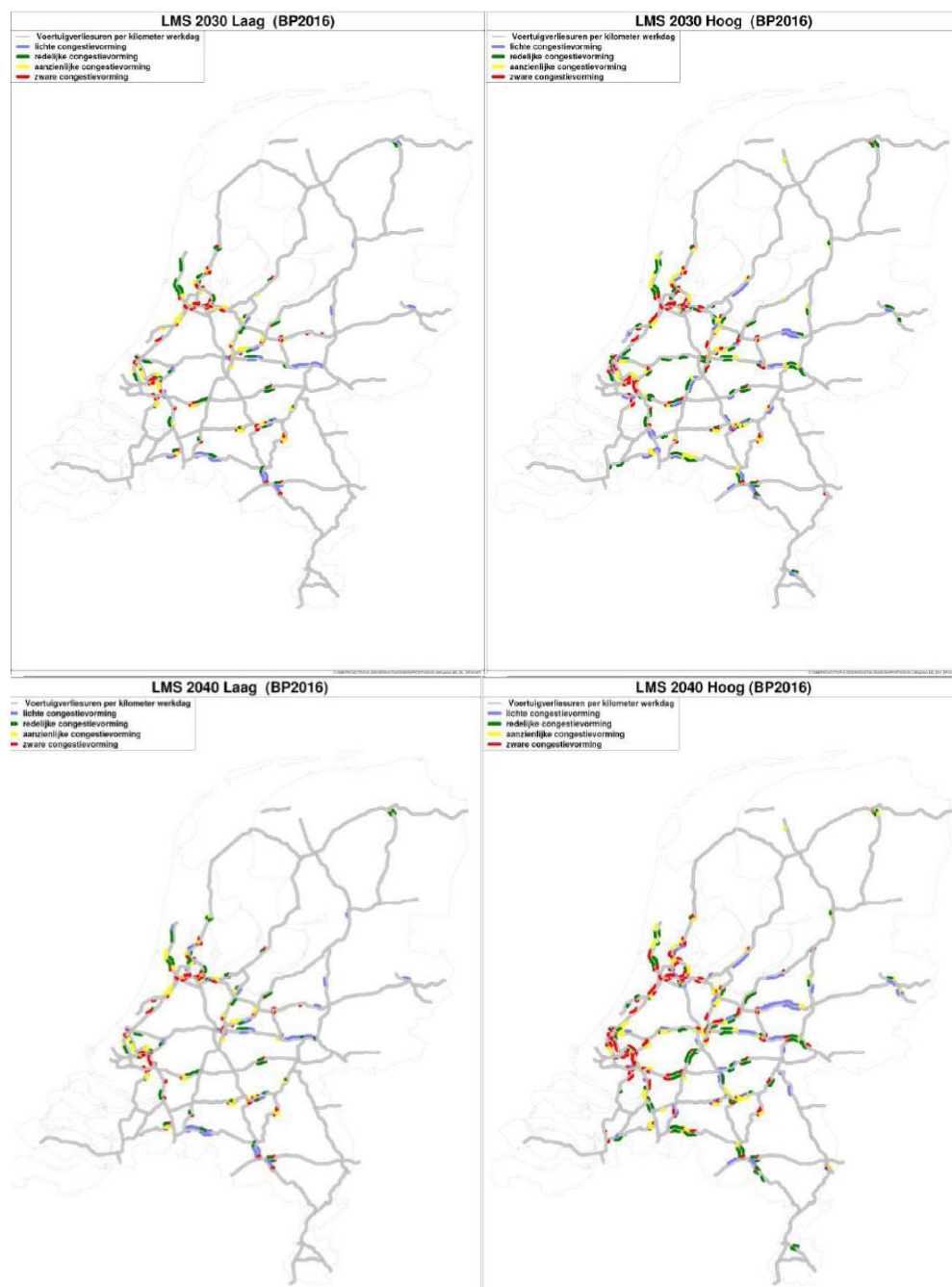
Deze bijlage laat zien wat de invloed is van de wegwerkzaamheden die in 2015 zijn uitgevoerd op de A15. Het reistijdverlies op het traject van de Maasvlakte tot en met de A29 is afgenomen terwijl het reistijdverlies tussen de A29 en knooppunt Gorinchem is toegenomen in de eerste 4 maanden van 2016. Dit laatste kan uiteraard ook het gevolg zijn van een toename in de vraag. De voertuigverliesuren zijn op dit traject in de eerste maanden van 2016 in ieder geval dus niet afgenomen.



Figuur A.1: Invloed van de wegwerkzaamheden op de A15 in 2015 op de intensiteit en het reistijdverlies.

Bijlage B: Langetermijnprognoses

Deze bijlage laat de LMS prognoses zien voor 2030 en 2040 in een laag en hoog scenario. Uit deze figuren blijkt dat in het lage scenario (en dus ook in het hoge scenario) op de lange termijn enkele knelpunten op de A15 blijven bestaan.



Figuur B.1: LMS-prognoses.

8 Ondertekening

Reviewer:

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

drs. J.C. van Meijeren

Projectleider:

A handwritten signature in blue ink, featuring a large 'M' and a long horizontal stroke.

dr. M. Snelder

Afdelingshoofd:

A handwritten signature in blue ink, with a large 'B' and a long horizontal stroke.

drs. H.C. Borst