

Gebruik van navigatiesystemen tijdens wegwerkzaamheden

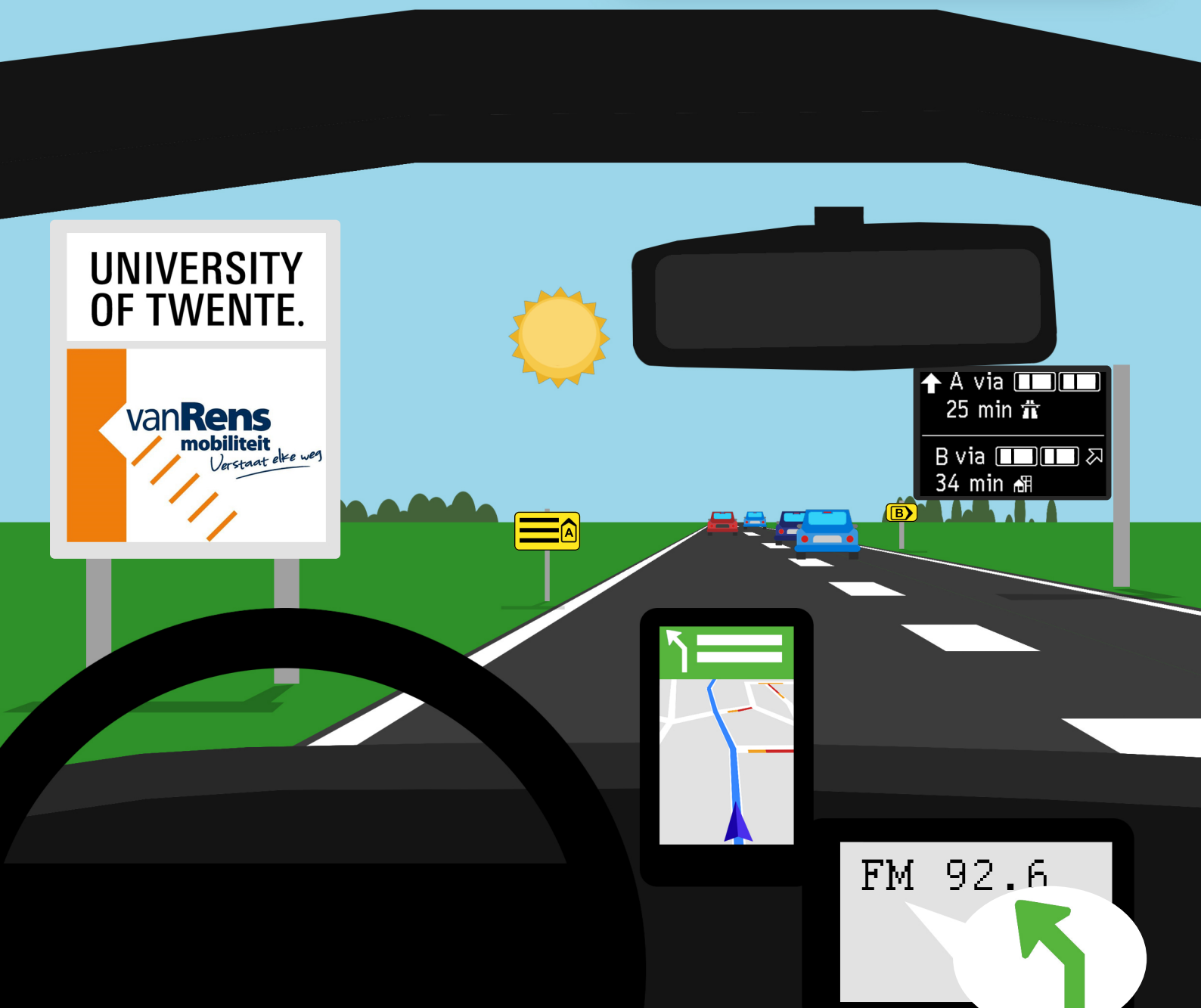
Onderzoek naar de mogelijkheden van het gebruik van online navigatiesystemen tijdens een wegafsluiting en de effecten hiervan

Eindopdracht te afronding van de
Bachelor of Science in Civiele Techniek
aan de Universiteit Twente

Sander Leusink - s1693689

prof. dr. ir. E.C. van Berkum (Universiteit Twente)
ing. R.W.A.M. van Baal (Van Rens Mobiliteit)
L.M.E. Vermeer (Van Rens Mobiliteit)

April - juli 2018



Samenvatting

Moderne navigatiesystemen bieden de mogelijkheid om verkeer dynamisch te sturen en uitgebreid te informeren. Bij wegafsluitingen wordt echter vaak het gebruik van navigatiesystemen afgeraden, omdat deze geen rekening houden met andere hinderaspecten dan reistijdverlies, zoals veiligheid en omgevingsoverlast. In dit verslag worden de mogelijkheden onderzocht om navigatiesystemen juist wel te gebruiken bij wegafsluitingen om daarmee hinder te verminderen. Het onderzoek richt zich daarbij zowel op informatiestromen van de wegbeheerder naar de navigatiesystemen en de weggebruiker als andersom.

Een verhoogd informatiegebruik door weggebruikers kan zowel voor- als nadelen hebben. Door de informatie kan onder andere congestie afnemen door meer kennis van de verkeerssituatie (Bonsall en Parry, 1991), een afname van verkeer binnen een projectgebied en meer bewijs van een afsluiting. Mogelijke nadelen zijn oversaturatie, overreactie en concentratie (Ben-Akiva, Palma en Isam, 1991), alsook een toename van sluipverkeer met de bijkomende hinder.

Op dit moment zijn de positieve effecten van informatiegebruik echter klein, omdat slechts 10% van de weggebruikers actief gebruik maakt van verkeersinformatie (KiM, 2017). Het gebruik van informatie is afhankelijk van veel factoren die in vier categorieën kunnen worden onderverdeeld: netwerk, persoonlijke eigenschappen, eigenschappen van de informatie en bewijs.

Op elk van deze aspecten kan informatiegebruik worden beïnvloed om de verkeerssituatie te verbeteren. Met een modelonderzoek zijn verschillende mogelijke maatregelen onderzocht die betrekking hebben op de aspecten van nalevingsfactoren in het algemeen, informatiekenmerken en netwerkeigenschappen. Vervolgens zijn deze maatregelen vergeleken op verschillende hinderaspecten voor zowel het omgeleide verkeer als de omgeving. Hieruit blijkt dat het simpelweg stimuleren of tegenwerken van navigatiegebruik allebei leidt tot meer negatieve effecten, zoals sluipverkeer of juist concentratie. Daarnaast blijkt dat de huidige informatiegraad te laag is om het verkeer gunstig te kunnen beïnvloeden met maatregelen aan het wegennet.

Geconcludeerd wordt dat een combinatie van navigatiegebruik, DRIPs en kunstmatige knelpunten het meest gewenste effect behaalt. Hiermee wordt de informatiegraad vergroot en er wordt meer bewijs geleverd voor het opvolgen van meer gunstige alternatieven. Tegelijkertijd neemt het risico op extreme vormen van congestie af, omdat het verkeer gespreid kan worden. Deze combinatie van maatregelen kan daarmee leiden tot een situatie met meer veiligheid, minder reistijdverlies en minder omgevingsoverlast door sluipverkeer.

Summary

Modern navigation systems make it possible to control traffic dynamically and to provide extensive information. However, the use of navigation systems is often discouraged during road closures because they do not take other aspects of nuisance than loss of travel time into account, such as safety and environmental nuisance. This report examines the possibilities of using navigation systems during road closures in order to reduce nuisance. The research focuses on information flows from the road authorities to the navigation systems and the road user, and vice versa.

Increased information use by road users can have both advantages and disadvantages. The information may reduce congestion by, among other things, a greater knowledge of the traffic situation (Bonsall and Parry, 1991), a decrease in traffic within a project area and more proof of a closure. Possible disadvantages are oversaturation, overreaction and concentration (Ben-Akiva, Palma, and Isam, 1991), as well as an increase in cut-through traffic with the additional annoyance.

At the moment, however, the positive effects of information use are limited because only 10% of road users actively use traffic information (KiM, 2017). The use of information depends on many factors, which can be divided into four categories: network, personal characteristics, properties of the information and evidence.

On each of these aspects, information use can be influenced in order to improve the traffic situation. A model study is performed to examine various possible measures relating to the aspects of compliance factors in general, information characteristics and network characteristics. These measures are then compared with regard to various nuisance aspects for both diverted traffic and the surrounding area. This shows that simply stimulating or discouraging the use of navigation both lead to more negative effects, such as cut-through traffic or concentration. In addition, the current level of information is too low to be able to influence traffic favourably with measures taken on the road network.

It is concluded that a combination of navigation use, DRIPs and artificial bottlenecks has the most desirable effect. This increases the level of information and provides more proof for following up more favourable alternatives, while reducing the risk of extreme congestion by allowing traffic to be spread. This combination of measures can therefore lead to a situation with more safety, less loss of travel time and less nuisance for the surrounding due to cut-through traffic.

Voorwoord

Als ik in de auto stap, start ik meteen mijn navigatie, ook als ik een route rijd die mij goed bekend is. Ik vertrouw bijna blindelings op de navigatie, totdat ik zie dat een weg afgesloten is. Op dat moment ga ik de informatie vanuit verschillende kanalen met elkaar vergelijken: Heb ik er iets over gelezen in de krant? Staat de afsluiting wel in Google Maps? En waar sturen de borden me helemaal naartoe? Vervolgens kies ik de route die mij op dat moment het beste lijkt en merk ik tijdens de reis wel of het daadwerkelijk een goede keus was.

Uit mijn interesse voor verkeerssystemen ben ik mij af gaan vragen in hoeverre mijn gedrag eigenlijk wel 'goed' is en wat er gedaan zou kunnen worden om de situatie te verbeteren. Ik begon het idee te krijgen dat er veel meer met de moderne systemen kan, maar dat niemand concreet weet hoe. Latere gesprekken met collega's bij de opdrachtgever bevestigden dit vermoeden.

Een vroegtijdig literatuuronderzoek toonde aan dat er wel degelijk onderzoek is gedaan naar het gebruik van informatie tijdens wegafsluitingen en het gebruik van navigatie in het algemeen. Een uitgebreide combinatie van deze richtingen, met een koppeling naar de praktijk heb ik echter niet kunnen vinden. Met dit verslag voor Van Rens Mobiliteit onderzoek ik de mogelijkheden van het gebruik van navigatiesystemen op veel verschillende plaatsen in het proces van een wegafsluiting. Het onderzoek dient tevens als de afronding van mijn Bacheloropleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

Tijdens de stageperiode heb ik veel gehad aan de hulp van mijn begeleiders Eric van Berkum, Rob van Baal en Lianne Vermeer. Bij deze wil ik hen daarvoor bedanken. Ook feedback van andere UT-medewerkers Kasper van Zuilekom, Jolante Schretlen en Miles Macleod, medestudenten Björn Breunissen en Siska de Vreeze en Van Rens-collega's Berend-Jan Bel, John van de Biezen, Linda Rosenbrand, Marcel van Och en Robin Huijben is nuttig geweest, waarvoor dank. Ten slotte wil ik de collega's bedanken van Strukton Worksphere in Elst, die mij met een goede werksfeer en de nodige cafeïne en kaartspelletjes aanzienlijk hebben geholpen.

*Sander Leusink
juni 2018, Elst*

Inhoudsopgave

Samenvatting	i
Summary	ii
Voorwoord	iii
Lijst van gebruikte afkortingen	vi
1 Inleiding	1
2 Theorie	3
2.1 Effecten van informatiegebruik	3
2.2 Nalevingsgedrag	4
3 Methode	8
3.1 Model	8
3.2 Experimenten	11
3.3 Beoordelingscriteria	12
4 Resultaten	14
4.1 Basisexperiment	14
4.2 Nalevingsgedrag beïnvloeden	15
4.3 DRIPs	15
4.4 Wegennet	16
4.5 Overzicht	17
5 Discussie	19
5.1 Algemeen	19
5.2 Achtergrond	19
5.3 Model	20
5.4 Interpretatie resultaten	20
6 Conclusie	21
6.1 Informatie naar de weggebruiker	21
6.2 Informatie over de weggebruiker en het wegennet	22
6.3 Gebruik informatie	22
6.4 Advies	23
Bibliografie	25
A Bijlages theorie	27

A.1	Wegennet	28
A.2	Informatiegebruik en reismotieven	29
A.3	Informatieprofielen	31
A.4	Communicatiemiddelen Rijkswaterstaat	32
B	Bijlages modelwerking	33
B.1	Modelwerking algemeen	34
B.2	Validatie model	42
B.3	Experimenten	47
C	Bijlage resultaten	50
C.1	Huidig navigatiegebruik	51
C.2	Borden stimuleren	55
C.3	Navigatiegebruik stimuleren	58
C.4	DRIPs	61
C.5	Wegennet aanpassen	64
C.6	Volledig overzicht modelresultaten	68
D	Bijlages Google Maps	69
D.1	Analyse wegennet met Google Maps	70
D.2	Analyse knelpunten met Google Maps	72
D.3	Analyse routes Google Maps	75
D.4	Online navigatiesystemen	77
E	Bijlages model	82
E.1	Verdeling per uur	83
E.2	Kenmerken links in model	89

Lijst van gebruikte afkortingen

Afkortingen

CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
DRIP	Dynamisch route-informatiepaneel
EMVI	Economisch meest voordelige inschrijving
ETW	Erftoegangsweg
FCD	Floating Car Data
GOW	Gebiedsontsluitingsweg
GRIP	Grafisch route-informatiepaneel
ITS	Intelligent Transportation Systems
KiM	Kennisinstituut voor mobiliteitsbeleid
NDW	Nationale Databank Wegverkeersgegevens
PND	Personal Navigation Device
RWS	Rijkswaterstaat
SW	Stroomweg
SWOV	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
VVU	Voertuigverliesuren

Gebruikte variabelen

γ	Factor voor continuïteit
μ	Schaalfactor
k	Voertuigdichtheid
k_c	Kritische voertuigdichtheid
k_{jam}	Voertuigdichtheid bij jam
p	Kans
q	Doorstroming
q_c	Kritische doorstroming
V	Nut
v	Snelheid
v_c	Kritische snelheid
v_{free}	Snelheid bij vrije doorstroming
y	Minimumsnelheid om link te betreden

1 Inleiding

In het afgelopen decennium zijn navigatiesystemen veranderd van simpele digitale vervangers van papieren kaarten in geavanceerde en intelligente hulpmiddelen bij het rijden. Ook bij afwijkende situaties kunnen moderne systemen op basis van de actuele verkeerssituatie en informatie over bijvoorbeeld wegafsluitingen de weggebruiker zijn individuele snelste route adviseren.

De geavanceerde functies van deze moderne hulpmiddelen kunnen een handig hulpmiddel zijn bij het verminderen van zowel harde hinder (reistijdverlies) als zachte hinder (ergernissen, veiligheid) bij wegwerkzaamheden, omdat ze als een extra middel voor communicatie met de weggebruiker gebruikt kunnen worden. Daarnaast zijn het mogelijke middelen om informatie over de weggebruiker in te winnen, omdat de systemen een grote kennis hebben over de eigen gebruikers via Floating Car Data (FCD).

Bij wegwerkzaamheden lijkt er echter een onbalans te zijn tussen de beschikbare mogelijkheden en de mate waarin deze worden aangegrepen. Kaartgegevens zijn vaak nog enige tijd onjuist, route-adviezen zijn slechts gebaseerd op reistijd en van de beschikbare verkeersinformatie wordt weinig gebruik gemaakt door de wegbeheerder bij zowel het ontwerpen van omleidingsroutes als bij het analyseren van verkeer.

Voor de wegbeheerder wegen de nadelen van mogelijk sluipverkeer zo sterk dat navigatiegebruik als onwenselijk wordt gezien, waardoor de mogelijke voordelen zich niet in de praktijk vertonen. Ondanks dat navigatiegebruik vaak actief wordt afgeraden, verkiezen veel weggebruikers toch deze adviezen boven de officiële omleidingsroute. Hierdoor ontstaat sluipverkeer, met onveilige situaties, verminderd reiscomfort en omgevingshinder tot gevolg.

Bij Van Rens Mobiliteit is de vraag ontstaan hoe er met de moderne navigatiesystemen gewerkt kan worden om toch hinderaspecten te verminderen. Met het oog op nieuwe (EMVI-)contractvormen kan dit tot gunstigere werkmethodes leiden die voor zowel de opdrachtgever als de weggebruiker positieve effecten kan hebben.

Dit onderzoek richt zich op de mogelijkheden die de moderne navigatiemiddelen bieden om diverse hinderaspecten te verbeteren. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

Hoe kan hinder bij wegafsluitingen worden verminderd met het gebruik van moderne navigatiemiddelen?

Deze onderzoeksvraag wordt onderverdeeld in drie delen, die elk in het verslag aan bod komen:

1. *Hoe kan informatie over de weggebruiker die vanuit de navigatiesystemen beschikbaar is, worden gebruikt?*
2. *Hoe kan informatie aan de weggebruiker worden doorgegeven via het navigatiesysteem?*

3. In hoeverre is het gebruik van reisinformatie tijdens een wegafsluiting wenselijk?

Deze drie deelvragen worden parallel in het verslag behandeld, omdat onderdelen van de vragen in elkaar overlopen. In het verdere verslag is deze driedeling dus slechts beperkt zichtbaar.

De beschikbare literatuur over dit onderwerp richt zich voornamelijk op het verminderen van hinder tijdens werkzaamheden (RWS, 2009; RWS, 2014; Wildervanck, 2010; Glas e.a., 2010) en het verbeteren van de verkeersveiligheid (SWOV, 1992; SWOV, 2005) enerzijds, of op de mogelijkheden van intelligente transportsystemen (ITS) en reisinformatie (KiM, 2017; KiM, 2015; Ben-Elia e.a., 2013; Ben-Akiva, Palma en Isam, 1991) anderzijds. Onderzoek dat deze richtingen combineert is echter beperkt. Dit onderzoek verkent de mogelijkheden voor deze combinatie.

Om tot een antwoord op de onderzoeksvragen te komen zal eerst een literatuuronderzoek worden gedaan naar het routekeuzegedrag van de weggebruiker en de verschillende middelen die hij hiervoor kan gebruiken. Daarna wordt met een verkeersmodel onderzocht in hoeverre het stimuleren van informatiegebruik gunstig is voor een aantal hinderaspecten. Op basis van het literatuuronderzoek en de modelanalyse wordt vervolgens een advies geformuleerd over informatiegebruik bij wegafsluitingen.

Het onderzoek richt zich voornamelijk op een totale wegafsluiting (bijvoorbeeld een weekendafsluiting) van een autosnelweg, omdat dit situaties zijn met een zekere algemeenheid, relatief veel hinder op het onderliggende wegennet en veel doorgaand verkeer. De weekendafsluiting wordt tevens in het MinderHinder-programma als voorkeursvariant aangegeven (Wildervanck, 2010). De keuze hiervoor heeft een effect op het type weggebruikers en de mate van navigatiegebruik (weinig woon-werkverkeer) en de verdeling van het verkeer over de dag (minder spits).

De onderdelen van het verslag die betrekking hebben op directe toepassingen van een navigatiesysteem (bijvoorbeeld analyses van verkeer), zijn gefocust op Google Maps vanwege het grote aantal actieve gebruikers en de mogelijkheden bij route- en reisinformatie. Met deze focus is het eenvoudiger om voorgestelde methodes duidelijk uit te werken en toe te passen.

Ook zal het onderzoek zich vooral richten op de *huidige* mogelijkheden, om zo het onderzoek direct toepasbaar te maken.

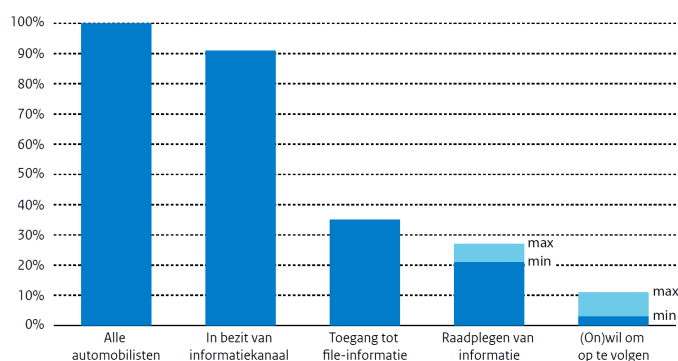
Achtereenvolgens bestaat dit verslag uit de achtergrondtheorie die uit het literatuuronderzoek volgt (hoofdstuk 2), een korte uitleg van het verkeersmodel en de onderzochte scenario's (hoofdstuk 3), de uitkomsten van het verkeersmodel en een afwegingskader om de verschillende scenario's te vergelijken (hoofdstuk 4). Het verslag eindigt met een discussie van het voorgaande en een conclusie en advies op basis van het totale onderzoek (hoofdstuk 5 en 6).

2 Theorie

Een weggebruiker kan op drie verschillende manieren een routekeuze maken: statisch (zonder gebruik te maken van actuele verkeersinformatie), dynamisch (op basis van de zichtbare situatie) en geïnformeerd (afhankelijk van de actuele verkeersinformatie) (Juhász, 2017). Een groot aandeel geïnformeerde reizigers kan zowel voor- als nadelen hebben. In het eerste deel van dit hoofdstuk zullen de effecten uit de literatuur worden beschreven.

Uit onderzoek van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeheer (KiM, 2015) blijkt dat 91% van de weggebruikers de beschikking heeft over een in-carinformatiekanaal, maar slechts 10% de wil heeft om deze informatie op te volgen (figuur 2.1). In het tweede deel van dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de verschillende factoren die dit gedrag beïnvloeden.

Op basis van deze factoren kunnen vervolgens verschillende maatregelen worden opgesteld die het gedrag van de weggebruiker bij een situatie met een wegafsluiting kunnen beïnvloeden. Later in het verslag zullen deze met een modelonderzoek worden geanalyseerd en vergeleken.



Figuur 2.1: Inschatting van alternatief gedrag door verkeersinformatie (KiM, 2017)

2.1 Effecten van informatiegebruik

Uit de literatuur blijkt dat een toegenomen informatiegebruik de verkeerssituatie op meerdere manieren kan beïnvloeden. In dit gedeelte zullen de mogelijke voor- en nadelen van informatiegebruik worden beschreven.

Voordelen

In een normale situatie worden vier aspecten genoemd waarop de verkeerssituatie kan verbeteren met meer informatiegebruik (Bonsall en Parry, 1991):

- 'Verspilling' van reistijd vermindert door efficiëntere routes.

- Congestie vermindert door minder lange routes.
- Verkeersinformatie wordt effectiever door een koppeling van systemen.
- Weggebruikers kunnen worden gestimuleerd 'betere' routes te nemen.

Bij een afsluiting komen hier een aantal aspecten bij:

- Verkeer kan verder om een afsluiting heen rijden als het bij vertrek van de afsluiting weet. Deze afname wordt geschat op maximaal 10% à 15% op basis van reismotieven en informatiegebruik (KiM, 2017; RWS, 2007).
- De weggebruiker heeft meer tijd om informatie over de afsluiting te verwerken. Het kan echter ook voor meer afleiding zorgen.
- Drukke wegen kunnen worden vermeden door gebruik van actuele verkeersinformatie
- De weggebruiker heeft meer bewijs van de afsluiting en zal minder snel tot aan de afsluiting doorrijden. Hiervoor is wel goede ervaring met de informatie van belang.

Nadelen

De belangrijkste drie mogelijke nadelen van een toegenomen informatiegebruik zijn de volgende (Ben-Akiva, Palma en Isam, 1991):

- Oversaturatie: De weggebruiker moet zo veel informatie verwerken dat hij niet meer in staat is een betere route te kiezen.
- Overreactie: Veel verkeer verplaatst zich in één keer naar een andere route omdat ze dezelfde informatie ontvangen. Hierdoor kunnen oscillaties in weggebruik ontstaan.
- Concentratie: Informatiegebruik stuurt alle verkeer over één route terwijl het eerder gespreid werd door persoonlijke variaties.

Naast deze aspecten is het een probleem dat het routeadvies in navigatiesystemen alleen rekening houdt met reistijden, en daardoor geen afweging maakt met andere hinderaspecten zoals omgevingshinder of reiscomfort. Daarnaast kan de informatie zorgen voor tegenstrijdig bewijs als de adviezen uit meerdere bronnen verschillen, waardoor de weggebruiker minder voorspelbaar wordt.

2.2 Nalevingsgedrag

In hoeverre (dynamische) route-informatie de routekeuze van een weggebruiker direct beïnvloedt, wordt bepaald door veel factoren die in vier categorieën kunnen worden onderverdeeld (KiM, 2017; Kattan e.a., 2011; Bonsall en Parry, 1991):

- Netwerk
- Persoonlijke eigenschappen
- Eigenschappen van informatie
- Bewijs

Voor elk van deze vier punten zal de invloed op de routekeuze worden beschreven.

Netwerk

Kenmerken van het netwerk bepalen eigenschappen van de mogelijke routes die een weggebruiker kan nemen (aantal alternatieven, reistijden, congestie, kwaliteit). Ook bepaalt het netwerk de aanwezigheid van een keuze.

Uit de Duurzaam-Veilig-visie (SWOV, 2012) volgt een hiërarchie van het Nederlandse wegennet die bestaat uit drie soorten wegen met een afnemende capaciteit: stroomwegen (SW), gebiedsontsluitingswegen (GOW) en erftoegangswegen (ETW). Wegsituaties rond een wegafsluiting zijn dankzij Duurzaam Veilig vaak vergelijkbaar. Vaak is er een ETW dichtbij, een GOW iets verder weg en een SW nog verder weg. In bijlage A.1 wordt verder op deze verdeling ingegaan.

Omleidingsroutes worden gebruikelijk opgezet over wegen van dezelfde categorie, omdat deze een vergelijkbare capaciteit hebben. Sluipverkeer kiest er echter voor om kortere routes te nemen over wegen van een lagere categorie, met negatieve gevolgen voor de veiligheid, rijcomfort en doorstroming. Maatregelen aan het wegennet kunnen de aantrekkelijkheid van routes veranderen en daarmee de routekeuze van de weggebruiker beïnvloeden.

Met behulp van Google Maps kan een analyse worden gedaan van de hiërarchie van het wegennet en mogelijke knelpunten bij een omleiding. Ook kan een inschatting worden gedaan van welke routes waarschijnlijk zullen worden gebruikt. Dit is uitgewerkt in bijlages D.1, D.2 en D.3.

Persoonlijke eigenschappen

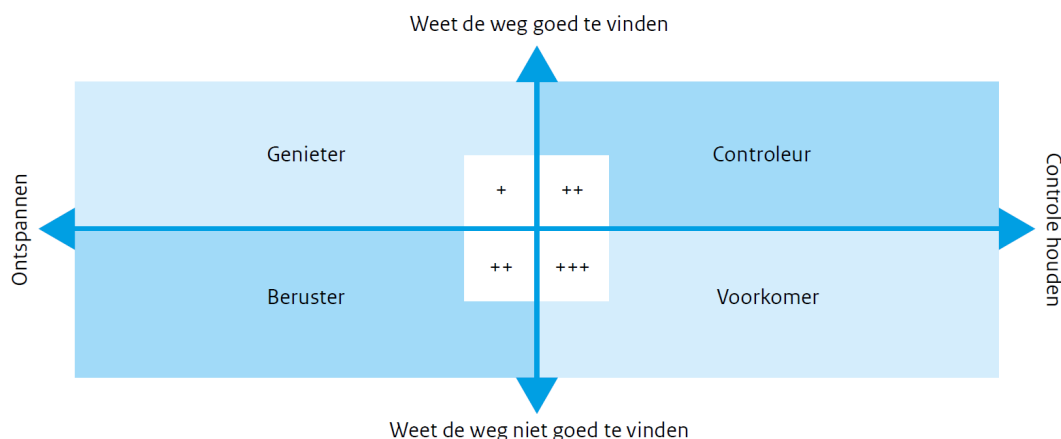
Persoonlijke factoren zoals oriëntatievermogen en behoefte aan spanning en opwinding (KiM, 2017), alsook geslacht, leeftijd en ervaring (Kattan e.a., 2011) hebben een invloed op de routekeuze. Daarnaast zijn kenmerken van de individuele reis van belang, zoals de verwachte reistijd, de voorspelbaarheid van de reistijd, vertraging, flexibiliteit van de aankomsttijd en bekendheid met de route. Het effectief beïnvloeden van de weggebruiker met maatregelen gericht op persoonlijke eigenschappen is niet eenvoudig.

Weggebruikers kunnen worden onderscheiden op basis van hun reismotief. Per reismotief is door het KiM bepaald in welke mate gebruik wordt gemaakt van in-car reisinformatie (bijlage A.2). Hieruit blijkt dat de systemen vooral worden gebruikt bij lange reizen of reizen waarvan de route minder bekend is.

Op basis van onderzoek van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2016) en Rijkswaterstaat (RWS, 2007) kan de verdeling van de reismotieven over de weggebruikers worden bepaald (bijlage A.2).

Gebruikers van reisinformatie tijdens een rit zijn weer onder te verdelen in vier groepen op basis van de bekendheid met de route en de behoefte voor controle (figuur 2.2) (KiM, 2017). Met deze verdeling wordt een inzicht verkregen in de redenen voor informatiegebruik, waarmee ook duidelijk kan worden met welke informatie weggebruikers het best zijn te beïnvloeden. De vier profielen zijn:

- **Controleur:** heeft kennis van het wegennet en gebruikt informatie om efficiënter te reizen.
- **Voorkomer:** heeft minder kennis van het wegennet en plant marges in om te voorkomen dat hij te laat komt, waardoor files minder problematisch zijn.
- **Beruster:** accepteert extra reistijd door files en gebruikt routegeleiding om de weg te vinden



Figuur 2.2: Vier profielen m.b.t. reisinformatie. De plustekens geven de behoefte aan informatie aan. (KiM, 2017)

- Genieter: reist ontspannen en vindt het niet erg om te laat te komen.

Deze vier types hechten verschillende belangen aan hinderfactoren. Voor de genieter en de beruster zijn de informatie over zachte hinderaspecten van belang. Voor de beruster en de voorkomer is het van belang dat informatie duidelijk is en uit verschillende bronnen overeenkomt. De controleur is vooral geïnteresseerd in reistijd en zal het door zijn controlerende neiging snel doorhebben als bekende routes minder gunstig zijn. In bijlage A.3 wordt deze verdeling verder toegelicht met voorbeelden.

Eigenschappen van de informatie

Inhoud, vorm en locatie van informatie bepalen sterk de mate waarin deze worden opgevolgd.

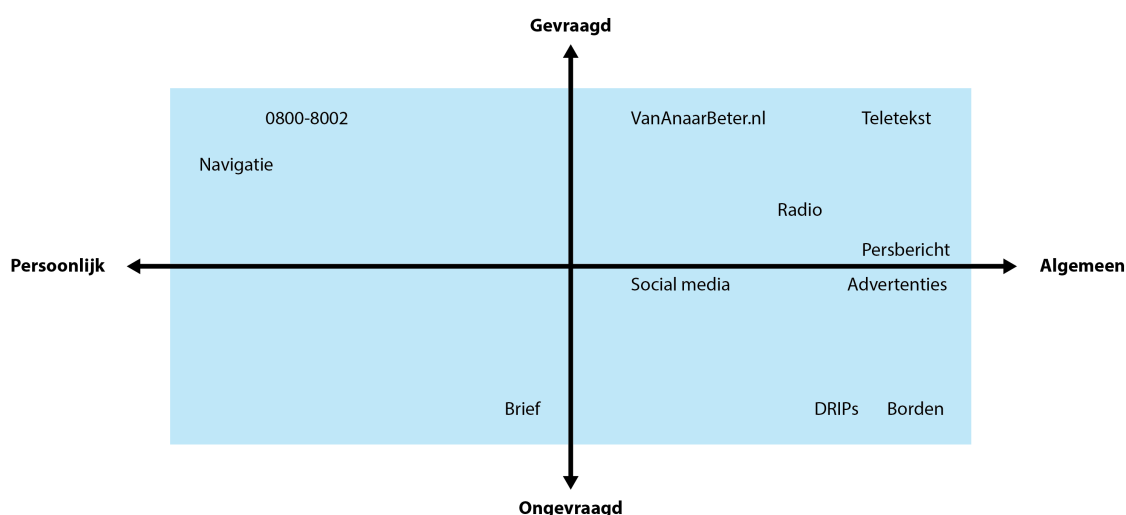
Informatie moet duidelijk en toegankelijk zijn. Dit houdt in dat de weggebruiker moet weten wat hij moet doen en waarom hij dat moet doen, maar tegelijkertijd niet zo veel informatie krijgt dat hij niet meer weet welke delen belangrijk zijn (Wildervanck, 2008). Voornamelijk reistijdinformatie voor verschillende alternatieven wordt belangrijk gevonden (Glas e.a., 2010). Daarnaast wil de weggebruiker weten wat de reden van de werkzaamheden is en welke alternatieve routes er zijn (RWS, 2016).

Om antwoord te geven op deze vragen heeft Rijkswaterstaat een afwegingskader opgesteld met de communicatiemiddelen die per hindercategorie ingezet kunnen worden (bijlage A.4).

De beschikbare communicatiemiddelen kunnen worden onderverdeeld in categorieën op basis van de persoonlijkheid en in hoeverre de informatie gevraagd is. Deze verdeling is weergegeven in figuur 2.3. Persoonlijke, gevraagde informatie zoals navigatiesystemen hebben een grote invloed op het routekeuzegedrag, maar slechts een beperkt bereik. Algemene ongevraagde informatie, zoals DRIPs, heeft daarentegen juist een groot bereik, maar een minder groot effect. Door een actievere rol te nemen in de informatievoorziening kan het routekeuzegedrag van de weggebruiker worden beïnvloed.

De informatie uit deze bronnen kan worden onderverdeeld in drie categorieën (Ben-Akiva, Palma en Isam, 1991):

- Historische informatie



Figuur 2.3: Schema met informatiebronnen in de vier categorieën

- Actuele informatie
- Voorspellende informatie

Weggebruikers zullen het meest worden beïnvloed met betrouwbare voorspellende informatie, omdat dit de reistijd is die de weggebruiker daadwerkelijk zal ondervinden. Het is echter lastig om tot zulke informatie te komen, omdat de inhoud van deze informatie afhankelijk is van de manier waarop mensen reageren op deze informatie.

Ook kan het onderscheid worden gemaakt tussen voorschrijvende (prescriptieve) en beschrijvende (descriptieve) informatie. Navigatiesystemen zijn veelal prescriptief, omdat ze aangeven welke route de gebruiker moet volgen. DRIPs en GRIPs zijn daarentegen meestal descriptief. Ook kan informatie uit beide soorten bestaan: "Er staat een file tussen x en y, met een lengte van z minuten (descriptief), omrijden via a en b (prescriptief)".

In bijlage D.4 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste navigatiesystemen van dit moment. Ook wordt er ingegaan op het verstrekken van informatie voor de weggebruiker via deze systemen.

Bewijs

De mate waarin verschillende informatiebronnen dezelfde informatie geven, wordt gezien als een maat voor de betrouwbaarheid van informatie. Als meer bronnen hetzelfde advies geven, zal dit sneller worden opgevolgd. Dit aspect bepaalt sterk de voorspelbaarheid van de weggebruiker.

Door maatregelen te nemen die ervoor zorgen dat informatie uit meerdere bronnen overeenkomt, is de weggebruiker sterk te sturen.

3 Methode

Nu bekend is hoe mensen hun routekeuze bepalen en welke mogelijke effecten informatiegebruik heeft, kan worden onderzocht in hoeverre deze effecten een rol spelen bij een situatie met een wegafsluiting. Er zal een verkeersmodel worden opgesteld waarmee kan worden onderzocht op welke manieren en in hoeverre hinder kan worden verminderd door maatregelen te nemen die inspelen op de eerder beschreven nalevingsaspecten. Deze maatregelen hebben betrekking op het navigatiegebruik van de weggebruiker, het aanvullen van informatie middels DRIPs en het tijdelijk aanpassen van het wegennet. Vervolgens worden de effecten van deze maatregelen op meerdere hinderaspecten beoordeeld, waarna wordt bepaald welke maatregelen effectief hinder verminderen.

3.1 Model

Om de effecten van de mogelijke maatregelen in te schatten in een algemene situatie is een *toy-model* opgesteld, waarmee verkeersstromen kunnen worden onderzocht bij verschillende verkeershoeveelheden, netwerken en routekeuzes. Er wordt gebruik gemaakt van een event-gedreven MATLAB-model dat ieder voertuig een routekeuze laat maken en deze doorvertaalt naar verkeershoeveelheden over links.

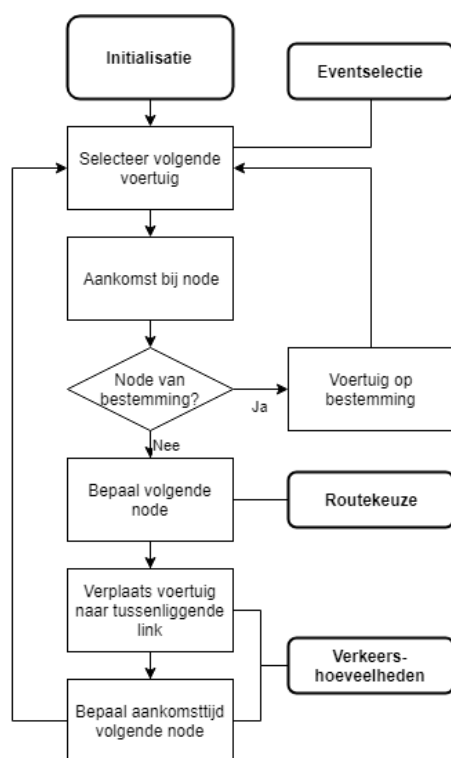
Het model bestaat uit de volgende stappen (figuur 3.1):

- Initialisatie: het opstellen van databases over de weggebruiker, het netwerk en events.
- Routekeuze: bepalen van het middel voor routekeuze en de te nemen route.
- Voertuigverplaatsing: verplaatsing van het voertuig, bepalen van verkeershoeveelheden en reistijden.
- Uitkomsten: totalen en gemiddelden berekenen en grafisch de verkeerssituatie weergeven.

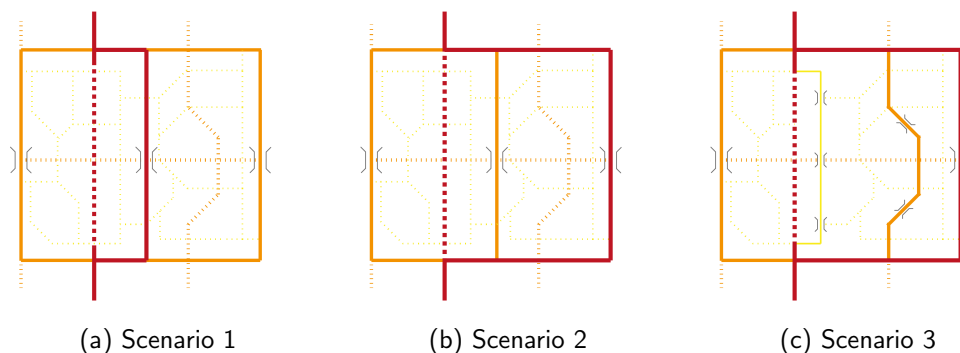
Een uitgebreide beschrijving van het model staat in bijlage B.1. In bijlage B.2 wordt het model gevalideerd aan de hand van het modelproces van Sargent (Sargent, 1998). Uit deze validatie blijkt dat het model een geschikt hulpmiddel is bij het afwegen van alternatieven, mits er rekening mee wordt gehouden dat het model geen volledig verkeersmodel is dat alle individuele voertuigeigenschappen modelleert en geen uitspraken doet over *alle* hinderfactoren. Ook zijn de uitkomsten sterk afhankelijk van de handmatige inputs, die daarom kritisch moeten worden bekeken.

Initialisatie

In het begin van het model worden databases opgesteld met kenmerken van de voertuigen, weggebruikers, het netwerk en de gebeurtenissen. Per experiment worden twee verschillende



Figuur 3.1: Globale opbouw verkeersmodel

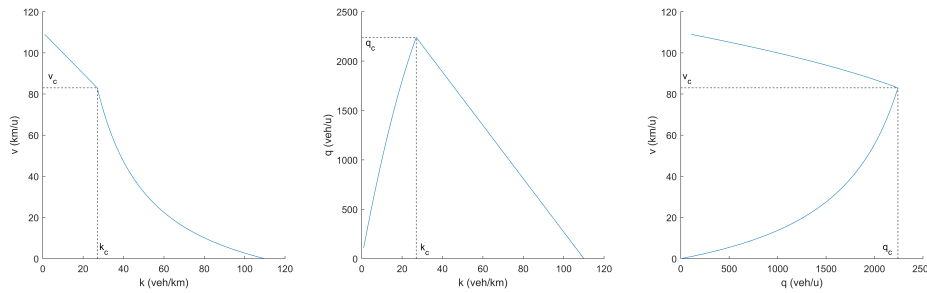


Figuur 3.2: Scenario's wegennet

hoeveelheden omgeleid verkeer (modelverkeer) gemodelleerd (15.000 en 30.000 voertuigen). Ook worden twee verschillende hoeveelheden achtergrondverkeer gemodelleerd (regulier verkeer dat zich ook zonder afgesloten wegvak op de wegen zou bevinden), die zijn vastgesteld op 20% en 60% van de kritische voertuigdichtheid op het piekmoment. Vertrektijden van voertuigen worden bepaald aan de hand van een verdeling gebaseerd op historische verkeershoeveelheden in het weekend (bijlage B.1).

Alle voertuigen worden gemodelleerd met eenzelfde herkomst-bestemmingspaar, namelijk de knooppunten direct voor en na het afgesloten wegvak. Dit is een versimpeling die lokaal verkeer buiten beschouwing houdt, maar bij een snelwegafsluiting niet heel onrealistisch is.

Er zijn drie netwerken waarover het verkeer wordt gestimuleerd, verschillend in de nabijheid van een weg van een hoge categorie (figuur 3.2). Op elk van de netwerken is een aantal knelpunten aangebracht die bijvoorbeeld op- en afritten simuleren.



Figuur 3.3: Fundamentele diagrammen Smulders (TU Delft, 2018)

Routekeuze

Voor elk voertuig wordt bepaald met welk middel hij zijn routekeuze maakt (zie bijlage B.1). Er wordt gekozen voor één van de volgende opties: de officiële omleidingsroute, de snelste route en een willekeurige route naar reistijd, op basis van de volgende kansverdeling:

$$p_i = \exp(\mu V_i) / \sum \exp(\mu V), \text{ met } V = 1/l_{route}$$

Vervolgens wordt bepaald welke route door dit middel wordt geadviseerd. Er wordt dus niet op basis van persoonlijke kenmerken een route gekozen uit een set van routes, maar er wordt een routekeuzemiddel gekozen dat leidend is. Dit beperkt de complexiteit van het model en versimpelt de experimenten.

Voertuigverplaatsing

Het voertuig wordt daarna verplaatst naar de eerstvolgende link van die route, waarna de snelheid over die link wordt bepaald met de fundamentele diagrammen van Smulders (figuur 3.3, bijlage B.1). Hiervoor wordt de voertuigdichtheid bepaald met

$$k = \frac{\text{modelverkeer} + \text{achtergrondverkeer}}{\text{lengte van link} \times \text{aantal rijbanen}}; \quad (3.1)$$

Vervolgens worden de kritische dichtheid en doorstroming bepaald en wordt de snelheid berekend met de volgende vergelijking:

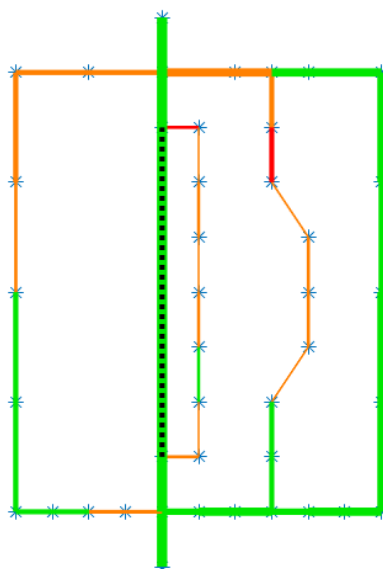
$$v(k) = \begin{cases} v_{free} \left(1 - \frac{k}{k_{jam}}\right) & \text{als } k \leq k_c \\ \gamma \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_{jam}}\right) & \text{als } k > k_c \end{cases} \quad (3.2)$$

Met v de snelheid in km/u, $k_c = 27$ veh/u, $k_{jam} = 110$ veh/km en $\gamma = v_{free} k_c$. Hierbij wordt aangenomen dat $v_{free} \approx 0.9 \times v_{max}$.

Daarna wordt een event gemaakt voor de aankomst bij de node aan het eind van de link, gebaseerd op de reistijd over die link en wordt het volgende event uit de eventlijst gekozen.

Uitkomsten

Tenslotte wordt elk model-uur op basis van de modelberekeningen een plot gemaakt met de gemiddelde snelheden over elke link. Een voorbeeld van zo een plot is weergegeven in figuur 3.4. Aan het eind van het model wordt tenslotte een totaalberekening gemaakt van het aantal voertuigverliesuren, de gekozen routes en de gemiddelde reistijden van het modelverkeer.



Figuur 3.4: Voorbeeldplot

3.2 Experimenten

Met het model worden verschillende maatregelen uitgetest die kunnen worden genomen om de verkeersstromen te beïnvloeden en zo hinder te verminderen. Deze maatregelen hebben betrekking op het nalevingsgedrag, het aanvullen van informatie en het wegennet. Ook zal een basisexperiment worden uitgevoerd als vergelijkingsmateriaal. De gewijzigde parameters voor deze experimenten worden toegelicht in bijlage B.3.

Basisexperiment

Allereerst zal een experiment worden uitgevoerd die een situatie weergeeft die vergelijkbaar is met het huidige navigatiegebruik. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de gegevens van het KiM-onderzoek (KiM, 2017). Dit experiment zal dienen als een vergelijkingsproef, waarmee de uitkomsten van de andere experimenten vergeleken kunnen worden.

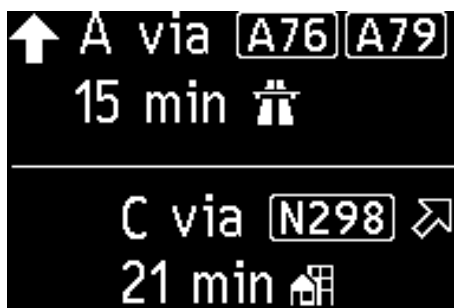
Nalevingsgedrag

In deze experimenten zal worden onderzocht in hoeverre het stimuleren van het opvolgen van de borden of het opvolgen van de navigatie een gunstig effect heeft op de verkeerssituatie. In de praktijk zal dit bijvoorbeeld kunnen worden toegepast met (extra) borden 'Navigatie uit' of 'Volg navigatie'. Dit zijn maatregelen die zich voornamelijk richten op de effecten als het totaal van nalevingsfactoren wordt beïnvloed.

Er is een experiment uitgevoerd met een verhoogd opvolgedrag voor de omleidingsborden en een met een verhoogd opvolgedrag voor de navigatie.

Aanvullen van informatie

De wegbeheerder kan ervoor kiezen om zelf ook de weggebruiker van dynamische route-informatie te voorzien. Hiervoor kan hij gebruik maken van bijvoorbeeld tekstwagens of DRIPs.



Figuur 3.5: Voorbeeld van DRIP-beeld

Hiermee zullen meer weggebruikers geïnformeerd zijn en kunnen meer aspecten met de weggebruiker worden gecommuniceerd. Dit experiment heeft vooral betrekking op het aspect *eigenschappen van de communicatie* en deels op de factor *bewijs*.

Met betrekking tot de DRIPs zijn twee experimenten uitgevoerd. Bij het eerste experiment wordt de DRIP gebruikt om *meer* weggebruikers te voorzien van dynamische route-informatie, waarbij slechts reistijdinformatie wordt doorgegeven. Bij het tweede experiment wordt een voorkeur voor bepaalde routes aangegeven, die over wegen van hogere categorieën lopen. Hiermee kan de weggebruiker beter geïnformeerd een routekeuze bepalen. Een voorbeeld van zo een DRIP is weergegeven in figuur 3.5.

Wegennet

Om de informatie uit de verschillende bronnen te kunnen beïnvloeden kunnen ook maatregelen aan het wegennet worden genomen, zoals het verwijderen van knelpunten op de hoofdroute of het toevoegen van knelpunten op ongewenste sluiproutes. Hiermee worden dynamische route-adviezen indirect beïnvloed, omdat de reistijden over routes kunstmatig toe- of afnemen. Deze maatregelen hebben vooral betrekking op het aspect *netwerk* en ook deels op *bewijs* (adviezen komen meer overeen).

In het model worden twee experimenten uitgevoerd: één met verwijderde knelpunten op de hoofdroute en één met toegevoegde knelpunten op ongewenste sluiproutes.

3.3 Beoordelingscriteria

Na het uitvoeren van de experimenten in het model worden ze vergeleken op basis van de modeluitkomsten en de gemaakte afbeeldingen. Om de maatregelen af te wegen, worden ze beoordeeld op een selectie aan hinderaspecten, waarna een advies zal worden gegeven over de toe te passen maatregelen. De beoordelingscriteria zijn als volgt:

- Veiligheid: de mate waarin een alternatief onveilige situaties beperkt.
- Sluipverkeer: de mate waarin verkeer wordt verminderd dat over minder geschikte wegen gaat.
- Algehele doorstroming: het algemene verkeersbeeld dat bij het alternatief ontstaat.
- Harde hinder omgeleid verkeer: de mate waarin reistijdverlies wordt verminderd voor het verkeer dat omgeleid wordt.

- Zachte hinder omgeleid verkeer:
 - Kwaliteit communicatie: de mate waarin duidelijk en snel met de weggebruikers kan worden gecommuniceerd.
 - Kwaliteit wegen: de mate waarin verkeer over hoogwaardige wegen wordt gestuurd.
 - Hinderbetrouwbaarheid: de mate waarin weinig vormen van extreme hinder ontstaan.
- Harde hinder omgevingsverkeer: de mate waarin het lokale verkeer geen reistijdverlies ondervindt door het omgeleide verkeer.
- Zachte hinder omgevingsverkeer: de mate waarin het lokale verkeer geen overige hinder ondervindt door het omgeleide verkeer.
- Kosten implementatie: hoe gemakkelijk een alternatief kan worden uitgevoerd.

Bij de verdere afweging zijn vooral de criteria veiligheid en doorstroming van belang en spelen de overige hinderaspecten minder nadrukkelijk een rol. De verdere afweging zal kwalitatief plaatsvinden omdat veel aspecten niet eenduidig te kwantificeren zijn.

4 Resultaten

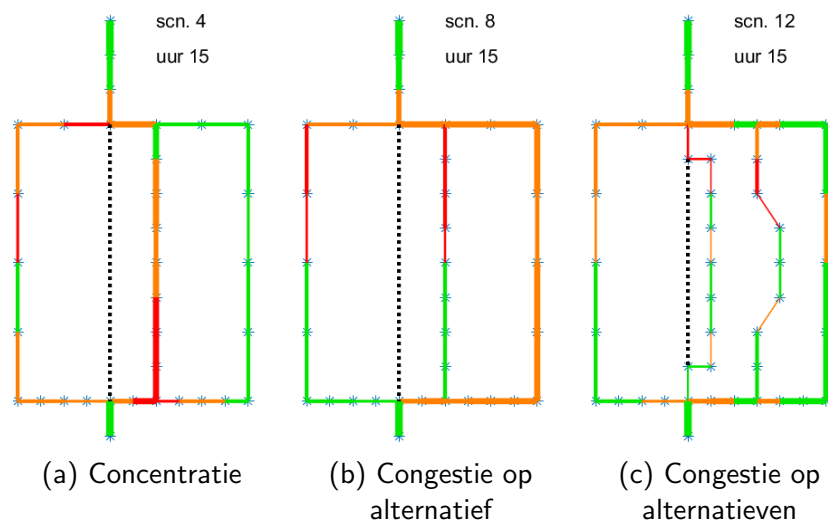
Aan de hand van de experimenten met het model zullen in dit gedeelte de verwachte effecten van de verschillende maatregelen worden beschreven. In bijlage C staat een verdere uitwerking van de modelresultaten, waarbij meer aandacht wordt besteed aan de verschillende netwerkscenario's.

4.1 Basisexperiment

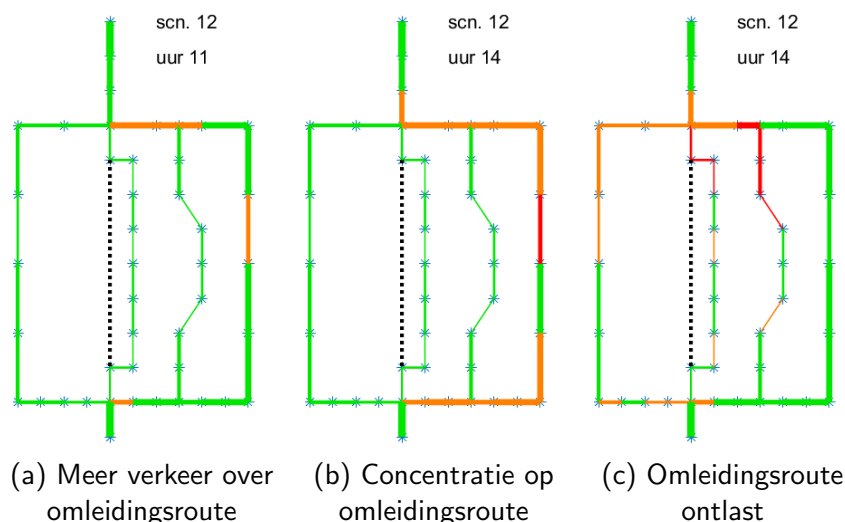
Uit het basisexperiment blijkt dat er vooral problemen ontstaan in de scenario's waarbij veel verkeer is en een korte alternatieve route. Bij een dichtbijzijnde hoogwaardige omleidingsroute zullen de verschillende route-adviezen met elkaar overeenkomen, met veel opvolging tot gevolg maar ook een risico op concentratie (figuur 4.1a).

Als de route dichtbij de afsluiting uit minder hoogwaardige wegen bestaat, gaat nog veel verkeer over deze route, waardoor ook bij minder verkeer congestie ontstaat (figuur 4.1b en 4.1c). Ook is er dan een vergroot risico op overreactie, omdat de reistijden over de routes dicht bij elkaar liggen. In dit scenario is er veel sprake van omgevingshinder door sluipverkeer.

De huidige mate van navigatiegebruik kan helpen om het verkeer te spreiden, maar doet dit vooral pas wanneer er al veel congestie optreedt. In de meeste gevallen leidt het huidige navigatiegebruik vooral tot sluipverkeer over ongewenste routes.



Figuur 4.1: Selectie resultaten van basisexperiment



Figuur 4.2: Selectie resultaten van nalevingsexperiment

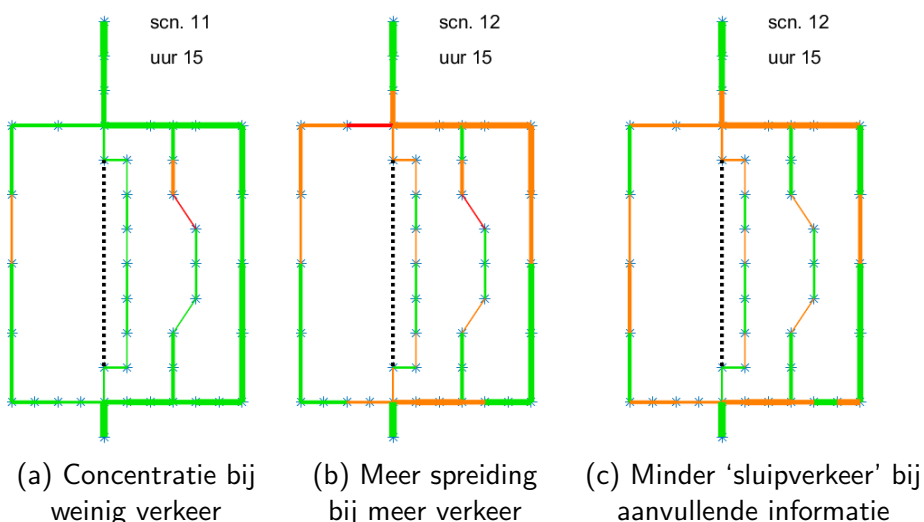
4.2 Nalevingsgedrag beïnvloeden

Het stimuleren van het opvolgen van de omleidingsroute kan zowel voor- als nadelen hebben. Bij lagere verkeershoeveelheden zorgt het stimuleren van de omleidingsroute voor minder hinder op alternatieve wegen, al dan niet gepaard met enkele minuten toegenomen reistijdverlies (figuur 4.2a). Het reiscomfort neemt toe doordat verkeer over meer geschikte wegen rijdt. Bij grotere verkeershoeveelheden zorgt het echter voor concentratie, waarbij veel verkeer over dezelfde route wordt gestuurd terwijl op de alternatieve wegen nog capaciteit over is (figuur 4.2b). Hierdoor ontstaan langere files en meer reistijdverlies, wat in de extreme modelsituaties tot in de uren oploopt. Het omgeleide verkeer ondervindt de meeste hinder, terwijl de omgeving grotendeels gespaard blijft.

Het stimuleren van navigatiegebruik door de nalevingsfactoren te beïnvloeden leidt tot een grotere spreiding van het verkeer, omdat voor elk individueel voertuig de beste route wordt bepaald. Hierdoor gaat tot 30% meer verkeer over de alternatieve wegen. Dit heeft als gevolg dat de hoofdroute wordt ontlast, maar ook veel verkeer binnendoor rijdt (figuur 4.2c). Dit leidt in veel gevallen tot zowel omgevingsoverlast als congestie, maar daar staat tegenover dat *extreme* vormen van congestie veelal worden voorkomen. Bij weinig verkeer is de overlast beperkt, maar zijn de effecten op de gemiddelde reistijd ook klein. Bij veel verkeer ontstaat meer omgevingshinder, maar blijft het reistijdverlies relatief laag doordat grote files worden vermeden. Het risico op overreactie is groot. Een voordeel van deze maatregel is dat meer verkeer op alternatieve wegen wordt verwacht, waarvoor beter passende maatregelen kunnen worden genomen die bijvoorbeeld de veiligheid van fietsers verbeteren.

4.3 DRIPs

Het gebruik van extra informatiemiddelen zoals DRIPs zorgt voor een hogere informatiegraad, waardoor meer verkeer gespreid kan worden. Daarnaast kunnen weggebruikers van meer informatie dan reistijd worden voorzien. Het toevoegen van DRIPs kan de weggebruiker beter sturen, omdat hij meer (betrouwbaar) bewijs heeft. Ook zou op DRIPs mogelijk voorspellende informatie kunnen worden weergegeven, hoewel dit lastig uit te voeren is. Het gebruiken van een nieuw informatiekanaal brengt echter ook het risico op oversaturatie (te veel informatie)



Figuur 4.3: Selectie resultaten van DRIP-experiment

met zich mee en de weggebruiker heeft tijd nodig om aan het middel te wennen. Zeker het gebruik van iconen moet herhaaldelijk worden gedaan voor een gunstig effect.

Ten opzichte van het basisscenario zorgt een vergroot informatiegebruik bij weinig verkeer voor concentratie en enige overreactie op de snelste weg (20% tot 50% meer verkeer op één route), zonder rekening te houden met omgevingshinder (figuur 4.3a). Bij veel verkeer zorgt het juist voor een betere spreiding, waardoor grote opstoppingen worden verminderd (figuur 4.3b).

Een algemene DRIP die zich vooral op reistijd richt, dient vooral als een vergroting van het aantal geïnformeerde reizigers. Het verschil met een toegenomen navigatiegebruik is dan ook niet extreem (maximaal 20% meer concentratie). Wel is er sprake van iets meer 'sluipverkeer'.

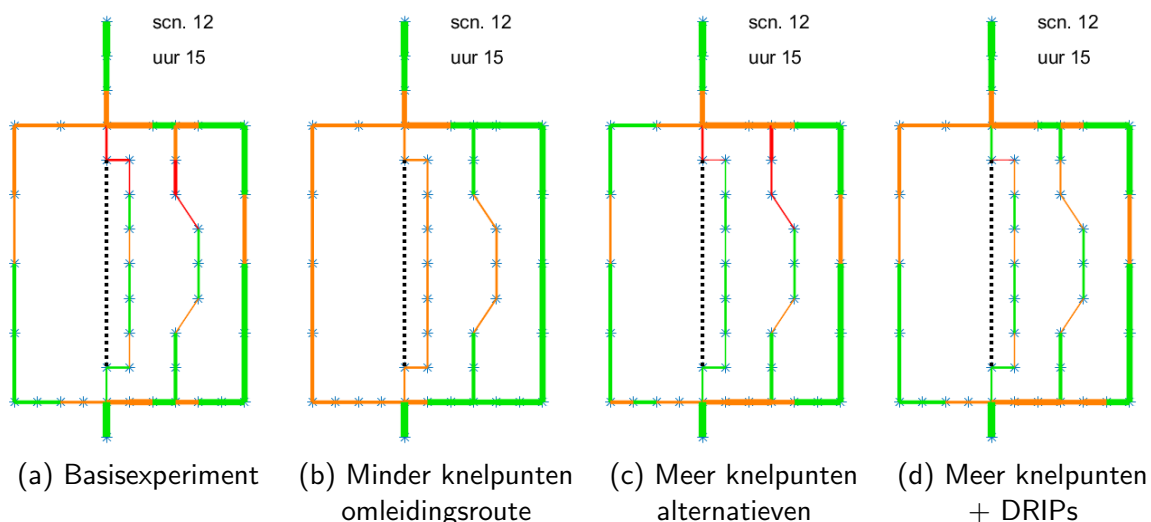
Een DRIP die meer (beschrijvende) informatie geeft over verschillende routes helpt om het probleem van meer 'sluipverkeer' tegen te gaan, omdat de weggebruiker zijn keuze op basis van meer factoren kan maken (figuur 4.3c). Zeker bij korte alternatieven heeft dit een effect (ongeveer 30% tot 50% afname). Het risico op oversaturatie is hierbij echter nog groter. Herhaaldelijk gebruik van de systemen kan zorgen voor meer vertrouwen met en in de informatie, mits de informatie betrouwbaar is.

4.4 Wegennet

Het tijdelijk aanpassen van het wegennet is een middel om geadviseerde routes door de navigatiesystemen of DRIPs te beïnvloeden, zonder dat het routeadvies 'achter de schermen' kunstmatig moet worden aangepast. Hiermee wordt het mogelijk om, ondanks de gesloten navigatiesystemen, toch de weggebruikers te sturen.

De afname van knelpunten leidt bij grotere verkeershoeveelheden wel tot een vermindering van de congestie (normaal enkele minuten, en extreme congestie voorkomen), omdat de capaciteit van de wegen enigszins toeneemt (figuur 4.4b). Dit gaat echter ten koste van het verkeer op de overige wegen, omdat deze voorrang moeten verlenen aan het omgeleide verkeer. De routekeuze van de weggebruiker verandert niet veel, dus er is weinig afname van sluipverkeer. Daarnaast kan het verminderen van knelpunten zorgen voor extra werkzaamheden en bijkomende hinder.

Het toevoegen van extra knelpunten op ongewenste routes leidt in sommige gevallen tot enig



Figuur 4.4: Selectie resultaten van DRIP-experiment

reistijdverlies voor het totaal, maar beperkt wel de verkeersdrukke op bepaalde punten (figuur 4.4c). Dit kan de hinder op deze wegen zowel verminderen door minder congestie voor regulier verkeer en minder omgevingshinder, als vermeerderen door een verminderde veiligheid vanwege mogelijke snelheidsovertredingen en door het risico dat congestie zich terugtrekt naar de hoofdroute. Bij de huidige informatiegraad hebben deze maatregelen echter maar een beperkt resultaat. Dit wordt vooral veroorzaakt door het grote aantal ongeïnformeerde reizigers, die geen kennis van de toe- of afname van knelpunten hebben en dus grotendeels voor dezelfde routes kiezen.

Om de effecten van de toegevoegde knelpunten bij een grotere informatiegraad te testen, is hetzelfde experiment uitgevoerd in combinatie met een DRIP. Hieruit blijkt dat de knelpunten bij een grotere informatiegraad wel degelijk zorgen voor een afname van verkeer over sluiproutes van ongeveer 10% à 20% (figuur 4.4d).

4.5 Overzicht

Aan de hand van de bovenstaande resultaten en de eerder beschreven beoordelingscriteria wordt een afweging gemaakt van de maatregelen. Een overzicht van de maatregelen staat in tabel 4.1. Als de nadruk wordt gelegd op veiligheid, doorstroming en het verminderen van sluipverkeer zijn vooral de opties met de DRIPs effectief, omdat deze het mogelijk maken veel weggebruikers te beïnvloeden. Eventueel kunnen deze gecombineerd worden met maatregelen aan het wegennet, als hierbij de veiligheid kan worden gewaarborgd. Bij deze combinatie zou de al aanwezige afname van verkeer over sluiproutes groter zijn.

Tabel 4.1: Overzichtstabel maatregelen en effecten

Optie	Veiligheid	Sluipverkeer	Algehele doorstroming	Harde hinder omgeleid verkeer	Kwaliteit communicatie	Zachte hinder omgeleid verkeer	Kwaliteit wegen	Hinder- betrouwbaarheid	Harde hinder omgevings- verkeer	Zachte hinder omgevings- verkeer	Kosten implementatie	Algeheel
Geen aanpassingen	/	-	-	/	/	/	/	/	/	-	+	/
Naleven borden stimuleren	+	+	/	-	+	+	+	+	+	+	/	/
Naleven navigatie stimuleren	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	/	-
DRIP als toename informatie	/	-	+	+	+	+	+	+	+	/	-	/
DRIP als uitbreiding informatie	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+
Knelpunten verwijderen	+	/	+	+	+	+	+	+	-	-	/	+
Knelpunten toevoegen	/	+	+	/	-	+	+	+	-	-	/	+
Knelpunten en DRIPs	+	+	+	+	/	+	+	+	-	+	-	+

5 Discussie

Voordat tot de conclusie wordt overgegaan zal eerst worden stilgestaan bij de beperkingen van de theorie, het model en de praktijk, om zo de uitkomsten goed in hun context te kunnen plaatsen en een beter afgewogen beslissing te kunnen nemen.

5.1 Algemeen

Het onderzoek heeft zich vooral gericht op een weekendafsluiting van een snelweg. Het is niet onderzocht in hoeverre de resultaten zijn te generaliseren voor een ander type afsluiting of een ander wegtype. Tot een zekere hoogte kunnen de uitkomsten waarschijnlijk breed geïnterpreteerd worden, omdat de meeste genomen stappen van algemene aard zijn.

Een ander belangrijk punt is de effectiviteit van communicatie. In het verslag is vooral gekeken naar de effecten van een uitgebreidere communicatie, maar het is onduidelijk welk gebruik van de middelen het effectiefst werkt. Zeker de manier van communicatie via tekstwagens of DRIPs moet verder worden onderzocht op zowel effectiviteit als veiligheid. Moet deze informatie prescriptief of descriptief zijn, moet de mogelijke variatie in reistijd kenbaar worden gemaakt, en wat moet je de weggebruiker vertellen naast de verwachte reistijd? Daarnaast vragen de verschillende maatregelen een open houding van de wegbeheerder en de overige betrokkenen. De interpretatie van de mogelijke aanpassingen heeft een sterke invloed op de mate waarin de maatregelen als acceptabel kunnen worden gezien.

Tenslotte hangen de resultaten af van de afwegingen die worden gemaakt tussen veiligheid en doorstroming en tussen de belangen van omgeleid en regulier verkeer. Tot welke hoogte kun je veiligheid opofferen voor een betere doorstroming of in hoeverre mag de doorstroming worden beperkt voor een veiligere situatie? Is het rechtvaardig om lokaal verkeer te verhinderen om hinder voor het omgeleide verkeer te beperken? In welke mate zijn weggebruikers bereid hun eigen belang op te offeren voor het algemeen belang of die van de omgeving? En tot welke hoogte kunnen hinderaspecten voor elkaar worden ingewisseld (bijvoorbeeld de keuze tussen een langere route waar je door kan rijden versus een snellere route met korte files)?

Deze afwegingen bepalen in sterke mate welk alternatief gewenst is. Verder onderzoek naar deze vragen en overleg met betrokkenen zal moeten uitwijzen welke aspecten bepalend zijn voor de keuze voor een alternatief.

5.2 Achtergrond

Het eerste deel van dit onderzoek richt zich op de bestaande literatuur over het onderwerp en de mogelijkheden van Google Maps en andere navigatiesystemen. De belangrijkste kanttekening die hierbij moet worden geplaatst is dat de meeste literatuur zich richt op het routekeuzege-

drag bij óf afsluitingen, óf dynamische route-informatie, maar dat er maar weinig literatuur beschikbaar is over een combinatie van beide onderwerpen.

De meeste stellingen over het weggedrag bij afsluitingen zijn daardoor gebaseerd op literatuur over situaties zonder afsluitingen, terwijl niet duidelijk is of het gedrag vergelijkbaar is bij een situatie met afsluiting. De meeste gebruikte literatuur is zo algemeen geschreven dat veel opmerkingen ruim interpreteerbaar zijn en ook jaren na het onderzoek blijven gelden.

Ook moet worden opgemerkt dat de moderne navigatiemiddelen constant in verandering zijn en dat het aantal gebruikers de laatste jaren toeneemt. De kennis over navigatiesystemen kan snel verouderen, dus is doorlopend onderzoek en maatregelen voor de lange termijn noodzakelijk.

5.3 Model

Veel uitspraken in dit rapport zijn gebaseerd op de uitkomsten van het verkeersmodel. Dit is echter een *toy model* dat op enkele simplificaties berust. Het model kan namelijk niet volledig worden gekalibreerd. Daarnaast maakt het gebruik van slechts één herkomst-bestemmingspaar, wat deels wordt gecompenseerd met het versimpelde achtergrondverkeer. Ook doet het model geen uitspraken over een verkeersafname door een gewijzigde modaliteitskeuze, vooraankondigingen of verre omleidingsroutes.

De routekeuze in het model berust op veel versimpelingen, omdat deze wordt gebaseerd op het hulpmiddel en niet op een volledig uitgewerkt gedachtenproces. Hierdoor wordt bij routekeuze geen rekening gehouden met de zichtbare verkeerssituaties (dynamische routekeuze), de verwachting van weggebruikers of het aantal vergelijkbare bronnen (bewijs). Hoe veranderende communicatie zich doorvertaalt naar een routekeuze wordt dus niet uitdrukkelijk behandeld.

Ook wordt er in het model gebruik gemaakt van de macroscopische vergelijkingen van Smulders, waarmee op een versimpelde manier verkeersintensiteit wordt vertaald naar een reistijd. Het verkeersgedrag bij congestie op microscopisch niveau wordt daarmee buiten beschouwing gelaten (zoals remgedrag, wisselen van rijbaan, schokgolven).

Daarnaast is ervoor gekozen om knelpunten niet als daadwerkelijke punten te implementeren, maar als links met een verminderde maximumsnelheid. Hierdoor wordt evengoed congestie veroorzaakt, maar door een andere reden. Het beeld van de congestie die door deze versimpelingen ontstaat blijft realistisch, maar een microscopisch verkeersmodel zou hier meer inzicht in geven.

5.4 Interpretatie resultaten

Voor de verkeersanalyses met het model is gebruik gemaakt van relatief extreme situaties, om zo een duidelijker beeld te verkrijgen. Hiermee worden de resultaten iets extremer dan realistisch, maar worden de effecten van maatregelen wel beter zichtbaar.

Daarnaast is het van belang om op te merken dat sluipverkeer niet hetzelfde is als congestie door sluipverkeer. Ook als er op de alternatieve routes geen congestie ontstaat, kan er nog steeds sprake zijn van sluipverkeer en bijbehorende onveilige situaties zoals te hard rijdend verkeer. De afweging ten opzichte van sluipverkeer moet daarom kritisch worden gemaakt, waarbij de *doelen* centraal moeten staan (dus: verbeteren veiligheid en geluidshinder in plaats van beperken sluipverkeer).

6 Conclusie

De recente ontwikkelingen van navigatiesystemen en het toegenomen gebruik ervan leiden tot een veranderend gedrag van de weggebruiker. De systemen bieden de mogelijkheid om de weggebruiker van meer informatie te voorzien over de actuele situatie op de weg, waardoor het verkeer meer dynamisch kan worden gestuurd. Daarnaast hebben de systemen de beschikking over veel informatie over de weggebruiker, die kan worden gebruikt bij het analyseren van het verkeer.

In het bijzonder bij wegafsluitingen, waarbij grote verkeershoeveelheden moeten worden omgeleid, zou een verbeterd gebruik van reisinformatie kunnen zorgen voor een vermindering van de hinder. Dit onderzoek heeft zich gericht op de mogelijke manieren om dit te bereiken. Concreet heeft dit onderzoek zich op de volgende hoofdvraag gericht:

Hoe kan hinder bij wegafsluitingen worden verminderd met het gebruik van moderne navigatiesystemen?

Die werd opgedeeld in drie onderdelen:

1. *Hoe kan informatie over de weggebruiker die uit de navigatiesystemen beschikbaar komt worden gebruikt?*
2. *Hoe kan informatie aan de weggebruiker worden doorgegeven via het navigatiesysteem?*
3. *In hoeverre moet de weggebruiker gebruik maken van reisinformatie tijdens zijn routekeuze?*

Middels contact met betrokken partijen, een literatuuronderzoek en een versimpeld verkeersmodel is verder ingegaan op deze vragen. In de volgende delen zullen beknopt de conclusies van het onderzoek en de aanbevelingen voor de opdrachtgever worden beschreven.

6.1 Informatie naar de weggebruiker

Moderne navigatiesystemen zijn een goed hulpmiddel om de weggebruiker van informatie te voorzien, omdat steeds meer systemen de beschikking hebben over actuele informatie. Gemiddeld heeft ongeveer een derde van alle weggebruikers beschikking over informatiekkanalen met toegang tot file-informatie. Van de weggebruikers met een lange of onbekende reis raadpleegt ongeveer de helft van de weggebruikers reisinformatie. In het bijzonder voor deze laatste groep is het van belang om een wegafsluiting correct met een navigatiesysteem te communiceren, omdat de verkeershoeveelheid met 10% à 15% zou kunnen afnemen door weggebruikers die ver om een afsluiting heen rijden.

Om de afsluiting correct in de navigatiesystemen te krijgen, kan bij verschillende systemen gebruik worden gemaakt van een formulier in de applicatie. Sommige systemen, zoals Waze en Flitsmeister, hebben een actieve gebruikersgroep die informatie zelf doorgeeft. Bij andere systemen, zoals Google Maps en Apple Maps is dit minder. Het doorgeven van een afsluiting aan de NDW kan ook door navigatiesystemen worden gebruikt, mits deze informatie betrouwbaar wordt gevonden. Momenteel is het niet mogelijk om aangepaste omleidingsroutes in de grootste navigatiesystemen te verwerken of om de navigatiesystemen meer informatie over de route-opties te laten geven.

Een manier om toch de routes in de navigatie te beïnvloeden is het vergroten van de reistijden over ongewenste routes met kunstmatige knellingen of het verkorten van de reistijden over gewenste routes door knellingen weg te halen. Hierbij worden knelpunten echter in veel gevallen slechts verplaatst, waardoor het lokale verkeer te lijden heeft onder het omgeleide verkeer. Daarnaast kunnen kunstmatige knelpunten de weggebruiker frustreren, waardoor hij meer hinder ondervindt en onveilige situaties kan veroorzaken. Het creëren van kunstmatige knellingen om de navigatie-routes te beïnvloeden is op dit moment daarom alleen aan te raden als de veiligheid kan worden gewaarborgd.

6.2 Informatie over de weggebruiker en het wegennet

Navigatiesystemen hebben een uitgebreide kennis van de historische verkeerssituatie en het wegennet. De informatie uit de systemen kan worden gebruikt om de wegsituatie en de verkeerssituatie rond een toekomstige afsluiting beter in kaart te brengen. Hiermee kunnen waarschijnlijke knelpunten en (sluip)routes worden opgespoord. Vervolgens kunnen maatregelen worden getroffen om de veiligheid te waarborgen en eventueel routes minder aantrekkelijk of juist aantrekkelijker te maken.

Het is op dit moment wegens niet mogelijk om individuele voertuigdata (FCD) te gebruiken bij het analyseren van het verkeer, voornamelijk wegens privacyredenen. Met deze informatie zou beter het verkeersgedrag en gegevens over de gewenste routes kunnen worden geanalyseerd, om daar een omleidingsroute op af te stemmen.

6.3 Gebruik informatie

Met het toenemende gebruik van navigatiesystemen en DRIPs zijn er meer geïnformeerde weggebruikers, waardoor de verkeerssituatie kan verbeteren. Weggebruikers zullen minder onnodig lange routes rijden, verkeersinformatie wordt effectiever en weggebruikers kunnen actiever worden gestimuleerd om routes te rijden die dicht bij het systeemoptimum liggen. De situatie kan echter ook verslechteren, omdat het risico bestaat op oversaturatie (te veel informatie), overreactie (te veel verkeer wisselt in één keer van route) en concentratie (alle verkeer over één route). Daarnaast houden navigatiesystemen geen rekening met omgevingsfactoren, waardoor andere hinder kan ontstaan.

Het gebruik van navigatiesystemen kan ook zorgen voor meer veiligheid, doordat weggebruikers zekerder zijn en meer aandacht voor het verkeer hebben doordat de weggebruiker niet zelf een route hoeft te zoeken. Ook zal de weggebruiker sneller op een bestemming kunnen aankomen, waardoor minder contactmomenten met andere voertuigen plaatsvinden. Daarentegen kan het echter ook zorgen voor meer afleiding.

Middels een verkeersmodel zijn drie verschillende types maatregelen onderzocht waarmee actief hinder kan worden verminderd voor de weggebruiker en de omgeving: het stimuleren van

omleidingsborden of navigatiegebruik, het aanvullen van informatie via wegkantsystemen en het beïnvloeden van informatie via ingrepen in het wegennet.

Een grootschalig gebruik van reisinformatie op zichzelf leidt allereerst tot een afname van congestie door spreiding van verkeer bij situaties met veel verkeer en meerdere mogelijke routes. Hierbij wordt echter ook veel verkeer over minder geschikte wegen geleid, waardoor meer hinder voor de omgeving ontstaat. Om dit sluipverkeer actiever te beperken, kan met het gebruik van DRIPs de informatievoorziening worden *aangevuld* met uitleg over de routes en de mogelijke hinder die onderweg wordt ondervonden (zoals files, dorpskernen en verkeerslichten), door gebruik te maken van duidelijke iconen. Met maatregelen aan het wegennet kunnen de routes kunstmatig worden geprioriteerd, waardoor maar een beperkte hoeveelheid verkeer over ongewenste routes wordt gestuurd, zowel in rustige als in drukke situaties. Het risico op oversaturatie (te veel informatie) is hierbij wel groot, waardoor de informatie op de borden kritisch moet worden bepaald.

6.4 Advies

Allereerst is het aan te raden om tijdens het ontwerpen van omleidingsroutes rekening te houden met de routes die door navigatiesoftware geadviseerd zullen worden, waarop maatregelen kunnen worden getroffen om de veiligheid en de doorstroming te verbeteren. Ook kan met de historische verkeersinformatie worden voorspeld waar zich knelpunten zullen voordoen, waarna deze op voorhand zouden kunnen worden verminderd. Vervolgens is het aan te raden om een afsluiting door te geven aan de aanbieders van navigatiesoftware, om zo langeafstandsverkeer binnen het gebied te verminderen en de kennis van de afsluiting te vergroten. Een verbeterde samenwerking met aanbieders van navigatiesoftware zal in de toekomst de mogelijkheden kunnen vergroten op het gebied van verkeersinformatie (uit samengevatte FCD) en kaartinformatie (verbeterde informatie over afsluitingen).

Om de weggebruiker meer wenselijk gedrag te laten vertonen kan hij op alle vier de aspecten *netwerk*, *persoonlijk*, *informatie* en *bewijs* worden beïnvloed. Bij situaties met veel verkeer en meerdere alternatieve routes is het aan te raden gebruik te maken van een combinatie van navigatiesystemen, wegkantsystemen en maatregelen aan het wegennet. Hiermee komen verschillende route-adviezen dicht bij elkaar *bewijs* en wordt verkeer dat veel hinder ondervindt of veroorzaakt actief tegengegaan.

Met dynamische route-informatie kan zo het verkeer beter worden gespreid, terwijl de weggebruiker met de wegkantsystemen (informatie over meerdere hinderfactoren, aspect *informatie*) en de maatregelen aan het wegennet (vertragen ongewenste routes, aspect *netwerk*) kan worden gestimuleerd om 'betere' routes te volgen. Hierdoor kan de weggebruiker beter geïnformeerd een routekeuze bepalen, waarbij ze rekening kunnen houden met de reistijd, congestie en de omgeving.

Het is van belang om bij het bepalen van de informatie op de wegkantsystemen veel waarde te hechten aan de betrouwbaarheid van de informatie en het gemak waarmee deze kan worden begrepen (aspect *persoonlijk*), omdat deze factoren sterk bepalen of de weggebruiker snel een advies zal opvolgen. Ook moet het voor de weggebruiker duidelijk zijn hoe de route moet worden vervolgd, wat met het gebruik van de traditionele (gele) omleidingsborden kan. Een voorbeeld van hoe dit kan worden uitgevoerd is weergegeven in figuur 6.1.

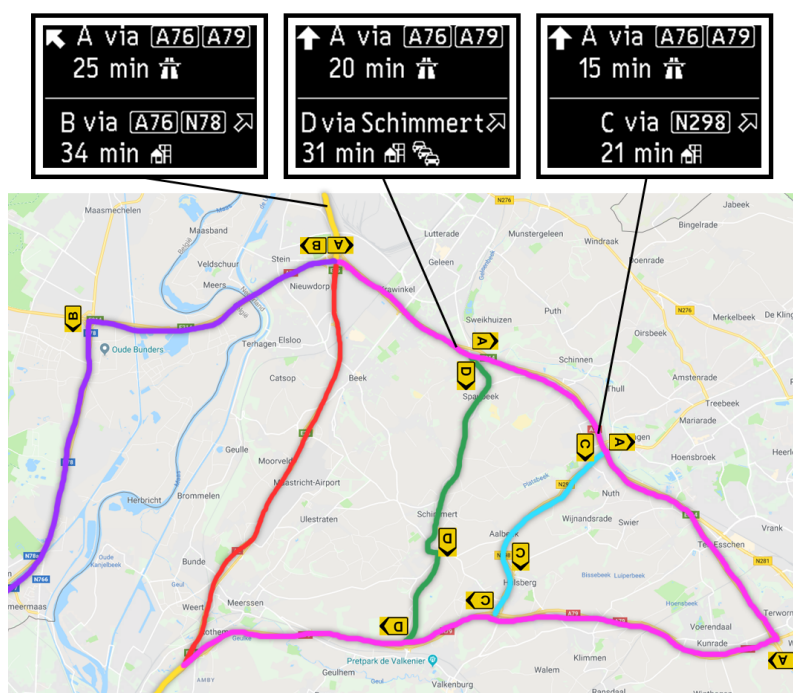
In de essentie leidt deze combinatie tot een scenario waarin — alleen bij weinig verkeersdrukke of bij veel congestie op de hoofdroute — een deel van het verkeer verspreid over het onderliggende wegennet wordt geleid. Extreme drukke in de omgeving wordt voorkomen, omdat deze routes

minder aantrekkelijk worden en het verkeer dynamisch wordt gestuurd.

Verder onderzoek en experimenten met het gebruik van DRIPs moeten aantonen in hoeverre de informatie de daadwerkelijke situatie verbetert. Uit experimenten met verschillende vormen van communicatie in de praktijk zal de meest effectieve vorm van communicatie moeten blijken. Hiermee kan het risico op oversaturatie worden verminderd.

Om vooraf betere inschattingen te kunnen maken van de effecten van de voorgestelde maatregelen, zou het model kunnen worden uitgebreid en gekalibreerd voor een specifiek project. Met een onderscheid tussen verkeersgroepen, reismotieven en weggebruikers kan het verkeersgedrag beter worden gemodelleerd. Hiermee kan dan per situatie een betere afweging worden gemaakt van de te gebruiken middelen.

Het algemene advies is om te accepteren dat mensen navigatiesystemen gebruiken om hun route te bepalen. Door de weggebruiker aanvullende informatie te geven kan hij beter geïnformeerd een route kiezen en met fysieke maatregelen kunnen de route-adviezen worden beïnvloed. Daarnaast kan op basis van verwachtingen de verkeersveiligheid worden verbeterd. Sluipverkeer is niet volledig te voorkomen, maar wel te controleren.



Figuur 6.1: Voorbeeld van mogelijk gebruik DRIPs

Bibliografie

- ANWB (2017). *Here WeGo*. URL: <https://www.anwb.nl/verkeer/tests/navigatie-apps/here-wego> (bezocht op 16-04-2018).
- Ben-Akiva, Moshe, Andre De Palma en Kaysi Isam (1991). "Dynamic network models and driver information systems". In: *Transportation Research Part A: General* 25.5, p. 251–266. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/019126079190142D>.
- Ben-Elia, Eran e.a. (2013). "The impact of travel information's accuracy on route-choice". In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 26, p. 146–159. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X12000927>.
- Bonsall, Peter en Tim Parry (1991). "Using an Interactive Route-Choice Simulator to Investigate Drivers' Compliance with Route Guidance Advice". In: URL: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1306/1306-007.pdf> (bezocht op 16-04-2018).
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2016). *Transport en Mobiliteit 2016*.
- Glas, ing. G. e.a. (2010). *Minder Hinder gezien vanuit de weggebruiker; Wegwerkzaamheden vanuit een gebruikersperspectief*. Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Google (2018a). *Google Map Maker has closed*. Google. URL: <https://support.google.com/mapmaker/answer/7195127> (bezocht op 09-04-2018).
- (2018b). *What categories of base map data is Google currently accepting?* URL: https://support.google.com/mapcontentpartners/answer/160418?hl=en&ref_topic=24789 (bezocht op 09-04-2018).
- Juhász, J. (2017). "Influence of Different Route-choice Decision Modes". In: *Transportation Research Procedia* 27. 20th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2017, 4-6 September 2017, Budapest, Hungary, p. 246–252. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517309559>.
- Kattan, Lina e.a. (2011). "Information provision and driver compliance to advanced traveller information system application: case study on the interaction between variable message sign and other sources of traffic updates in Calgary, Canada". In: *Canadian Journal of Civil Engineering* 38.12, p. 1335–1346. URL: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/l11-093>.
- Keegel, Robbert (2013). *Navigatie-updates, van gratis tot dik €400,-*. URL: <http://autovandaag.nl/autonieuws/9198/navigatie-updates-van-gratis-tot-dik-400/> (bezocht op 20-02-2018).
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2015). *Navigatiesystemen: wie, wanneer en waarom?* Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- (2017). *De rol van reisinformatie in het wegverkeer*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Localyse (2018). *ODIQ, Beter zicht op bereikbaarheid*. URL: <http://www.localyse.eu/nl/odiq> (bezocht op 25-04-2018).
- Maps, Google (2018). *Een fout op de kaart melden*. URL: <https://support.google.com/maps/answer/3094088> (bezocht op 09-04-2018).

- NDW (2017). *Nieuwsbrief Melvin*. URL: <http://www.ndw.nu/downloaddocument/06f29cfb1ede2a64b2c2d74nieuwsbrief%5C%201.pdf> (bezoekt op 16-04-2018).
- Privat, Ludovic (2015). "The Future Of The GPS Market". In: URL: <https://www.belegger.nl/Forum/Upload/2016/9459903.pdf> (bezoekt op 12-03-2018).
- Rijkswaterstaat (2007). *Moiliteitsonderzoek Nederland 2006; Tabellenboek*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- (2009). *Werkwijzer MinderHinder; Deel A, de hoofdlijn*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
 - (2011). *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. URL: <http://publicaties.minienm.nl/documenten/handboek-capaciteitswaarden-infrastructuur-autosnelwegen-cia-ver>.
 - (2014). *Werkwijzer MinderHinder; Deel B, de uitwerking*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
 - (2016). *Rijkswaterstaat waarschuwt via Flitsmeister voor werkzaamheden aan A50*. URL: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/nieuws/nieuwsarchief/p2016/07/rijkswaterstaat-waarschuwt-via-flitsmeister-voor-werkzaamheden-aan-a50.aspx> (bezoekt op 16-04-2018).
 - (2016). *Werkwijzer Minder Hinder Wegen; Deel B, Hoofdstuk Communicatie*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Sargent, Robert G. (1998). "Verification and Validation of Simulation Models". In:
- Schellevis, Joost (2015). *Google sluit Maps-editor na 'plassende Android'*. Tweakers. URL: <https://tweakers.net/nieuws/103019/google-sluit-maps-editor-na-plassende-android.html> (bezoekt op 09-04-2018).
- Statista (2012). *Number of people who use their cell phone for maps/GPS navigation in the United States from autumn 2009 to autumn 2012 (in millions)*. URL: <https://www.statista.com/statistics/231615/people-who-use-their-cell-phone-for-maps-gps-navigation-usa/> (bezoekt op 20-02-2018).
- Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (1992). *Naar een duurzaam veilig wegverkeer; Nationale Verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 1990–2010*.
- (2005). *Door met Duurzaam Veilig; Nationale Verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 2005–2020*.
 - (2012). *SWOV-Factsheet; Achtergronden bij de vijf Duurzaam Veilig-principes*.
- TomTom (2018). *Over MapShare Reporter*. URL: http://nl.support.tomtom.com/app/answers/detail/a_id/14921/~over-mapshare-reporter (bezoekt op 16-04-2018).
- TU Delft OpenCourseWare (2018). *Chapter 04: Fundamental diagrams*. URL: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/chapter-4-fundamental-diagrams/> (bezoekt op 17-05-2018).
- Wildervanck, Cees (2008). *10 Gouden regels; om rekening te houden met de weggebruiker*. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart.
- (2010). *Het MinderHinderboekje; Praktische Publieksvriendelijkheid bij Werk in Uitvoering*. Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

A Bijlages theorie

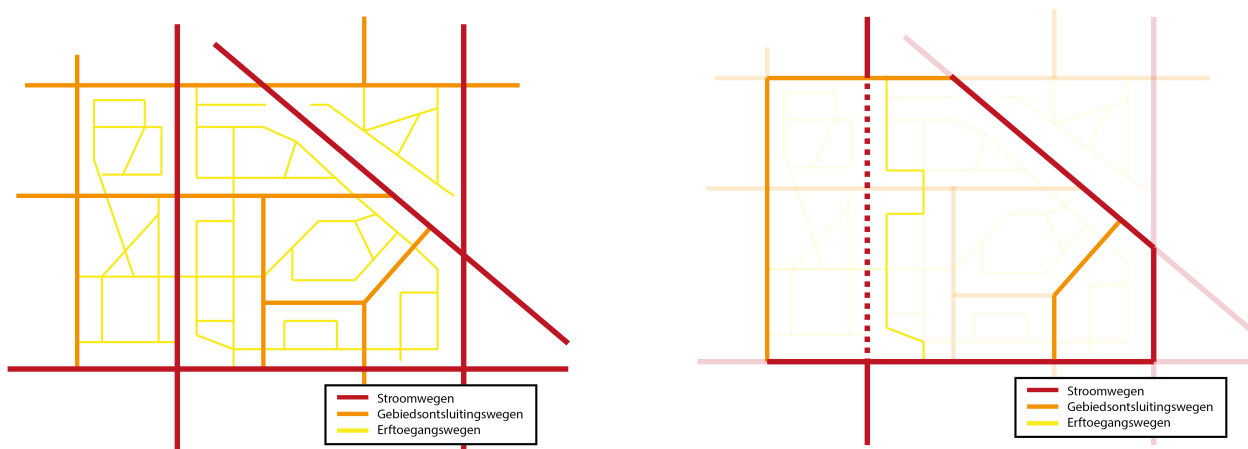
A.1 Wegennet

In de jaren negentig is door het SWOV de visie Duurzaam Veilig geïntroduceerd, die middels vijf leidende principes de verkeersveiligheid proactief en integraal moet verbeteren. Op zowel infrastructureel als educatief vlak zijn maatregelen getroffen om de verkeersveiligheid te verbeteren (SWOV, 2005).

De vijf leidende principes hebben als doel om vorm, functie en gebruik van wegen op elkaar af te stemmen, waardoor het wegennet voor de weggebruiker herkenbaar wordt. De vijf leidende principes zijn *functionaliteit*, *homogeniteit*, *vergevingsgezindheid*, *herkenbaarheid* en *statusonderkenning*. Uit deze principes is een hiërarchie van het wegennet ontstaan die bestaat uit drie soorten wegen: stroomwegen (SW), gebiedsontsluitingswegen (GOW) en erftoegangswegen (ETW) (SWOV, 2012). Deze types wegen beschikken in hoofdlijnen over afnemende capaciteiten per categorie, waarbij stroomwegen de grootste capaciteit hebben. Een algemeen beeld van een wegennet volgens deze hiërarchie is weergegeven in figuur A.1a.

Ondanks dat een wegafsluiting in elke situatie anders is, zijn omliggende netwerken dankzij Duurzaam Veilig vaak vergelijkbaar. Bij een afsluiting van een stroomweg zijn er vaak kleine erftoegangswegen in de dichte nabijheid, gebiedsontsluitingswegen iets verder weg en stroomwegen nog verder weg (figuur A.1b).

Voor de verkeerscapaciteiten van de verschillende wegen geldt een aantal vuistregels. Voor autosnelwegen wordt een capaciteit van 2100 mvt/h per rijstrook gebruikt (RWS, 2011). Voor enkelbaans gebiedsontsluitingswegen ligt dit ongeveer een kwart lager (1400-1600 mvt/h) en bij meerbaans wegen ongeveer gelijk (1800-2000 mvt/h). Deze waardes komen ongeveer overeen met de capaciteiten die voortkomen uit de fundamentele vergelijkingen van Smulders (TU Delft, 2018). Hier wordt in hoofdstuk 3 meer aandacht aan besteed.



(a) Duurzaam Veilig wegennet in algemene situatie

(b) Duurzaam Veilig wegennet bij afsluiting

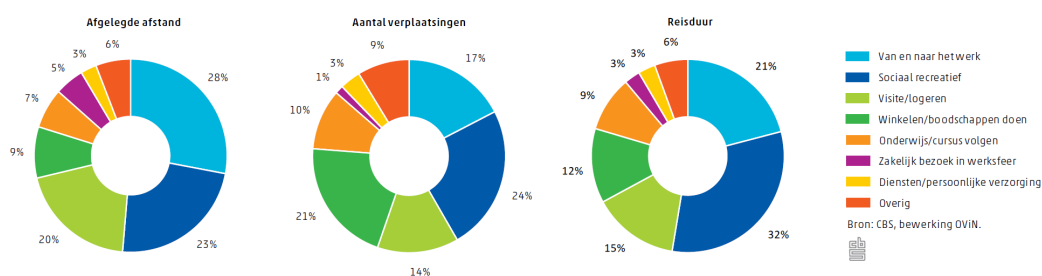
Figuur A.1: Duurzaam Veilig wegennet

A.2 Informatiegebruik en reismotieven

Door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) worden weggebruikers ingedeeld op basis van hun reismotief. Hiervoor worden acht categorieën gegeven (CBS, 2016). Ook geeft het hierbij de verdelingen van de afgelegde afstand, het aantal verplaatsingen en de reisduur naar deze categorieën (zie figuur A.2). Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen autoverkeer en andere modaliteiten.

Het Mobiliteitsonderzoek Nederland (RWS, 2007) biedt inzicht in de reismotieven van specifiek automobilisten. Als deze twee bronnen met elkaar worden vergeleken blijkt er een aanzienlijk verschil te ontstaan in de verdelingen op reismotief tussen automobilisten en *alle* weggebruikers (tabel A.1). De verschillen tussen 2006 en 2016 zijn daarentegen zeer klein. Bij beide onderzoeken wordt vrachtverkeer als een aparte categorie beschouwd. Bestelauto's en zware vrachtvoertuigen maken ongeveer 18% uit van de totaal afgelegde afstand in Nederland, tegenover 78% personenauto's (CBS, 2016).

Met het Mobiliteitspanel Nederland is onderzocht in hoeverre gebruik wordt gemaakt van In-Car-navigatiesystemen tijdens een rit, afhankelijk van het reismotief. Hierbij wordt op een schaal van 7 punten aangegeven hoe vaak de systemen worden gebruikt. De uitkomsten van dit onderzoek staan weergegeven in tabel A.2. Hieruit blijkt dat systemen vooral worden gebruikt bij reizen waar de route minder bekend is (KiM, 2017).



Figuur A.2: Afgelegde afstand, aantal verplaatsingen en reisduur naar reismotief (CBS, 2016)

Tabel A.1: Percentages afgelegde afstand van autobestuurders en totalen (op basis van km per persoon per dag (RWS, 2007), (CBS, 2016))

	Automobilist 2006	Totaal 2006	Totaal 2016
Van en naar het werk	38%	28%	28%
Sociaal recreatief	14%	22%	23%
Visite/logeren	17%	20%	20%
Winkelen, boodschappen doen	8%	9%	9%
Onderwijs/cursus volgen	2%	6%	7%
Zakelijk bezoek in de werksfeer	12%	8%	5%
Diensten/persoonlijke verzorging	2%	2%	3%
Overige	6%	5%	6%
Totaal	100%	100%	101%

Motief	Nooit	2	3	4	5	6	Altijd	Nvt
Werk	54,9	4,4	2,2	2,9	2,3	1,8	4,4	27,0
Zakelijke reis	15,4	2,9	3,1	5,9	7,6	8,7	14,2	42,2
School of studie	36,0	3,5	2,0	3,2	2,0	1,8	2,7	48,8
Dagelijkse boodschappen	77,9	3,1	0,9	1,2	0,6	0,4	1,5	14,4
Winkelen	46,3	15,3	8,2	9,0	4,8	2,1	2,8	11,5
Visite	15,3	16,7	16,2	20,0	14,5	7,0	7,2	2,9
Kinderdagverblijf	45,7	1,8	0,6	1,1	0,6	0,1	1,2	48,6
Dagje uit	7,1	5,7	7,6	11,5	13,8	17,2	28,6	8,3
Uitgaan	26,4	13,6	11,2	12,3	9,4	5,6	6,2	15,3
Sporten	54,0	3,1	1,8	1,8	1,3	0,6	1,3	35,9
Naar buitenland	7,6	2,9	2,3	4,8	6,2	11,7	48,5	16,0
Lange reis (>150 km)	3,2	4,2	5,4	8,9	12,9	17,3	42,5	5,4

Tabel A.2: Relatieve frequenties raadplegen in-carsystemen voor reisinformatie in relatie tot de verschillende reismotieven (KiM, 2017)

A.3 Informatieprofielen

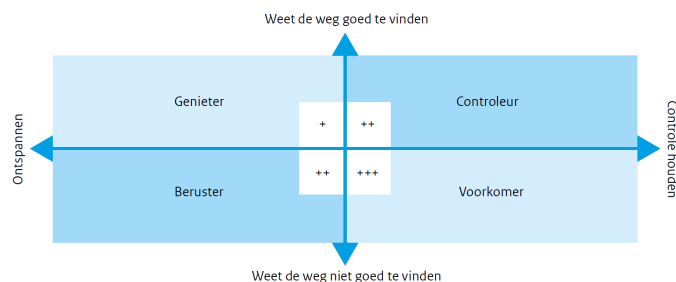
Gebruikers van reisinformatie tijdens een rit zijn weer onder te verdelen in vier groepen: de controleur, de voorkomer, de genieter en de beruster (KiM, 2017). De vier profielen zijn weergegeven in figuur A.3.

De *controleur* gebruikt de reisinformatie als een actief hulpmiddel tijdens zijn rit. Controleurs zijn vaak zakelijke reizigers. Hij heeft zelf wel kennis van het wegennet en het gebruikelijke verkeer, maar gebruikt de informatie om efficiënter te reizen. Hij heeft een gemiddelde behoefte aan route-informatie. Ook op andere manieren probeert de controleur zijn reis efficiënter te maken, door bijvoorbeeld om gebruikelijke drukte heen te plannen. Voor de controleur is het vooral belangrijk om op tijd te komen en heeft kennis van het wegennet. Hij zal daarom snel alternatieve routes volgen, als deze sneller lijken te zijn. Om de controleur te beïnvloeden is het van belang dat de geadviseerde route ook daadwerkelijk het snelst is en de controleur dit ook gelooft.

De *voorkomer* reist ook vaak zakelijk, maar heeft minder kennis van het netwerk en het verkeer. Hij gebruikt de route-informatie actiever en vertrouwt hier meer op, omdat hij niet goed zelfstandig kan reizen. Hij wil graag voorkomen dat hij te laat komt en plant daardoor extra marges in, waardoor hij vaak te vroeg aankomt. Vanwege deze marges heeft de voorkomer ook minder de neiging om files te vermijden, omdat hij er op voorhand rekening mee heeft gehouden. De voorkomer is in principe goed te sturen met prescriptieve informatie, maar het is wel van belang dat hij een eenduidig advies krijgt. Als de voorgestelde routes verschillen, wordt hij minder voorspelbaar. Om hem te sturen moet gebruik worden gemaakt van het feit dat hij adviezen blindelings opvolgt.

De *beruster* ziet files als een voldongen feit en accepteert de extra reistijd. File-informatie is voor hem minder van belang. Ook kent de beruster het netwerk minder goed, maar hij blijft hier rustig onder. Routegeleiding helpt hem zijn weg te vinden. De beruster is goed te sturen met route-informatie als deze informatie betrouwbaar is en uit verschillende bronnen overeenkomt. Bij afwijkende adviezen wordt hij minder voorspelbaar.

De *genieter* reist ontspannen en heeft een goede kennis van het netwerk. Hij gebruikt routenaavigatie vooral om het laatste gedeelte van zijn route te bepalen. Fileinformatie wordt door de genieter niet veel gebruikt. Het te laat op een bestemming aankomen is voor hem geen groot probleem. De genieter zal zich vooral laten leiden als het route-advies grote verbeteringen toont ten opzichte van wat hij zelf van plan was. Dit kan zowel op reiscomfort als reistijd slaan. Een reistijdverschil van enkele minuten zal hem niet veel uitmaken, maar bij grotere verschillen zal hij zich goed laten sturen.



Figuur A.3: Schema met de vier profielen. De plustekens geven de behoefte aan informatie aan. (KiM, 2017)

A.4 Communicatiemiddelen Rijkswaterstaat

Met het programma MinderHinder (RWS, 2014) stelt Rijkswaterstaat dat hinder kan worden beperkt door goed en vroegtijdig informeren, omdat weggebruikers een alternatieve route of tijdstip kunnen kiezen. Een volledige communicatie geeft daarbij onder andere antwoord op de volgende vragen: *Wat is de reden van de werkzaamheden?*, *Hoelang duurt de vertraging?* en *Welke omleiding of alternatieve route is er, uitgewerkt in alle windrichtingen?*

Om een antwoord op deze vragen te kunnen geven heeft Rijkswaterstaat een afwegingskader opgesteld waarin bij afsluitingen wordt aangegeven welke communicatiemiddelen moeten worden ingezet per hindercategorie (tabel A.3). Deze middelen staan weergegeven in tabel A.4.

		<1000	<10.000	<100.000	<1.000.000	>1.000.000
Klasse 0: Geen hinder	-					
Klasse 1: Kleine hinder	Geen file: vertraging < 5 minuten	E	E	D	C	B
Klasse 2: Matige hinder	5 tot 10 minuten vertraging door file of omrijden	D	D	C	C	B
Klasse 3: Grote hinder	10 tot 30 minuten vertraging door file of omrijden	C	C	B	A	A
Klasse 4: Zeer grote hinder	> 30 minuten vertraging door file of omrijden	C	B	B	A	A

Tabel A.3: Hindercategoriematrix op basis van hinderklasse en aantal gehinderden (RWS, 2009)

Categorie	Gevolgen voor weggebruiker	Communicatiemiddelen
A	Zeer grote werken met landelijke uitstraling	<ul style="list-style-type: none"> - Advertenties regionaal/lokaal - Persbericht regionaal/lokaal - Sociale media - Website rijkswaterstaat.nl - Informatie langs de weg - Inzet 0800-8002 - Q&A lijst - Eventueel digitale internet pdf - Eventueel brief - Eventueel banner website
B	Grote werken met regionale uitstraling	<ul style="list-style-type: none"> - Persbericht regionaal/lokaal - Website rijkswaterstaat.nl - Informatie langs de weg - Inzet 0800-8002 - Q&A lijst - Eventueel digitale internet pdf - Eventueel sociale media - Eventueel brief
C	Middelgrote werken met regionale uitstraling	<ul style="list-style-type: none"> - Persbericht regionaal/lokaal - Website rijkswaterstaat.nl - Informatie langs de weg - Inzet 0800-8002 - Q&A lijst - Eventueel digitale internet pdf - Eventueel sociale media - Eventueel brief
D	Kleine werken	<ul style="list-style-type: none"> - Persbericht lokaal - Informatie langs de weg - Inzet 0800-8002 - Website rijkswaterstaat.nl - Eventueel sociale media
E	Kleine afzettingen	<ul style="list-style-type: none"> - Informatie langs de weg - Website rijkswaterstaat.nl - Inzet 0800-8002 - Eventueel sociale media

Figuur A.4: Inzet communicatiemiddelen Rijkswaterstaat per hindercategorie (RWS, 2016)

B Bijlages modelwerking

B.1 Modelwerking algemeen

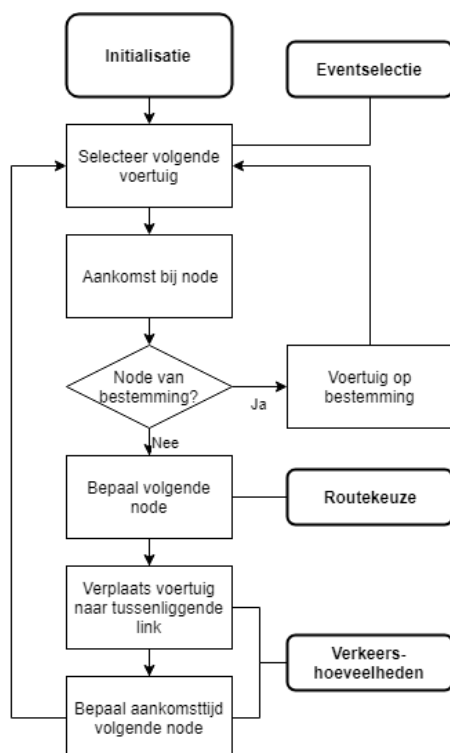
In deze bijlage zal de werking van het model verder worden toegelicht. Het model is opgebouwd uit meerdere onderdelen, die achtereenvolgens zullen worden toegelicht. In hoofdlijnen verloopt het model volgens figuur B.1.

Initialisatie

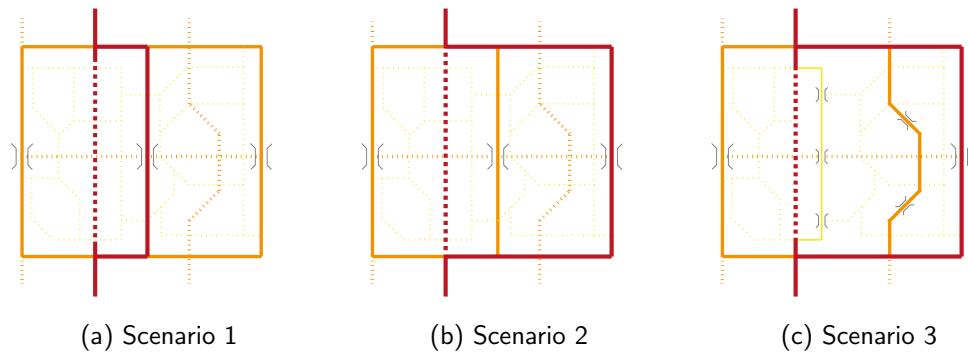
In het begin van het model wordt een aantal basisstappen uitgevoerd die in de rest van het model van pas komen. In deze stap wordt een aantal databases opgesteld die kenmerken van de voertuigen, weggebruikers, het netwerk en de gebeurtenissen bevatten. In het model zijn deze databases de grootste informatievoorzieners voor de modelstappen die worden doorlopen. In elke modelstap worden de databases geüpdatet met de actuele informatie in het model. Schematisch wordt de initialisatie weergegeven in figuur B.4.

De vertrektijd van de voertuigen is gebaseerd op de historische verdeling van de verkeersintensiteit op verschillende locaties in het weekend (zie bijlage E.1). Hieruit is een verdeling gehaald die per uur van de dag aangeeft hoe groot percentage van het totale verkeer op die dag in dat uur vertrekt. Deze verdeling is gebaseerd op de intensiteiten op zaterdag en zondag, zodat de situatie rond een weekendafsluiting wordt weergegeven. Vervolgens wordt het verkeer per uur willekeurig verdeeld over de minuten in dat uur. De algemene verdeling die in het model wordt aangehouden is weergegeven in figuur B.3.

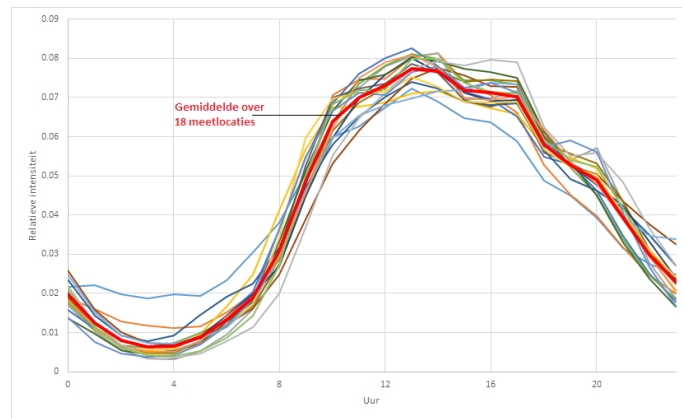
De drie netwerken waarover het verkeer wordt gemodelleerd zijn weergegeven in figuur B.2. In bijlage E.2 zijn de tabellen weergegeven met de daadwerkelijke kenmerken van de links. Door de combinaties van achtergrondverkeer, modelverkeer en netwerken komt het totaal van scenario's per experiment op 12 (tabel B.1).



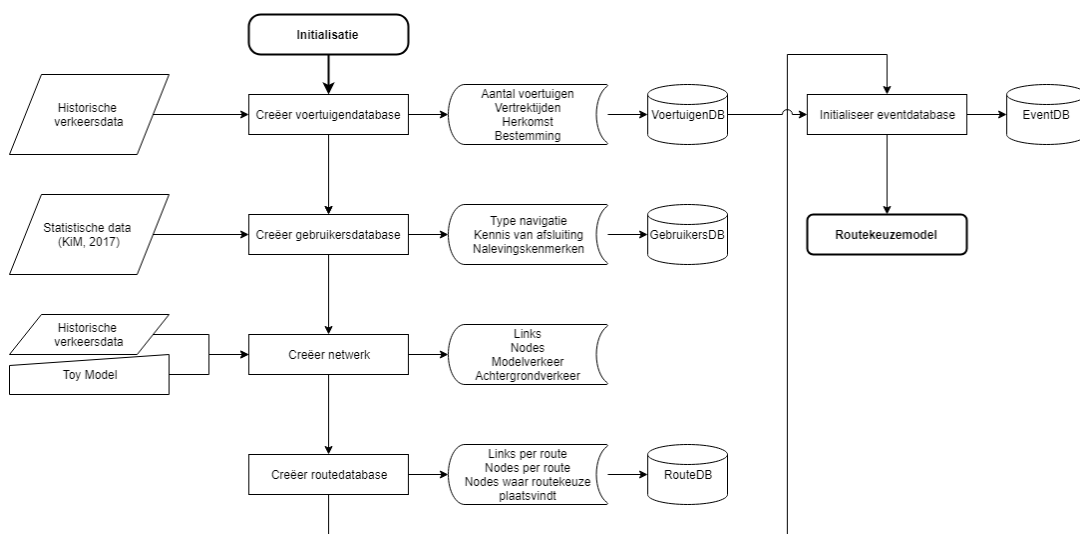
Figuur B.1: Algemene modelstructuur



Figuur B.2: Scenario's wegennet



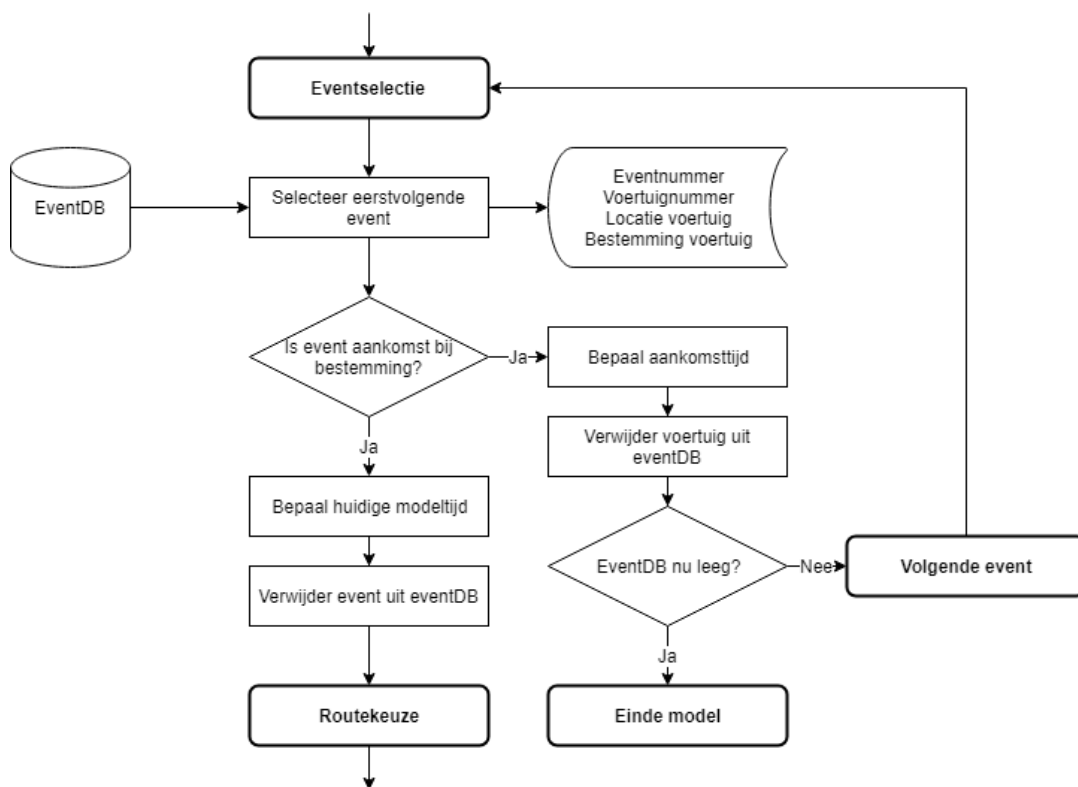
Figuur B.3: Verdeling van het verkeer over de dag op 18 verschillende meetlocaties en gemiddelde



Figuur B.4: Modelstructuur initialisatie

Tabel B.1: Overzicht verschillende scenario's

	Wegennet	Achtergrondverkeer	Omgeleid verkeer
1	Weinig	Weinig	Weinig
	Veel	Veel	Veel
2	Weinig	Weinig	Weinig
	Veel	Veel	Veel
3	Weinig	Weinig	Weinig
	Veel	Veel	Veel



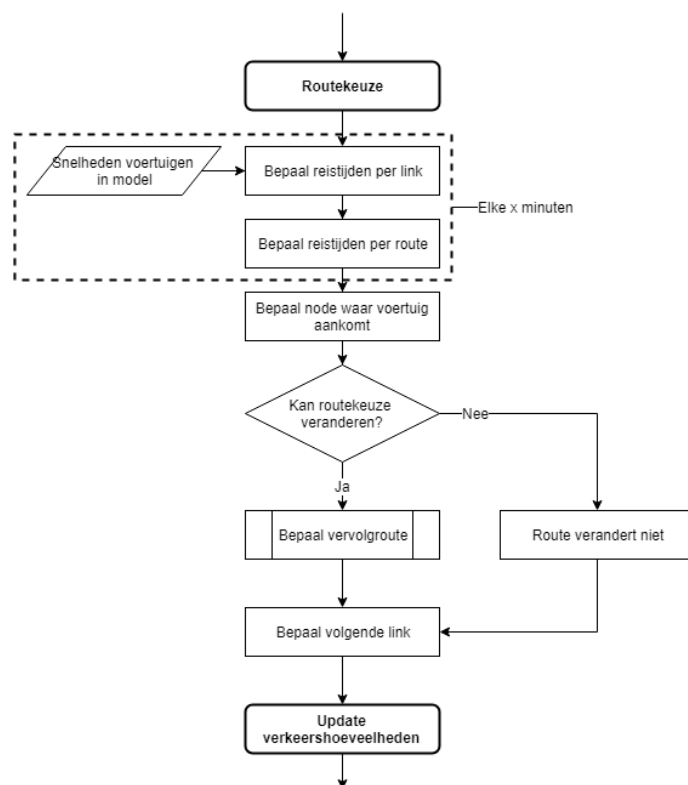
Figuur B.5: Modelstructuur eventselectie

Routekeuze

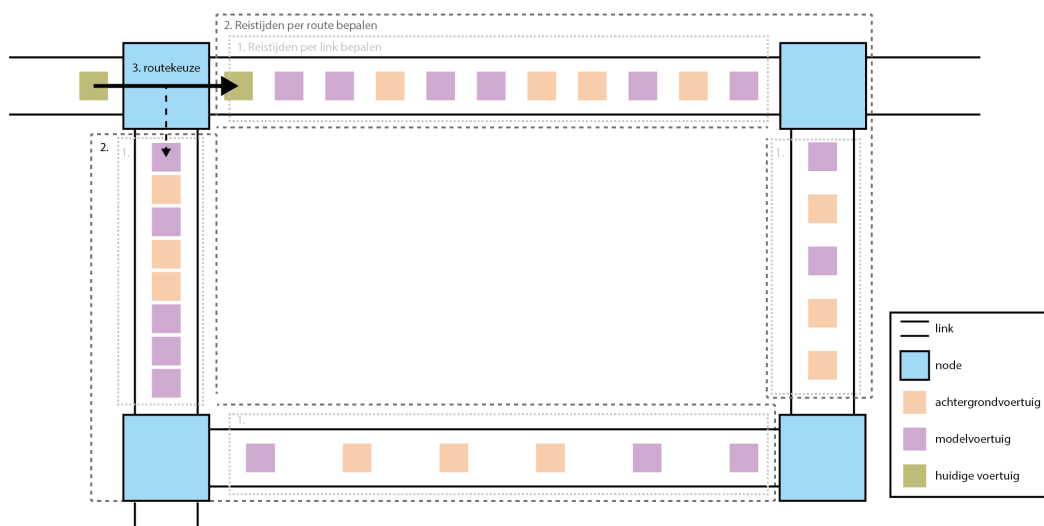
Na het opstellen van de verschillende databases loopt het model de stappen in de eventdatabase op volgorde door. Bij elke stap wordt de huidige locatie van het voertuig bepaald, waarna wordt bepaald wat de volgende locatie zal zijn en wanneer hij daar aankomt. Dit wordt vervolgens als een nieuw event in de database opgeslagen.

Bij het bepalen van het event wordt ook gecontroleerd of het voertuig op zijn bestemming aankomt (het voertuig wordt verwijderd) en of dit het laatste voertuig in de lijst is (het model eindigt). Deze modelstap is weergegeven in figuur B.5.

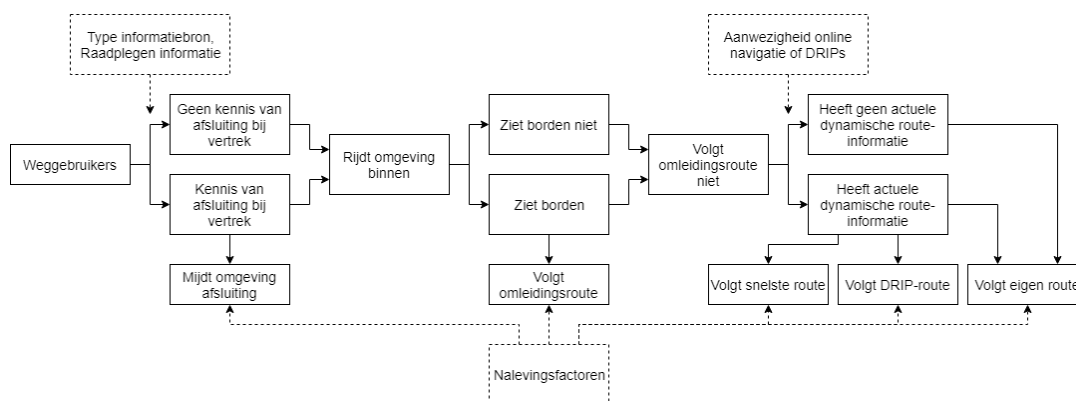
Nadat een event is geselecteerd wordt voor het bijbehorende voertuig bepaald via welke link hij zijn route vervolgt, volgens het schema in figuur B.6. Schematisch wordt deze stap ook weergegeven in figuur B.7.



Figuur B.6: Modelstructuur routekeuze



Figuur B.7: Schematische modeluitleg



Figuur B.8: Opties voor routekeuze

In deze modelstap wordt eerst (elke x minuten) voor elke mogelijke route bepaald hoe lang de historische reistijd is over die route (over de meest recente y minuten). Daarna wordt bepaald op welke node het voertuig aankomt en of er op deze node een keuze kan plaatsvinden. Als dat zo is, wordt opnieuw de routekeuze van dat voertuig bepaald, afhankelijk van de persoonlijke eigenschappen en de historische route-informatie.

Voor het bepalen van de route worden drie opties gegeven. Dit is schematisch weergegeven in figuur B.8.

De eerste optie is de route die door middel van de gele borden wordt aangegeven. Deze route wordt genomen door de mensen die niet over een online navigatiesysteem beschikken maar wel genoeg nalevingskenmerken vertonen.

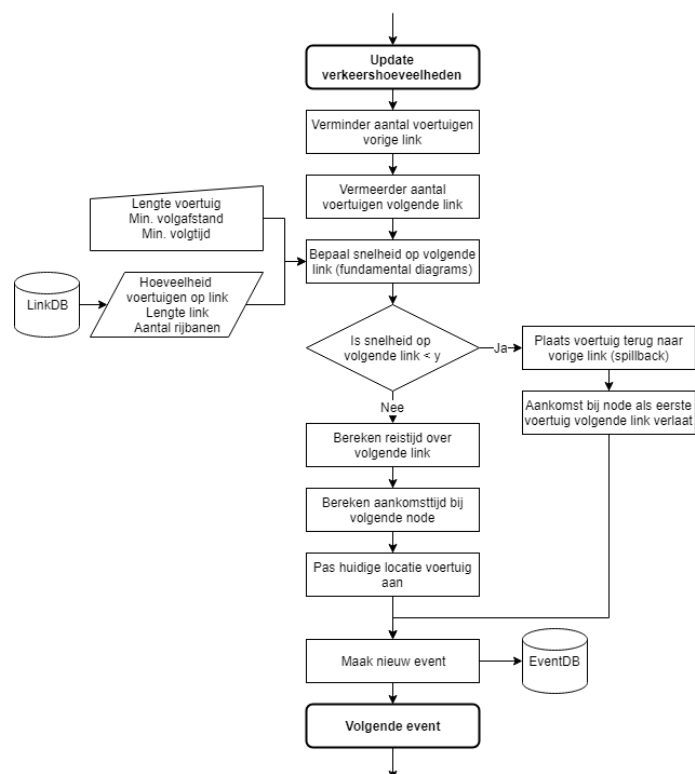
De tweede is de route die in de afgelopen 10 minuten het snelste alternatief is geweest. Deze route wordt genomen door mensen die over een online navigatiesysteem en waarvan de nalevingskenmerken gunstig zijn.

De derde optie wordt door de overige weggebruikers genomen en is een willekeurige route uit alle mogelijkheden met een binomiale kansverdeling naar lengte van de route. Dit wil zeggen dat voor elk van de mogelijke routes de lengte wordt bepaald. Het 'nut' van die route is vervolgens $V = 1/\text{lengte}$, wat vergelijkbaar is met de reistijd bij een constante snelheid. De kans dat deze route wordt gekozen wordt dan bepaald met de vergelijking:

$$p_i = \frac{\exp(\mu V_i)}{\sum \exp(\mu V)} \quad (\text{B.1})$$

De keuze voor een route wordt dus gebaseerd op het middel waarmee de route wordt bepaald. Dit is anders dan de meer gebruikelijke methode om een routekeuze af te laten hangen van het waargenomen nut (die wel wordt gebruikt bij de derde keuze-optie). Er wordt dus geen route gekozen uit een set van routes, waarbij de keuze afhankelijk is van de verwachte reistijd over die route, maar er wordt een keuze gemaakt tussen de hulpmiddelen die als leidend worden beschouwd.

Er is hiervoor gekozen omdat het waargenomen nut van een route van zo veel factoren afhankelijk is dat het vaststellen van deze factoren en hun effecten te complex is voor de strekking van dit onderzoek. Zeker bij het bepalen van het waargenomen nut van een omleidingsroute spelen andere factoren een rol, zoals de verwachte lengte, de richting en het verwachte reiscomfort, welke weer afhankelijk zijn van de bekendheid van de weggebruiker en zijn ervaring. Als al deze factoren meegenomen zouden worden in het model wordt het een zeer tijdrovend proces,



Figuur B.9: Modelstructuur verkeershoeveelheden

dat de uitkomsten slechts beperkt verbeterd. Deze stap wordt versimpeld door de uitkomst van al deze factoren te gebruiken en de keuze als al genomen te beschouwen.

Nadat een te volgen route is bepaald wordt bepaald naar welke link het voertuig verplaatst moet worden.

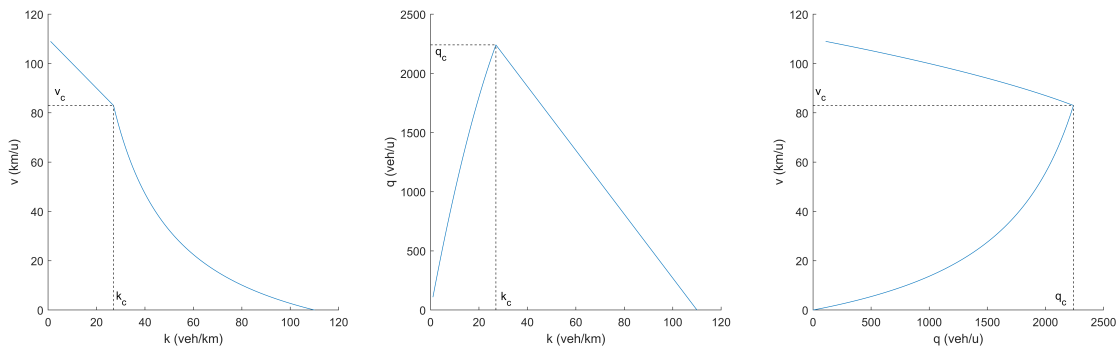
Verkeershoeveelheden

Het betreffende voertuig wordt vervolgens toegevoegd aan de volgende link en verwijderd van de vorige. Daarna wordt middels de fundamentele vergelijkingen van Smulders (figuur B.10) de snelheid over die link bepaald. Als deze snelheid zo laag is dat het voertuig niet bij de link kan worden geplaatst, wordt het voertuig teruggezet naar de vorige link. Er wordt dan bepaald wanneer er weer een plaats is op de link. Het voertuig zal net zo lang op de vorige link blijven totdat er op de volgende weer ruimte is. Deze modelstap is schematisch weergegeven in figuur B.9 en B.11.

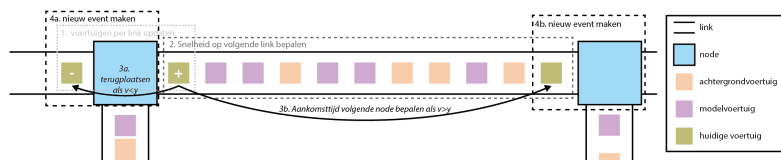
De vergelijking die als leidend wordt gebruikt is de volgende (TU Delft, 2018):

$$k = \frac{\text{modelverkeer} + \text{achtergrondverkeer}}{\text{lengte van link} \times \text{aantal rijbanen}}; \quad (\text{B.2})$$

met k de voertuigdichtheid in voertuigen per kilometer en waarbij modelverkeer het aantal voertuigen op de link is dat door de afsluiting direct wordt gehinderd en achtergrondverkeer het aantal voertuigen op de link dat er ook zou zijn zonder afsluiting. Dit is als het ware het reguliere verkeer dat zich sowieso op het wegvak zou bevinden. De lengte van de link is in kilometers en het aantal rijbanen een geheel getal.



Figuur B.10: Fundamentele diagrammen Smulders (op basis van TU Delft (2018))



Figuur B.11: Voertuigverplaatsing schematisch

Vervolgens worden de kritische dichtheid en doorstroming bepaald en wordt de snelheid berekend met de volgende vergelijking:

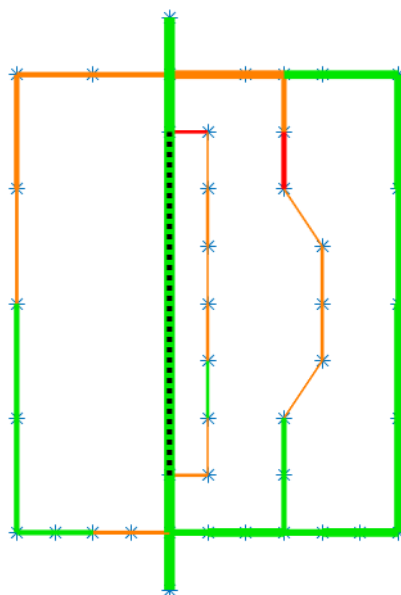
$$v(k) = \begin{cases} v_{free} \left(1 - \frac{k}{k_{jam}}\right) & \text{als } k \leq k_c \\ \gamma \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_{jam}}\right) & \text{als } k > k_c \end{cases} \quad (B.3)$$

Met v de snelheid in km/u, $k_c = 27$ veh/u, $k_{jam} = 110$ veh/km en $\gamma = v_{free}k_c$. Hierbij wordt aangenomen dat $v_{free} \approx 0.9 \times v_{max}$.

Daarna wordt een event gemaakt voor de aankomst bij de node aan het eind van de link, gebaseerd op de reistijd over die link en wordt het volgende event uit de eventlijst gekozen.

Plot

Tenslotte wordt op basis van de kenmerken van de links en nodes een plot gemaakt, waarbij de gemiddelde snelheid over een link bepaalt welke kleur deze krijgt. Is de gemiddelde snelheid groter dan 70% van de maximumsnelheid blijft de link groen, is deze tussen de 70% en 30% wordt hij oranje en is hij lager dan 30% wordt de link rood. Er is voor gekozen om het percentage voor oranje iets hoger te leggen, zodat ook kleinere congestie zichtbaar wordt. De lijndiktes zijn gebaseerd op de maximumsnelheid. Een voorbeeld van een plot staat in figuur B.12.



Figuur B.12: Voorbeeldplot

B.2 Validatie model

Hoewel het model een toy-model betreft en daarmee geen specifieke situatie simuleert, kan de validiteit van het model wel worden bekeken. Op basis van het modelleerproces geformuleerd door Sargent (1998) (figuur B.13) kan het model op vier punten worden gecontroleerd: het conceptuele model, het gecomputeriseerde model, operationaliteit en de gegevens. Voor elk van deze punten zal worden geanalyseerd in hoeverre het model een realistische stap maakt en op welke punten het model op aannames of simplificaties berust.

Conceptueel-model-validiteit

Het verwerken van de probleem-entiteit tot een conceptueel model is uitgevoerd op basis van verschillende modellen uit de literatuur. In een artikel van Bonsall en Parry (1991) wordt het onderstaande voorgesteld. Deze benadering komt sterk overeen met de gebruikte methode.

"The second phase of the model would ideally be an event-based microsimulation of individual drivers on a specific day. (...) The demand matrix would then be transformed into an ordered list (depending on departure time) of individual drivers labelled with their characteristics including destination, whether equipped with IVRGI, their strategic route and cost skims (this last having been defined for particular groups of driver in the first phase of the model).

Events in the ordered list would then be processed in turn. Thus the first driver would set off and the program would calculate the time it would take him, given current conditions, to reach his first junction/decision point. His arrival at that point would be an event and would be slotted into the appropriate place in the ordered list. Housekeeping records of the current flow or queue on individual links would be updated and the next event in the ordered list would be dealt with ..., and so on until the list was exhausted or the end of period to be simulated was reached." (Bonsall and Parry, 1991)

Ook komt het conceptuele model in hoofdlijnen overeen met het model van Ben-Akiva, Palma en Isam (1991) (figuur B.14), waarin per knooppunt wordt bepaald of en hoe de routekeuze verandert op basis van informatie.

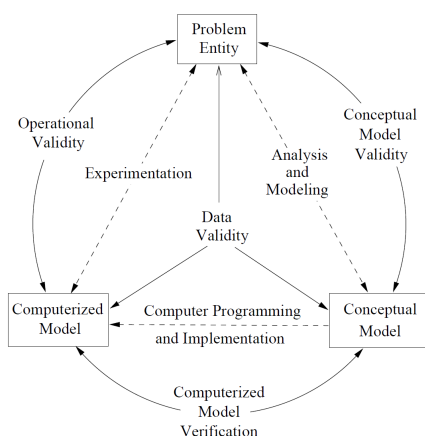
Zowel de literatuur als het eigen conceptuele model benadert routekeuze als een beslissing die plaatsvindt bij knooppunten. Hoewel dit voor het modelleren goed kan werken, verschilt dit met de realiteit. In werkelijkheid wordt een beslissing niet genomen op een splitsing van wegen, maar enige afstand daarvoor, zodat bij de splitsing zelf de routekeuze kan worden uitgevoerd. Voor de uiteindelijke uitkomsten van het model is deze abstractie niet van groot belang.

Gecomputeriseerd-model-validiteit

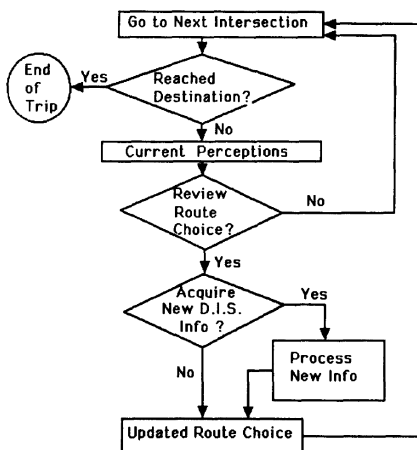
Na het opstellen van het conceptuele model moet de stap worden gemaakt naar het gecomputeriseerde model, in dit geval het MATLAB-model. Wat betreft het globale model kan dit vrij goed zonder veel aanpassingen.

De routekeuze in het model wordt gebaseerd op het middel waarmee de route wordt bepaald en empirische data, in plaats van het meer gangbare principe van nutoptimalisatie waarbij het waargenomen nut van elke optie (voornamelijk reistijd) wordt afgewogen. De invloed van persoonlijke eigenschappen wordt daarmee een soort black box die buiten beschouwing wordt gelaten, maar waardoor het model wel gemakkelijk versimpeld kan worden.

Op dit punt kan het model veel verder worden uitgebreid, waardoor het routekeuzegedrag zowel realistischer als complexer wordt, bijvoorbeeld door het implementeren van nutsvergelijkingen



Figuur B.13: Modelproces (Sargent, 1998)



Figuur B.14: En-route driver behaviour (Ben-Akiva, Palma en Isam, 1991)

op basis van specifieke hindersoorten, het verwerken van historische keuzes en het toevoegen van route- en informatiebetrouwbaarheid als factoren die keuzes beïnvloeden. Verder zou de ervaring van de weggebruiker kunnen worden gemodelleerd over een langere tijd. Om de complexiteit, creatietijd en de rekestijd van het model te beperken wordt deze simplificatie uitgevoerd.

In het model worden reistijden over links bepaald als een macroscopische grootheid aan de hand van de fundamentele vergelijkingen van Smulders, terwijl het gebruik van microscopische vergelijkingen vermoedelijk een vollediger resultaat zou geven. Microscopische gebeurtenissen (voertuigvolgedrag, remgedrag etc.) worden buiten nu beschouwing gelaten en gecompenseerd met knelpunten (idealisatie). Hiermee wordt de uitkomst van het model kunstmatig naar een meer realistische uitkomst getrokken. Door reistijden als een macroscopische grootheid te beschouwen, wordt aangenomen dat reistijden en snelheden over een link uniform zijn. Een link geldt dus als één geheel.

Ook het gebruik van achtergrondverkeer om links te 'bezetten' is een grote simplificatie. Bij extreme waarden zorgt dit ook voor problemen met het model, omdat het achtergrondverkeer het modelverkeer volledig verhindert. Dat het achtergrondverkeer ook afhankelijk van de verkeersverdeling is, wordt buiten beschouwing gelaten.

Gegevensvaliditeit

Het model maakt voor een belangrijk deel gebruik van de gegevens in de databases. Zowel de weggebruikersdata als het wegennet beïnvloeden sterk de uitkomsten van het model.

Wegebruikersdata

De gegevens over de weggebruiker zijn afkomstig uit meerdere bronnen. Een belangrijke bron voor gegevens over reismotieven en navigatiegebruik is het KiM (KiM, 2017). De gegevens over voertuigaantallen en vertrektijden zijn gebaseerd op meetgegevens van de NDW. De meeste algemene informatie over de weggebruiker zijn daarom redelijk betrouwbaar.

De kenmerken van weggebruikers ten aanzien van opvolgedrag worden vooral willekeurig bepaald op basis van geschatte percentages en zijn daarom minder betrouwbaar. De kenmerken

worden in het model uiteindelijk niet specifiek gebruikt, waardoor de invloed ervan op de resultaten klein is.

Een andere beperking van het model is de aanname dat alle verkeer slechts één herkomst-bestemmingspaar heeft. Aangenomen wordt dat alle verkeer dat normaal over het af te sluiten wegvak rijdt als oorsprong het begin en als bestemming het eind van dit wegvak heeft. Hierdoor wordt specifiek gedrag van verkeer met herkomsten of bestemming dichtbij of ver van de afsluiting niet meegenomen. De invloed van deze aanname zal verder moeten worden onderzocht.

Wegennet

De drie netwerken die in de scenario's worden gebruikt zijn vrijelijk gebaseerd op kenmerken die het werkelijke Nederlandse wegennet vertonen, zoals de lengtes van weggedeeltes, het aantal rijbanen en de maximumsnelheid. Met de verschillende scenario's wordt de invloed van het netwerk onderzocht.

In het model wordt het wegennet versimpeld naar een beperkt aantal mogelijk routes. Hierdoor worden veel alternatieven buiten beschouwing gelaten. Hoewel hiermee het model veel wegdelen niet meeneemt, kan deze aanname worden gemaakt omdat veel van deze wegdelen geen 'logisch' alternatief zijn. In veel gevallen zal bij een afsluiting daadwerkelijk maar een beperkt aantal routes worden gebruikt.

Aan de kenmerken van het wegennet hangen ook de intensiteiten van het achtergrondverkeer en de capaciteiten en restcapaciteiten vast. Deze zijn deels gebaseerd op historische gegevens en de waardes die door Smulders worden gebruikt. Voor een ander deel zijn deze waardes geschat en worden ze onderzocht met het model.

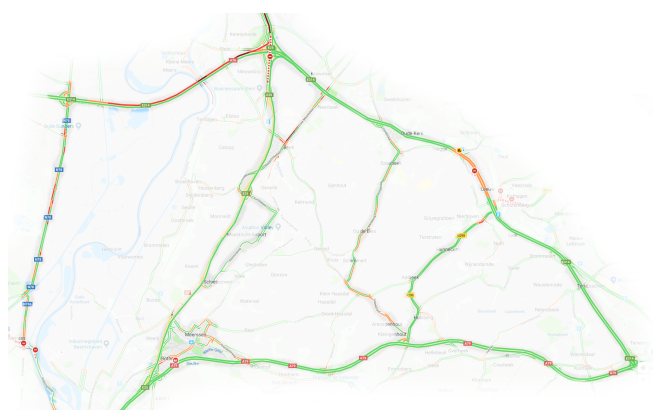
Het achtergrondverkeer wordt versimpeld als slechts een getal waarmee de hoeveelheid voertuigen op een link wordt aangegeven. Dit getal wordt bepaald als percentage van de capaciteit en volgt hetzelfde patroon als de verkeersdrukke. Voor dit verkeer worden verder geen gegevens bepaald, zoals het verloop van routes, verplaatsingen of reistijden. Het dient slechts als een 'standaardbezetting' van de weg, die daarmee de restcapaciteit van de links bepaalt. Een verdere uitwerking van dit verkeer zou de validiteit van het model verbeteren.

Operationele validiteit

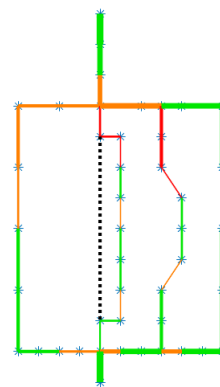
Bij het onderzoeken van de operationele validiteit moeten de uitkomsten van het model worden vergeleken met een situatie in de realiteit. Bij het ontwerpen van het model is een deel van de operationele validiteit al gewaarborgd, omdat veel gebruik gemaakt van het weergeven van de snelheden in een figuur en het vergelijken van deze waardes met realistische kenmerken.

Ook zal een scenario worden vergeleken met een uitgevoerde afsluiting van de A2 op 20 – 22 april en 26 – 29 april, waarbij op een aantal momenten is bijgehouden waar de knelpunten in de omgeving bleken te zijn. De wegennetsituatie bij deze afsluitingen kwam sterk overeen met de gemodelleerde afsluiting van het derde wegennet bij veel omgeleid verkeer. Hierbij moet worden opgemerkt dat de locaties van de knelpunten en de weglengtes grotendeels zijn gebaseerd op de situatie rond deze afsluiting.

De knelpunten rond de A2 bij Maastricht tijdens de afsluiting worden goed zichtbaar op het beeld van 21 april om 12.00 uur (figuur B.15). Hieruit wordt zichtbaar dat op elke alternatieve route een grote verkeershoeveelheid is. Daarnaast wordt zichtbaar dat vooral bij samenkomsten van wegen en bij dorpskernen de knelpunten zijn, waardoor op de wegen daarnaartoe congestie ontstaat. Op de wegen na de knelpunten is de congestie minder, wat goed te verklaren is.



(a) Werkelijke situatie rond Maastricht op 21 april om 12 uur



(b) Gesimuleerde simulatie bij veel omgeleid verkeer en veel modelverkeer

Figuur B.15: Vergelijking tussen werkelijke en gemodelleerde situatie

Wel valt op dat de congestie in het model iets verder terugtrekt naar voren dan in de werkelijke situatie. Het is echter niet de intentie van dit model om de situatie rond Maastricht zo precies mogelijk na te bootsen. Dit dient slechts als voorbeeld.

Validatie wegennet

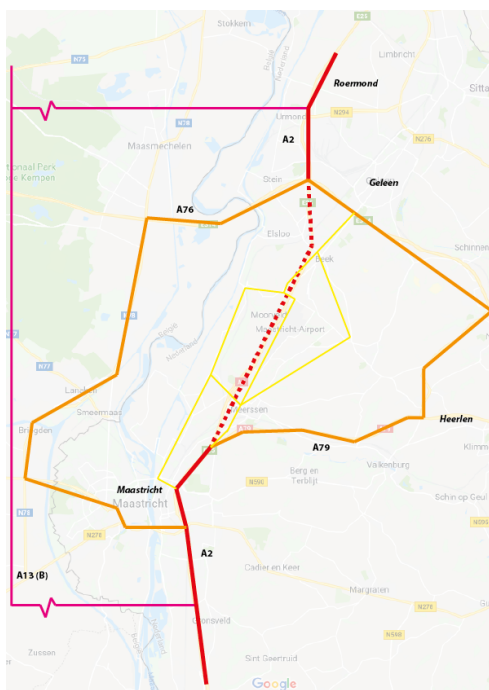
Om te illustreren hoe het versimpelde wegennetmodel zich tot de werkelijkheid verhoudt (validatie), zal het model over een aantal geplande afsluitingen en het omliggende wegennet worden gelegd (figuur B.16). De lengtes en reistijden over de verschillende wegen verschillen (vanzelfsprekend) per situatie. In elke situatie geldt echter wel dat de verschillende soorten wegen aanwezig zijn. Ook zullen de verschillende reistijden van de routes qua ordegraote ook vergelijkbaar zijn over verschillende scenario's.

Conclusie

Uit bovenstaande analyse blijkt dat het model een geschikt hulpmiddel is voor het onderzoeken van verschillende scenario's, mits rekening wordt gehouden met het feit dat het model geen volledige weerspiegeling van de werkelijkheid is en geen uitspraken doet over hinderfactoren. Het model is een hulpmiddel dat kan worden gebruikt om de effecten van verschillende scenario's op de verkeerssituatie in te schatten, en daarmee de scenario's tegen elkaar af te wegen, maar het is geen universeel verkeersmodel dat geschikt is om alle aspecten van verkeersstromen te analyseren.

Bij het trekken van conclusies aan de hand van het model is het van belang om te onthouden dat het model afhankelijk is van de handmatige input van het wegennet, de nalevingskenmerken en de reactie van weggebruikers op informatie. Ook de aannames dat er slechts één herkomstbestemmingspaar is en dat achtergrondverkeer slechts als een statisch getal wordt gemodelleerd moeten worden onthouden.

Verbeteringen aan het model zouden zich ook op deze punten moeten richten. Door meer microscopische elementen toe te voegen, kan het model complexer maar ook vollediger worden.



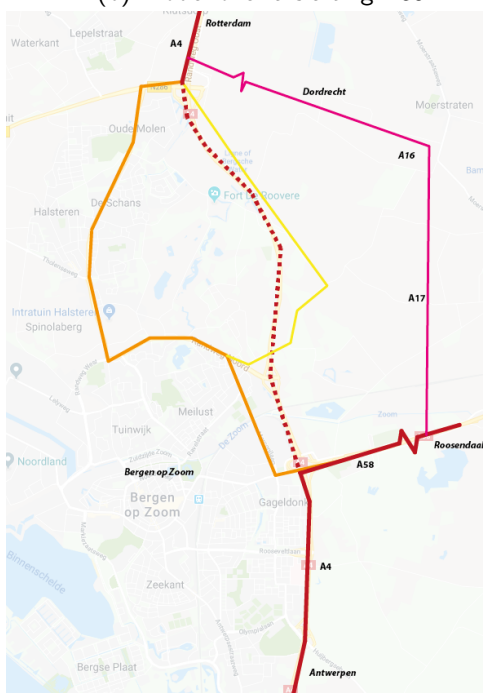
(a) Model over afsluiting A2



(b) Model over afsluiting A59



(c) Model over afsluiting A6



(d) Model over afsluiting A4

Figuur B.16: Algemeen model geplaatst over meerdere geplande afsluitingen

B.3 Experimenten

Door parameters in het model aan te passen zullen experimenten worden uitgevoerd om de verschillende eerdergenoemde opties te kunnen vergelijken. Dit zullen een basisexperiment zijn, twee experimenten aan het beïnvloeden van nalevingsfactoren, twee met DRIPs en twee met aanpassingen aan het wegnen.

Voor de experimenten met de nalevingsfactoren wordt gevarieerd met twee grenswaardes voor het nalevingsgedrag voor navigatie en omleidingsborden. Voor elke weggebruiker wordt een aantal factoren bepaald, waarna het totaal aan factoren wordt vergeleken met een grenswaarde. Komt het totaal over deze grenswaarde wordt de weggebruiker gezien als iemand die geneigd is het middel op te volgen. Deze grenswaarden worden gegeven als een percentage van de maximum haalbare score.

De grenswaarde betekent niet per se dat evenveel mensen daadwerkelijk de route volgen die het hulpmiddel adviseert. Bijvoorbeeld: stel dat de grenswaarde voor navigatiegebruik op 40 % ligt. Hiermee volgt 40 % van de weggebruikers die de borden zien direct het advies op de borden. De overige weggebruikers kiezen in het model een route op basis van de navigatie (als ze daarover beschikken én de grenswaarde wordt overschreden) of hun eigen kennis van het netwerk (de rest). Deze routes kunnen echter overeenkomen met de voorgestelde omleidingsroute, waardoor een hoger percentage dan de eerdere 40 % de route neemt die op de omleidingsborden staat. Deze werkelijke percentages verschillen per situatie en worden onderzocht.

Basisexperiment Eerst is een experiment worden uitgevoerd met een situatie die vergelijkbaar is met een 'gewone' afsluiting. Hierbij zal het navigatiegebruik en de naleving daarvan vergelijkbaar zijn met die in het onderzoek van het KiM (KiM, 2017). Hiervoor worden de grenswaardes vastgezet op 40% voor borden en 70% voor navigatie en wordt gebruik gemaakt van het standaard wegnen (zie bijlage E.2).

Borden stimuleren Vervolgens is een experiment worden uitgevoerd met een verhoogd nalevingsgedrag voor de omleidingsborden. Hiervoor zijn de grenswaardes aangepast van 40% voor borden en 70% voor navigatie naar 70% voor borden en 40% voor navigatie. Het wegnen blijft hetzelfde.

Navigatie stimuleren Daarnaast is een experiment worden uitgevoerd met een verhoogd nalevingsgedrag voor navigatiegebruik. Hiervoor zijn de grenswaardes aangepast naar 30% voor borden en 90% voor navigatie, ook met hetzelfde wegnen.

DRIPs met alle routes Met DRIPs wordt het aantal geïnformeerde weggebruikers vergroot. In dit experiment zal het aantal gebruikers met navigatiesystemen in het model worden vergroot (kans op navigatiesysteem 60 procentpunten hoger), om een situatie te simuleren waarin met de DRIPs een grotere hoeveelheid weggebruikers geïnformeerd is. Hierin zit deels een aanname verwerkt dat veel mensen uit de informatie daadwerkelijk de individuele snelste route kunnen halen. De grenswaardes worden vastgezet op respectievelijk 40% en 70%.

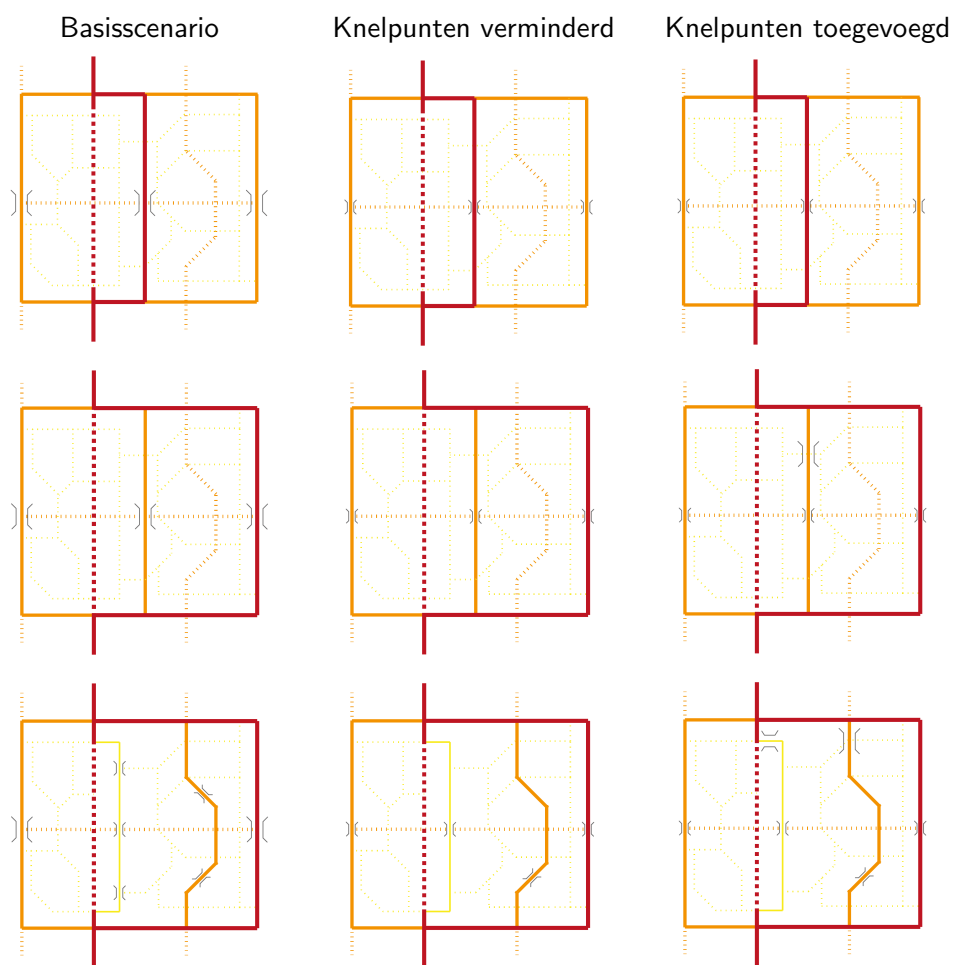
DRIPs met voorkeursroutes In het tweede experiment met DRIPs wordt gesimuleerd dat met de informatie op de DRIP routes een voorkeur krijgen ('acceptabele' routes: alle routes bij wegnen 1, de linker en rechter route bij 2 en 3). Hiermee wordt het opvolgen van deze specifieke routes vergroot (meer bewijs, betere informatie). In het model wordt het aantal

geïnformeerde weggebruikers vergroot (kans 60 procentpunten hoger, grenswaarden op 40% en 70%) en wordt aangenomen dat een derde van de geïnformeerde weggebruikers de navigatie of de snelste route volgt en twee derde de voorkeursroutes.

Knelpunten verwijderen Bij het eerste experiment met het wegennet zullen de bestaande knelpunten worden verminderd. Hiervoor wordt de verminderde maximumsnelheid in het model weer iets verhoogd (zie bijlage E.2). Hiermee wordt het aanpassen van voorrangssituaties of VRI's gesimuleerd. Een overzicht van de knelpunten is weergegeven in figuur B.17. De grenswaardes blijven op 40% en 70%.

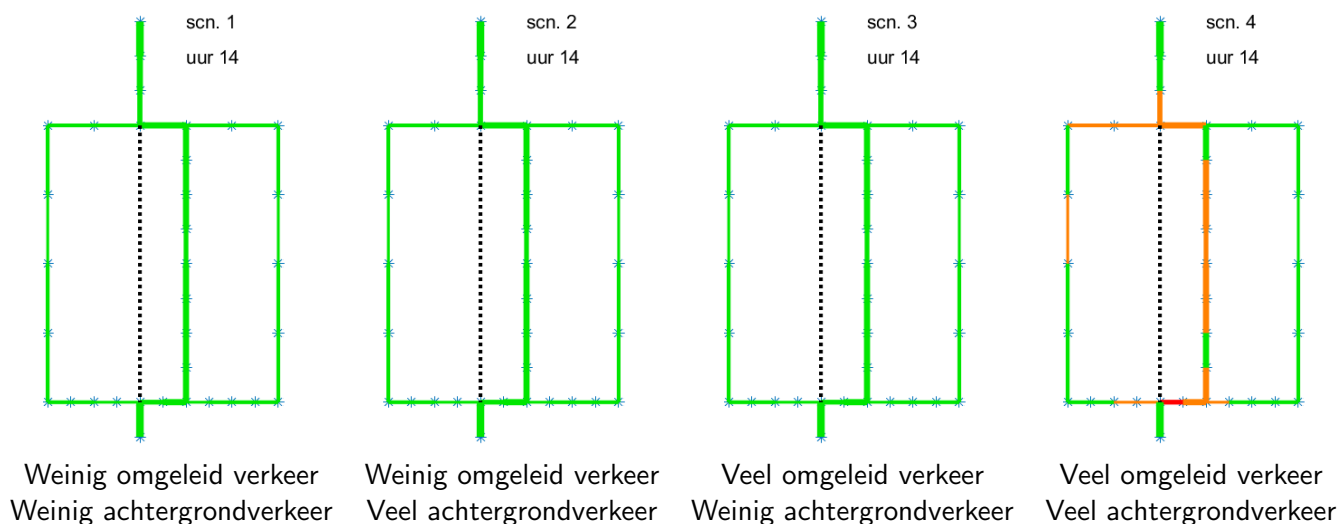
Knelpunten toevoegen In het andere experiment met het wegennet zullen extra knelpunten worden toegevoegd op ongewenste routes (zie figuur B.17). Hiermee wordt geprobeerd sluipverkeer te verminderen. In het model wordt dit gedaan met verlaagde maximumsnelheden (zie bijlage E.2). De grenswaardes blijven op 40% en 70%.

Knelpunten en DRIPs Voor het experiment met de combinatie van maatregelen wordt het experiment met de DRIP met voorkeursroutes herhaald, maar met het wegennet waarbij de knelpunten zijn toegevoegd.



Figuur B.17: Overzicht knelpunten per experiment

C Bijlage resultaten



Figuur C.1: Alleen veel congestie bij extreme intensiteiten

C.1 Huidig navigatiegebruik

Als basis voor de resultaten is het model eerst doorlopen met een scenario dat vergelijkbaar is met de huidige situatie omtrent navigatiegebruik.

Wegennet 1

Bij het eerste wegennet, waarbij een grote weg van dezelfde categorie dicht langs het afgesloten wegvak loopt, blijkt allereerst dat veel mensen deze weg volgen als route. Dit komt omdat deze route zowel op de borden staat, als in veel gevallen volgens de navigatie of het eigen inzicht het beste alternatief lijkt. Hierdoor treedt echter ook het risico op concentratie op. Omdat er geen spreiding over de routes plaatsvindt, bestaat de mogelijkheid dat op deze hoofdroute congestie ontstaat, terwijl er op de andere nabijgelegen wegen nog capaciteit over is.

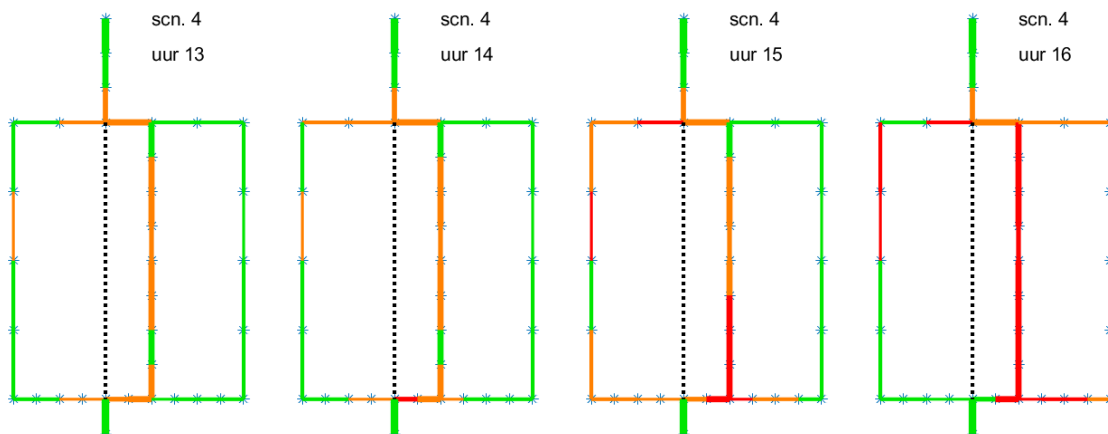
Een effect wat uit de figuren blijkt is ook dat congestie op deze hoofdroute ook congestie op de andere routes kan veroorzaken. Dit gebeurt op de locaties waar wegen bij elkaar samenkomen. Hiermee wordt het omgevingsverkeer gehinderd (zie figuur C.2).

Uit de resultaten blijkt ook dat dit wegennet bij niet-extreme verkeersintensiteit goed stand houdt, omdat de route die in veel gevallen als beste alternatief naar voren komt een grote capaciteit heeft (figuur C.1).

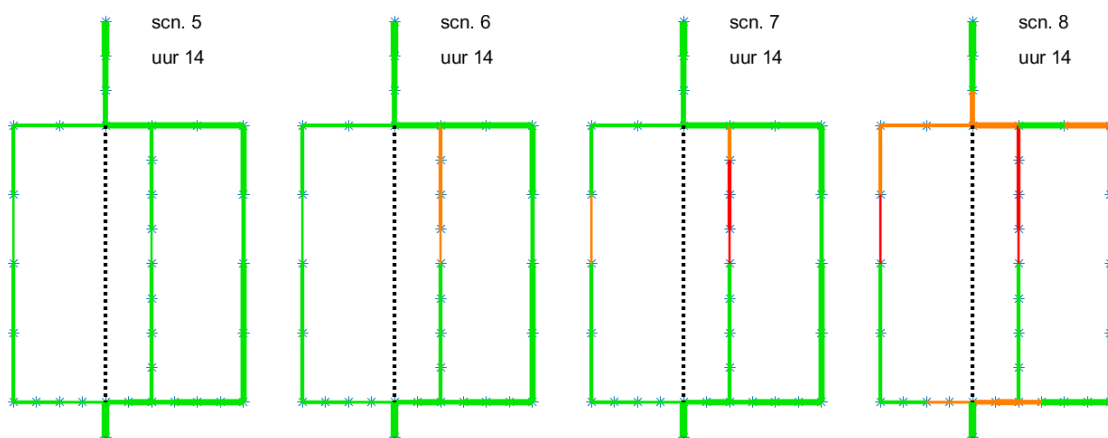
Wat betreft het navigatiegebruik wordt in dit scenario in eerste instantie de hoofdroute geadviseerd door de navigatie, maar bij de extreme verkeersdruk wordt het verkeer iets meer verspreid over de mogelijke routes (figuur C.2). Daardoor ontstaat ook op deze routes congestie en daarmee omgevingshinder.

Wegennet 2

Bij het tweede wegennet, waarbij de dichtstbijzijnde weg van een lagere categorie is en de weg van dezelfde categorie op een grotere afstand ligt, spelen andere problemen een rol. De route die door de navigatie of het eigen inzicht wordt bepaald komt in eerste instantie niet overeen met de route op de omleidingsborden, omdat deze route bij geen congestie een langere reistijd oplevert. Hierdoor ontstaat congestie op deze alternatieve wegen, terwijl er op de hoofdroute nog voldoende restcapaciteit is (figuur C.3).



Figuur C.2: Bij extreme verkeersdrukke wordt het verkeer meer gespreid



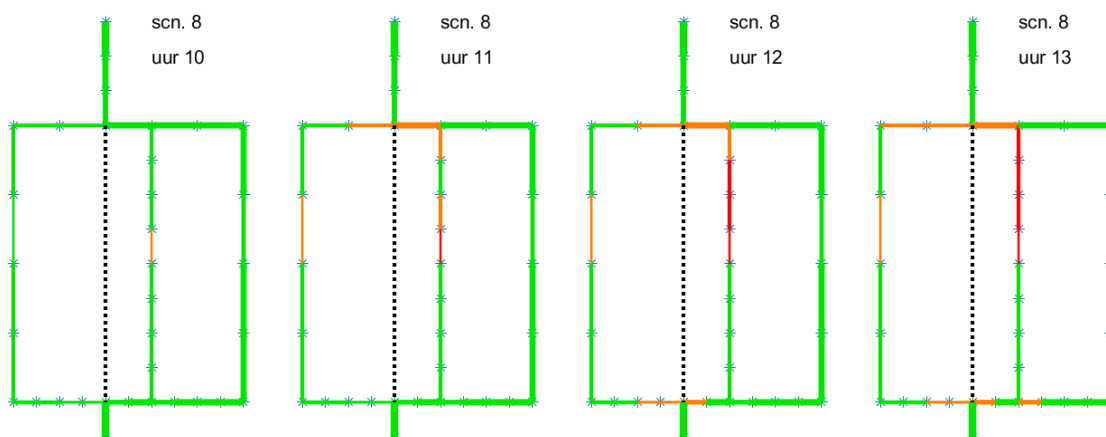
Figuur C.3: Congestie ontstaat op alternatieve wegen bij enig verkeer

Deze congestie komt ook voor als de verkeersintensiteiten niet extreem zijn, waardoor het dus zeer waarschijnlijk is dat deze voorkomt.

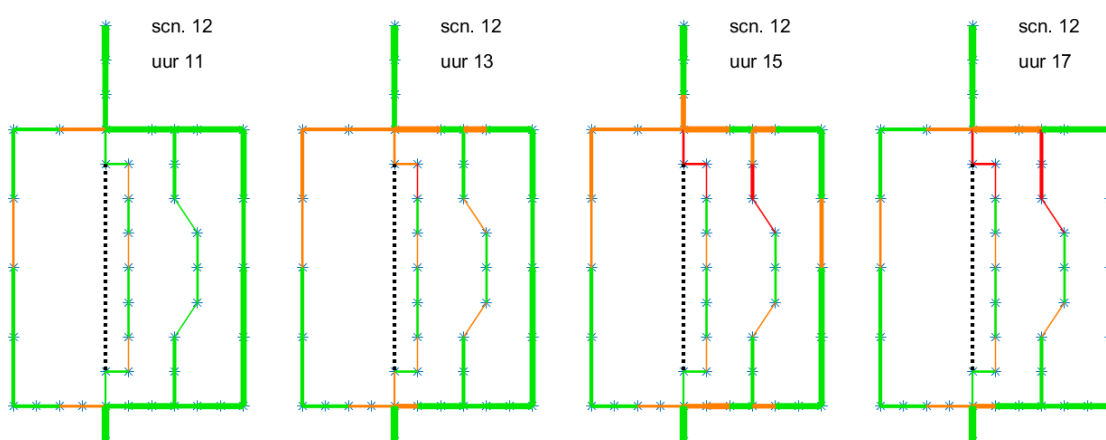
De congestie op de alternatieve routes kan zo ver terugtrekken over de wegen, dat deze ook voor de mensen die de omleidingsborden volgen problemen oplevert (figuur C.4).

Dit scenario is een goed voorbeeld van de eerder benoemde overreactie. In eerste instantie lijkt de kortste route het beste alternatief, waardoor veel mensen deze zullen volgen. Hierdoor ontstaat congestie op deze route, waardoor de mensen met kennis van deze congestie (zowel door online navigatie als door direct zichtbare files = dynamische en geïnformeerde routekeuze) een andere route bepalen. Dit is in dit scenario de route het meest links op de kaart, waardoor ook hier congestie ontstaat nadat veel verkeer in één keer deze route kiest (ook zichtbaar in figuur C.4). Pas als er op deze route ook veel congestie is, wordt de route over de omleidingsroute geadviseerd.

Wat hierna optreedt is ook opmerkelijk. Omdat de routes qua reistijd dicht bij elkaar liggen, zal de navigatie de omleidingsroute adviseren totdat de verkeersdrukke op de alternatieven iets is afgenomen. Hij zal vervolgens weer een van deze routes adviseren, waardoor de congestie weer toeneemt. Hierdoor blijft deze weg in een vrij constante staat van bezetting. Ook de kans op oscillaties is hierbij aanwezig, omdat groepen verkeer door de navigatie over dezelfde route wordt gestuurd die op dat moment het beste lijkt.



Figuur C.4: Congestie op alternatieve routes trekt terug



Figuur C.5: Spreiding van verkeer

In dit scenario is er veel sprake van omgevingshinder, omdat er grote verkeershoeveelheden over wegen gaan die daarvoor niet geschikt zijn.

Wegennet 3

Bij dit wegennet is een vierde alternatief toegevoegd dat over nog kleiner wegen gaat. Tevens is de weg van de tussenliggende categorie iets verder weg geplaatst. De effecten van dit wegennet zijn vergelijkbaar met die van het voorgaande. Ook hierbij kiezen veel weggebruikers eerst het kortste alternatief, gevolgd door de andere en pas als laatste de omleidingsroute.

Omdat de reistijden over de verschillende routes bij dit wegennet dicht bij elkaar liggen, is hier meer sprake van een spreiding van het verkeer over de wegen. Bij kleine verkeersintensiteiten is dit goed, omdat op elk alternatief een beetje congestie optreedt in plaats van op één alternatief heel veel. Bij grotere intensiteiten resulteert dit echter in problemen op alle wegen, beginnend bij de kleinere, ongeschikte (figuur C.5).

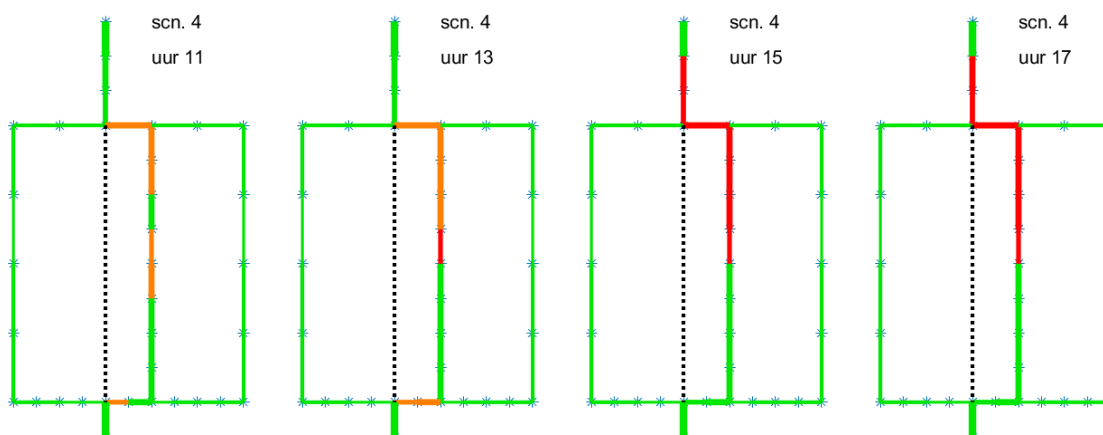
Het verder weg liggen van de tussenliggende route heeft wel als resultaat dat deze minder verschilt van de omleidingsroute, waardoor het verkeer sneller geneigd zal zijn de route van de borden op te volgen.

Tabel C.1: Indicatoren scenario met huidig navigatiegebruik

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1784	14,6	19%	67%	14%	-
2	1	15000	60%	2087	15,8	19%	68%	14%	-
3	1	30000	20%	3741	15,0	19%	68%	14%	-
4	1	30000	60%	89085	185,7	24%	55%	21%	-
5	2	15000	20%	2586	17,8	19%	34%	47%	-
6	2	15000	60%	2999	19,5	19%	34%	47%	-
7	2	30000	20%	8904	25,3	25%	22%	53%	-
8	2	30000	60%	83367	174,2	24%	22%	54%	-
9	3	15000	20%	3180	20,2	30%	14%	12%	44%
10	3	15000	60%	3651	22,1	28%	14%	14%	45%
11	3	30000	20%	6720	20,9	26%	14%	12%	48%
12	3	30000	60%	10919	29,3	23%	13%	12%	52%

Indicatoren

Voor de 12 scenario's zijn ook een aantal gegevens bijgehouden die de prestatie bijhouden. Uit het experiment blijkt dat 34% van de weggebruikers sowieso de omleidingsroute volgt, 17% ervoor kiest een online navigatiemiddel te gebruiken en 49% zelf een route bepaalt. De andere gegevens zijn weergegeven in tabel C.1.



Figuur C.6: Concentratie over omleidingsroute

C.2 Borden stimuleren

Het tweede experiment is gericht op het inschatten van de effecten die het stimuleren van het opvolgen van de omleidingsborden heeft. In dit scenario wordt het opvolgen van de officiële omleidingsroute naar een redelijk extreem percentage doorgetrokken. Hierdoor wordt het model iets minder realistisch, maar worden de effecten van het stimuleren beter zichtbaar.

Wegennet 1

Bij de situatie waarbij een hoogwaardige weg dichtbij de omsluiting ligt vertoont de situatie met het verminderde navigatiegebruik weinig verschillen. Ook hier treedt weinig congestie op bij lagere intensiteiten. Daarnaast is er ook sprake van concentratie. Deze concentratie treedt zelfs meer op, omdat grotere hoeveelheden verkeer over dezelfde route worden gestuurd.

Doordat bijna alle verkeer over dezelfde route wordt gestuurd treedt hier sneller congestie op dan wanneer het verkeer wordt gespreid. Dit heeft als bijkomend voordeel dat er op de andere wegen minder tot geen congestie optreedt, omdat daar minder verkeer overeenkomt.

Ook de congestie bij het samenkomen van wegen wordt verminderd, omdat er minder verkeer bij het gecongesteerde verkeer tussenvoegt. Ook valt op dat de congestie bij een knelpunt veel verkeer tegenhoudt, waardoor er verderop in de route minder congestie plaatsvindt.

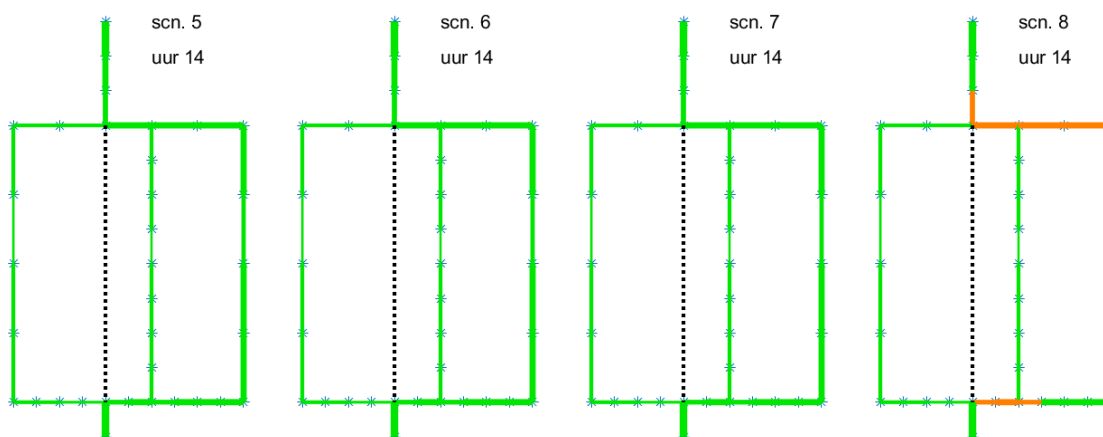
De congestie in dit scenario trekt verder terug naar de herkomstroute, omdat er meer congestie optreedt op de verdere wegen. Deze congestie blijft ook langer staan, omdat deze ook bij een afnemende drukte over dezelfde route wordt gestuurd. Er moet worden gewacht tot alle voorgaande verkeer van de hoofdroute af is en er kan niet 'omheen' worden gereden.

Deze punten zijn zichtbaar in de afbeeldingen in figuur C.6.

Wegennet 2

Bij dit scenario is duidelijk dat het volgen van de omleidingsroute tot beduidend minder congestie leidt bij de lagere verkeersintensiteiten. Dat is ook niet onverwacht, omdat het verkeer wordt gestimuleerd om een route te volgen over een weg met een hogere capaciteit, waardoor op de wegen met een lagere capaciteit minder drukte is.

Bij een hogere intensiteit veroorzaakt de concentratie van het verkeer echter meer problemen dan bij het verminderde opvolgen van de borden. Dit wordt veroorzaakt doordat er minder



Figuur C.7: Alleen congestie bij veel verkeer op hoofdroute

spreiding van het verkeer is, waardoor alle verkeer over een weg wordt gestuurd die al aan zijn capaciteit zit. De verhoogde congestie op de hoofdroute gaat echter wel samen met een verminderde congestie op de alternatieven, waardoor omgevingsoverlast ook wordt verminderd (figuur C.7).

Van de overreactie die bij het vorige scenario plaatsvond is vrijwel geen sprake.

De verminderde congestie door het verder omleiden van het verkeer leidt bij weinig verkeer echter niet tot een afname van de voertuigverliesuren of de gemiddelde reistijd. Het verkeer moet namelijk zo veel verder omrijden dat de anders verloren tijd op de alternatieve routes wordt besteed aan het afleggen van de langere afstand. Op andere hinderaspecten (kunnen doorrijden, omgevingshinder) is dit alternatief echter beter.

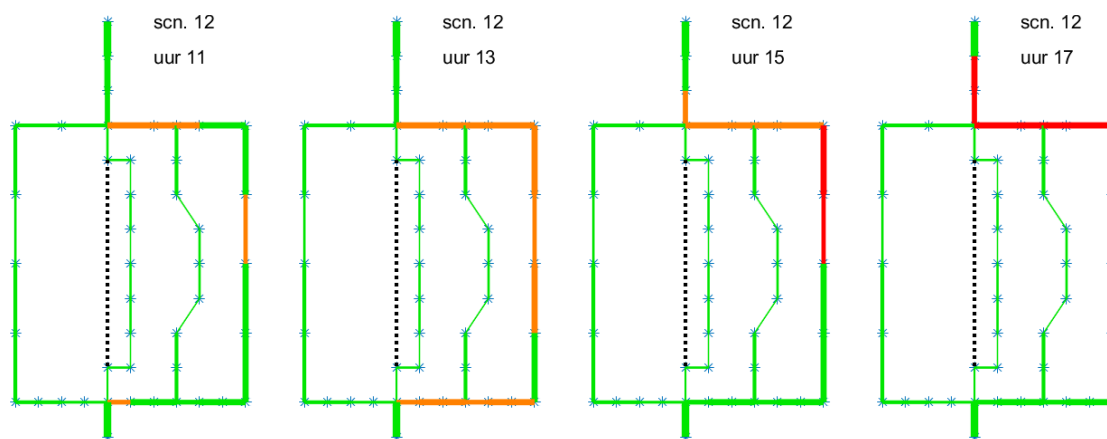
Wegennet 3

Bij het derde wegennet vertoont het verbeterde opvolgedrag van de omleidingsborden voor dezelfde aspecten als bij het voorgaande wegennet: minder congestie bij lagere intensiteiten en meer congestie bij hogere intensiteiten door concentratie op de hoofdweg, maar minder op de alternatieven (figuur C.8).

Het verschil in gemiddelde reistijd tussen het hogere of lagere opvolgedrag is niet groot, omdat de routes qua afstand in dit wegennet dicht bij elkaar liggen. Bij de situatie met extreem veel verkeer wordt dit verschil wel groter.

Indicatoren

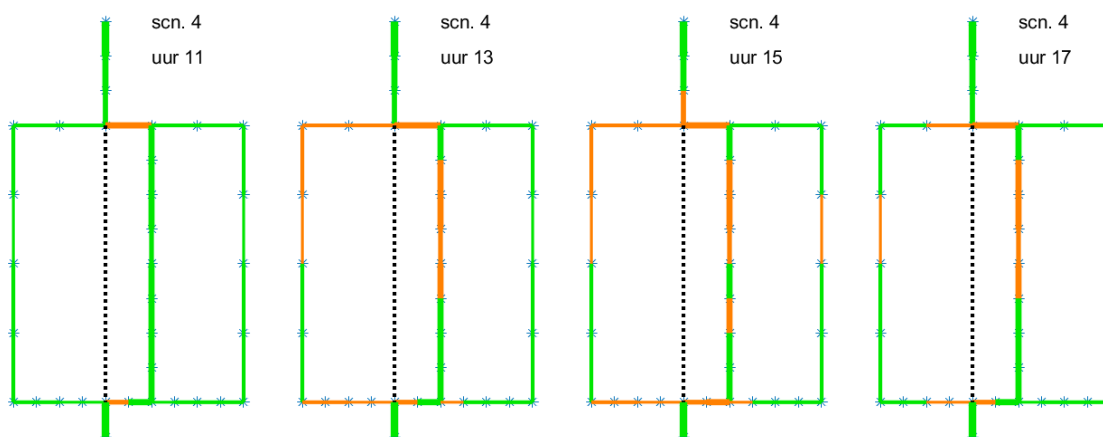
Bij deze verhoogde grenswaarde blijkt dat 84% van de weggebruikers sowieso de omleidingsroute volgt, 2% ervoor kiest een online navigatiemiddel te gebruiken en 14% zelf een route bepaalt. De andere gegevens zijn weergegeven in tabel C.1. Dit lage percentage voor het navigatiegebruik berust op de aanname dat de neiging om de navigatie op te volgen lager wordt naarmate de omleidingsroute verder wordt gestimuleerd.



Figuur C.8: Weinig spreiding van verkeer

Tabel C.2: Indicatoren scenario met gestimuleerd navolgedrag voor omleidingsroute

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1121	12,0	9%	87%	4%	-
2	1	15000	60%	1380	13,0	9%	87%	4%	-
3	1	30000	20%	2419	12,3	9%	87%	4%	-
4	1	30000	60%	153342	314,2	11%	85%	3%	-
5	2	15000	20%	3090	19,9	9%	6%	85%	-
6	2	15000	60%	3527	21,6	8%	7%	85%	-
7	2	30000	20%	6569	20,6	9%	6%	84%	-
8	2	30000	60%	145913	299,3	11%	5%	84%	-
9	3	15000	20%	3200	20,3	9%	4%	3%	84%
10	3	15000	60%	3649	22,1	8%	4%	4%	83%
11	3	30000	20%	6779	21,1	9%	4%	4%	84%
12	3	30000	60%	128502	264,5	10%	5%	3%	83%



Figuur C.9: Spreiding zorgt voor een verdeling van congestie

C.3 Navigatiegebruik stimuleren

Als derde experiment is het model doorlopen met een toegenomen nalevingsgedrag voor navigatiegebruik.

Wegennet 1

Bij het eerste wegennet leidt het toegenomen navigatiegebruik tot vrijwel geen problemen bij weinig en gematigd verkeer, net als bij de vorige experimenten.

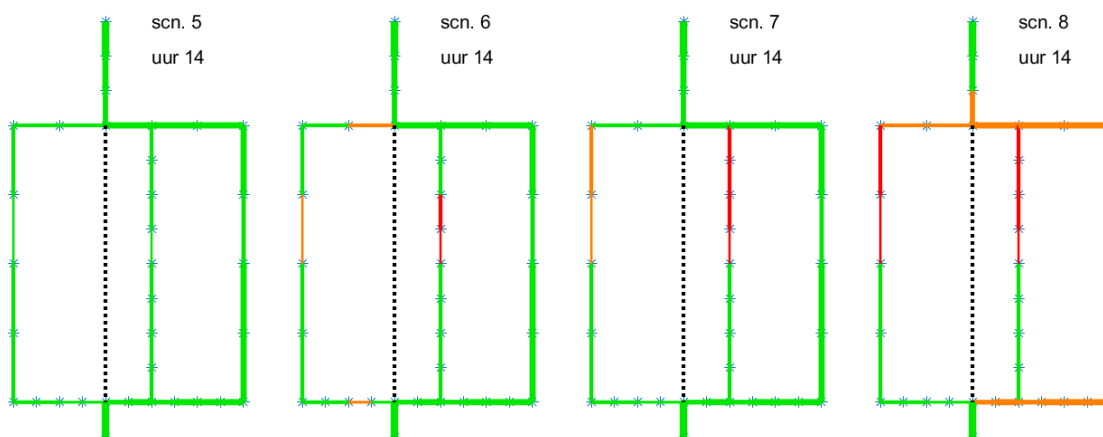
Bij een grote verkeershoeveelheid leidt het toegenomen navigatiegebruik tot meer spreiding van het verkeer over het netwerk, waardoor op elke route enige congestie optreedt. In eerste instantie blijft deze congestie beperkt, omdat het verkeer zich verdeelt. Later wordt de congestie op elke route vrij veel. Het blijft echter lager dan wanneer alle verkeer over één route wordt gestuurd. De samenkomst van twee routes leidt tot extra overlast, omdat hier van twee kanten veel verkeer komt. De spreiding van het verkeer leidt op elke route tot reistijdverlies en andere overlast, maar daardoor wordt de hinder op de hoofdroute beperkt (figuur C.9).

In deze situatie is het risico op overreactie groot, omdat de reistijden over de routes met congestie dicht bij elkaar liggen. Hierdoor kunnen oscillaties ontstaan als de navigatie in één keer veel verkeer over afwisselende routes stuurt. In dit geval is het effect van overreactie niet groot omdat op meerdere routes congestie plaatsvindt, maar bij een mindere verkeersintensiteit kan het tot meer overlast leiden.

Wegennet 2

Bij het tweede wegennet leidt het toegenomen navigatiegebruik juist tot relatief veel congestie, omdat de navigatie de omleidingsroute niet snel zal adviseren. Hierdoor wordt veel verkeer over de kortere alternatieven gestuurd, die de grote verkeersstroom vervolgens niet aan kunnen. Hierdoor ontstaat er al bij relatief weinig verkeer congestie op deze routes, terwijl de omleidingsroute grotendeels onbenut blijft.

In de situatie met veel verkeer zorgt het navigatiegebruik voor congestie op alle wegen, maar blijft de congestie op de omleidingsroute beperkt. Deze route ondervindt wel reistijdverlies, maar blijft toch doorstromen. Op de alternatieve wegen is hier veel congestie, omdat het verkeer hier overeen wordt gestuurd totdat het reistijdverlies zo groot is dat de ver weg gelegen omleidingsroute sneller wordt. Deze drukte kan zorgen voor veel omgevingshinder.



Figuur C.10: Alleen congestie bij veel verkeer op hoofdroute

Deze problemen zijn zichtbaar in figuur C.10.

Wegennet 3

Bij het derde wegennet leidt het toegenomen navigatiegebruik ook tot een betere spreiding van het verkeer, waardoor op veel punten een klein beetje congestie optreedt in plaats van op één punt veel. Zeker bij de situaties met weinig verkeer maakt dit een verschil met de vorige scenario's, omdat er nu congestie optreedt op de alternatieven, ook al verandert het reistijdverlies niet veel.

Bij veel verkeer zorgt het navigatiegebruik ook voor een grotere spreiding, met als gevolg dat er op de kleinere alternatieven veel congestie plaatsvindt, terwijl er op de hoofdroute vrijwel geen congestie is. De omgevingshinder wordt hierdoor relatief groot, terwijl het reistijdverlies niet aanzienlijk afneemt.

Ook valt op dat de gemiddelde reistijd bij scenario 12 bij toegenomen navigatie aanzienlijk hoger ligt dan bij het eerste experiment. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat door het afgenomen opvolgedrag van de omleidingsborden ook meer mensen een eigen route nemen, die in het model wordt gebaseerd op de lengte van de routes. Er zijn dus meer mensen die zelf een kortere route proberen te vinden, die daardoor op al volle wegen uitkomen. De navigatiesystemen reageren hier niet tijdig genoeg op (doordat ze niet anticiperen op het verkeer), waardoor de congestie niet voorkomen wordt.

Daarnaast trekt de congestie op de alternatieven verder terug naar de hoofdroute, waardoor alle verkeer reistijdhinder ondervindt (ook al zouden ze de niet bezette omleidingsroute volgen). Hierdoor wordt de algehele reistijd langer. Het toegenomen navigatiegebruik leidt dus tot zo veel congestie dat het vervolgens niet meer kan worden opgelost door het verkeer te spreiden.

Overzicht

Bij deze verhoogde grenswaarde voor navigatiegebruik blijkt dat slechts 24% van de weggebruikers de navigatie gebruikt als leidend hulpmiddel. Deze waarde lijkt dus ongeveer de grens te zijn met de huidige navigatiemarkt (gebaseerd op KiM (2017)). Voor een groter gebruik van dynamische route-informatie zal gebruik moeten worden gemaakt van andere middelen, zoals DRIPS, of van een veel actiever beleid om online navigatie te stimuleren in de auto. Ongeveer

Tabel C.3: Indicatoren scenario met gestimuleerd navolgedrag navigatiegebruik

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1947,5	15,3	20%	63%	17%	-
2	1	15000	60%	2306,8	16,7	20%	62%	17%	-
3	1	30000	20%	4096,1	15,7	20%	63%	17%	-
4	1	30000	60%	79980,2	167,5	26%	54%	20%	-
5	2	15000	20%	2411,6	17,1	20%	45%	34%	-
6	2	15000	60%	3848,9	22,9	25%	36%	39%	-
7	2	30000	20%	12147,8	31,8	23%	22%	54%	-
8	2	30000	60%	16466,1	40,4	19%	20%	61%	-
9	3	15000	20%	3210,6	20,3	32%	18%	15%	35%
10	3	15000	60%	3680,4	22,2	30%	17%	16%	37%
11	3	30000	20%	6868,6	21,2	28%	18%	15%	40%
12	3	30000	60%	14713,5	36,9	21%	13%	13%	53%

17% gebruikt de officiële meldingen als leidend en de rest kiest een eigen route. De andere gegevens zijn weergegeven in tabel C.3.

Tabel C.4: Indicatoren scenario met DRIPs als uitbreiding informatiegraad

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1334,7	12,8	11%	81%	8%	-
2	1	15000	60%	1598,7	13,9	11%	81%	8%	-
3	1	30000	20%	2797,2	13,1	11%	82%	7%	-
4	1	30000	60%	87450,8	182,4	25%	61%	14%	-
5	2	15000	20%	2804,5	18,7	19%	52%	29%	-
6	2	15000	60%	3863,2	23,0	23%	41%	36%	-
7	2	30000	20%	8064,0	23,6	23%	25%	51%	-
8	2	30000	60%	9672,9	26,8	20%	24%	56%	-
9	3	15000	20%	3323,5	20,8	38%	10%	17%	35%
10	3	15000	60%	4086,5	23,8	33%	14%	17%	36%
11	3	30000	20%	7761,5	23,0	32%	10%	15%	44%
12	3	30000	60%	9881,3	27,3	24%	12%	12%	52%

C.4 DRIPs

Omtrent de DRIPs zijn twee experimenten uitgevoerd met het model. In het eerste experiment zijn DRIPs vooral gebruikt om de dekking van navigatiesystemen virtueel te vergroten. De DRIP laat informatie zien die vergelijkbaar is met de route-informatie in de navigatiesystemen. In het tweede experiment wordt met de DRIP een voorkeur voor meer geschikte routes aangegeven, waardoor verkeer over ongewenste routes wordt verminderd.

DRIP met snelste route

Het gebruik van de DRIP als vergroting van het navigatiegebruik leidt tot vergelijkbare resultaten als bij het gestimuleerde navigatiegebruik. Hoewel nu 56% de navigatie of de DRIP als leidend routekeuzemiddel gebruikt (meer dan een verdubbeling), leidt dit slechts in beperkte mate tot een verbetering van de situatie. In het model gebruikt ongeveer 17% de statische omleidingsborden als leidend en 27% kiest een eigen route.

Het verkeer wordt iets meer gespreid, waardoor grote files meer worden voorkomen, maar ook meer verkeer over de alternatieve routes loopt. In sommige gevallen leidt dit tot enkele minuten reistijdwinst en in de scenario's met extreme verkeershoeveelheden tot meer dan 10 minuten winst. Dit komt vooral doordat er minder verkeer is dat zelf een route kiest over een weg die al druk bezet is. In andere scenario's leidt dit tot extra verkeer bovenop het verkeer dat al vast staat. Door het gebruik van de DRIP is er minder verkeer dat zijn route baseert op de lengte van de route en meer dat zich op de verkeerssituatie baseert. De congestie door ongeïnformeerde reizigers wordt daarmee verminderd.

In vergelijking tot het basisexperiment leidt dit scenario vooral tot reistijdwinst in de extreme situaties, terwijl het bij de situaties met minder verkeer weinig oplevert. De reistijdwinst die door de kortere route wordt gehaald valt vrijwel gelijk weg tegen de congestie die wordt ondervonden.

DRIP met voorkeursroutes

Uit de modelresultaten blijkt dat deze methode wat betreft doorstroming zowel voor- als nadelen oplevert ten opzichte van het vorige scenario met de DRIP en vooral voordelen ten opzichte van het basisscenario.

Het blijkt dat deze maatregel vooral gunstig als er relatief veel verkeer is, in een situatie dat er kortere alternatieven zijn (bij wegnen 2 en 3). De DRIP zorgt ervoor dat een deel van

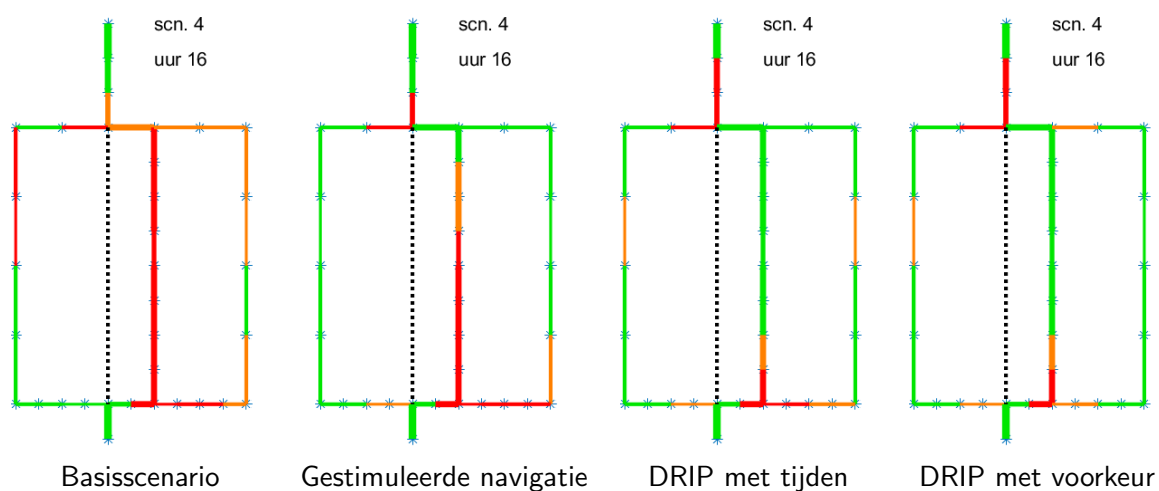
Tabel C.5: Indicatoren scenario met DRIPs met voorkeursroutes

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1318,2	12,8	11%	82%	8%	-
2	1	15000	60%	1606,9	13,9	11%	81%	8%	-
3	1	30000	20%	2834,0	13,2	11%	82%	8%	-
4	1	30000	60%	90835,4	189,2	26%	61%	13%	-
5	2	15000	20%	2856,0	18,9	37%	18%	44%	-
6	2	15000	60%	3311,9	20,7	35%	19%	46%	-
7	2	30000	20%	6403,8	20,3	27%	21%	52%	-
8	2	30000	60%	65408,6	138,3	29%	18%	52%	-
9	3	15000	20%	3223,1	20,4	40%	9%	11%	41%
10	3	15000	60%	3800,5	22,7	36%	10%	12%	42%
11	3	30000	20%	7207,6	21,9	28%	8%	10%	53%
12	3	30000	60%	8721,0	24,9	25%	10%	10%	55%

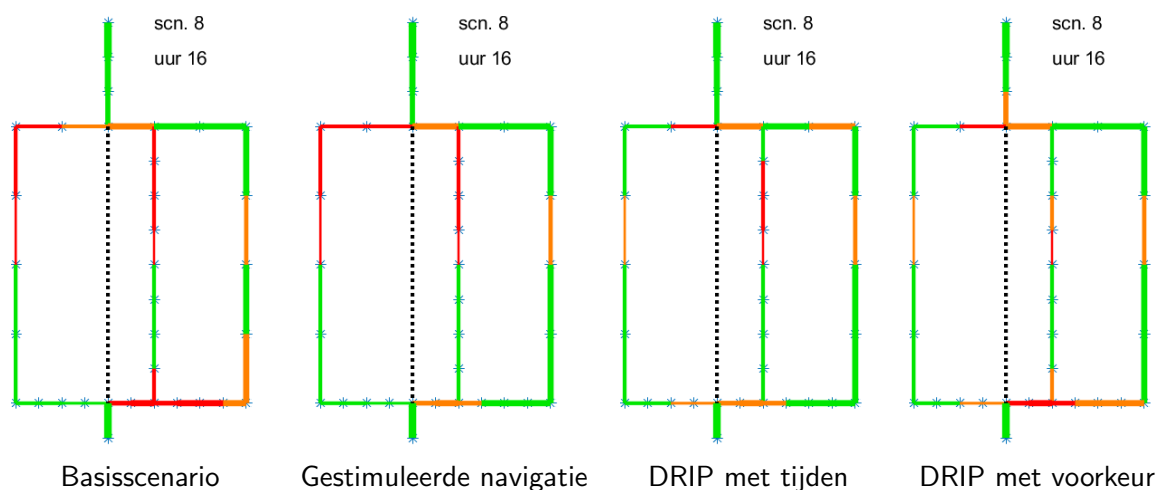
het verkeer dat anders een omleiding over binnendoorwegen zou nemen, nu één van de meer geschikte routes volgt. Hierdoor vermindert de congestie op de binnendoorwegen, terwijl de congestie op de omleidingswegen niet veel toeneemt (deze hebben een hogere capaciteit). Het belangrijkste voordeel is dat daarmee ook de omgevingshinder wordt verminderd, doordat er minder sluipverkeer is.

Bij het eerste wegennet zijn er vrijwel geen verschillen met het vorige experiment, omdat elke route als acceptabel was ingesteld. Wel is hier een verbetering ten opzichte van het basisscenario.

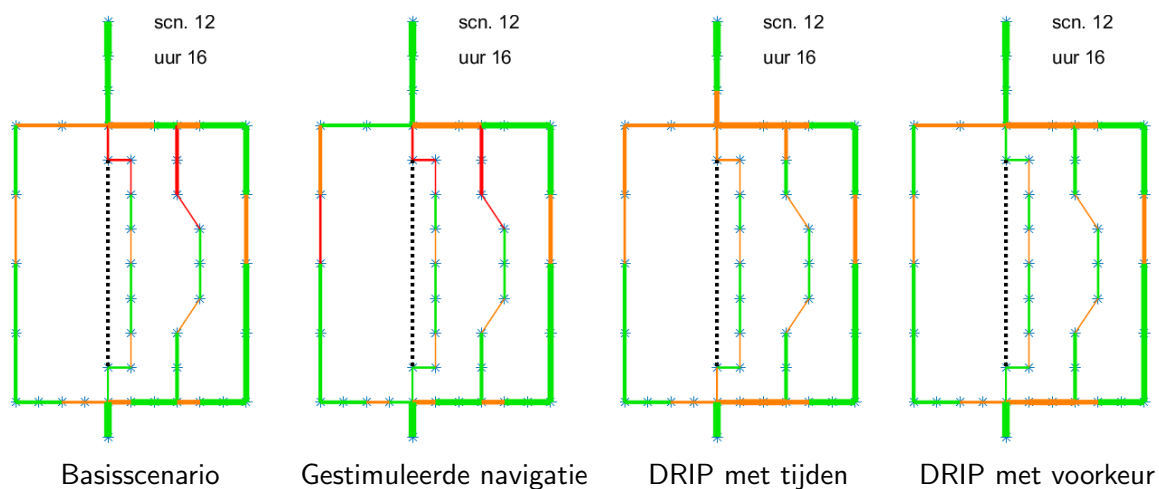
Er is in dit experiment een opvolgpercentage van 40% voor de DRIPs, 17% voor de statische omleidingsroute, 17% voor de navigatie en 26% kiest een eigen route.



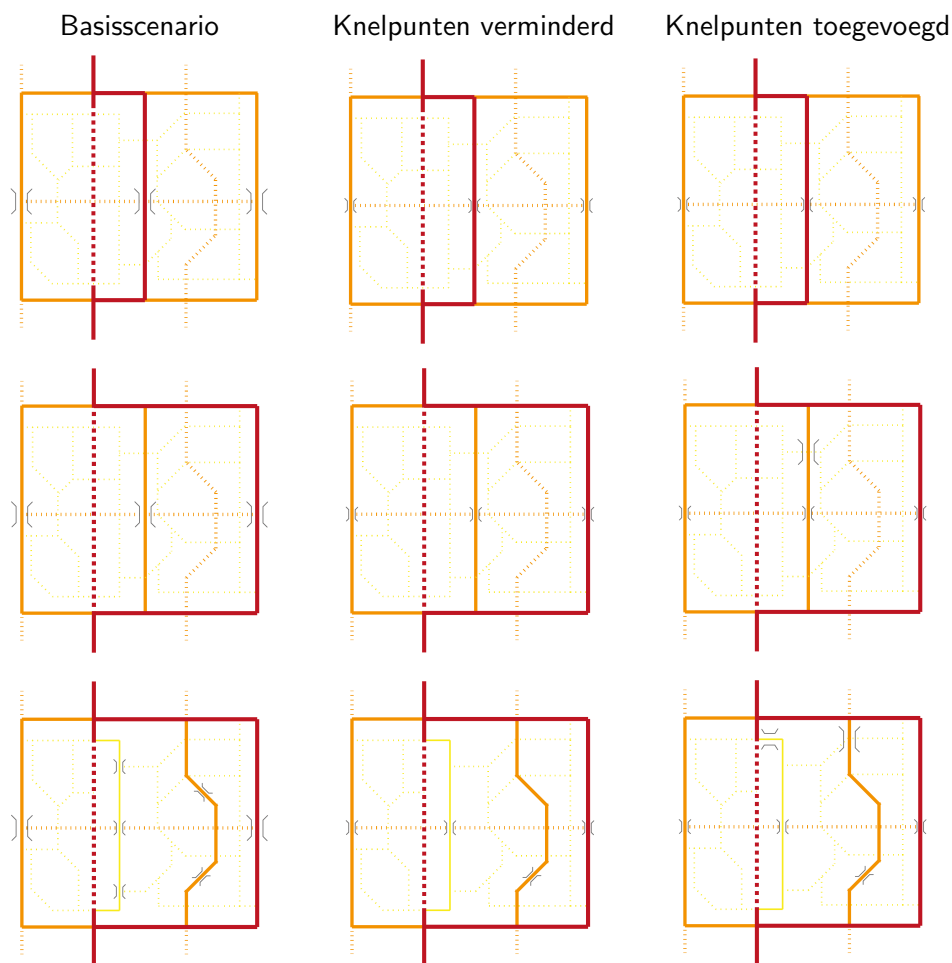
Figuur C.11: Vergelijking navigatie en DRIPs bij wegennet 1



Figuur C.12: Vergelijking navigatie en DRIPs bij wegennet 2



Figuur C.13: Vergelijking navigatie en DRIPs bij wegennet 3



Figuur C.14: Overzicht knelpunten per experiment

C.5 Wegennet aanpassen

Als laatste experiment zijn maatregelen aan het wegennet getroffen om zo de routes die door het navigatiesysteem worden geadviseerd te beïnvloeden. De locaties van de knelpunten is weergegeven in figuur C.14.

Verminderen knelpunten

Zoals verwacht neemt de congestie af bij een vermindering van de knelpunten. Er zijn minder plekken waar een file ontstaat en de capaciteit van het netwerk ligt hoger. Vooral in situaties met veel verkeer leidt dit tot positieve effecten op de reistijd.

Op het aspect van routekeuze heeft het verminderen van de knelpunten weinig effect. Er wordt aangenomen dat de middelen waarmee de routes worden gekozen niet veranderen. De uiteindelijk gekozen routes veranderen maar weinig. De afname van congestie komt dus vooral door de toegenomen capaciteit zelf.

De modelresultaten zijn weergegeven in tabel C.6.

Tabel C.6: Indicatoren scenario met afgenomen knelpunten

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1675,0	14,2	19%	68%	14%	-
2	1	15000	60%	1993,7	15,5	19%	67%	14%	-
3	1	30000	20%	3548,5	14,6	19%	67%	14%	-
4	1	30000	60%	4286,8	16,1	19%	68%	14%	-
5	2	15000	20%	2412,7	17,2	19%	34%	47%	-
6	2	15000	60%	2813,3	18,8	19%	34%	47%	-
7	2	30000	20%	7548,0	22,6	26%	25%	49%	-
8	2	30000	60%	9462,2	26,4	25%	20%	55%	-
9	3	15000	20%	2895,4	19,1	27%	14%	16%	44%
10	3	15000	60%	3327,0	20,8	25%	14%	17%	43%
11	3	30000	20%	6101,1	19,7	26%	14%	16%	44%
12	3	30000	60%	7279,2	22,1	25%	14%	15%	46%

Tabel C.7: Indicatoren scenario met toegevoegde knelpunten

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1769,4	14,6	17%	68%	15%	-
2	1	15000	60%	2105,5	15,9	17%	68%	15%	-
3	1	30000	20%	3745,4	15,0	17%	68%	15%	-
4	1	30000	60%	83562,7	174,6	24%	59%	17%	-
5	2	15000	20%	2663,4	18,2	17%	35%	48%	-
6	2	15000	60%	3530,0	21,6	21%	30%	49%	-
7	2	30000	20%	7802,3	23,1	25%	19%	56%	-
8	2	30000	60%	95504,8	198,5	25%	24%	51%	-
9	3	15000	20%	3300,0	20,7	28%	14%	13%	44%
10	3	15000	60%	3803,3	22,7	27%	15%	13%	45%
11	3	30000	20%	8134,0	23,8	26%	11%	14%	49%
12	3	30000	60%	11222,8	29,9	23%	10%	12%	54%

Vertragen alternatieven

Het creëren van de extra knelpunten op ongewenste routes zorgt voor slechts een beperkte hoeveelheid reistijdverlies. Uit de figuren blijkt echter wel dat een deel van het sluipverkeer wordt tegengehouden bij het begin van de route. Bij veel verkeer kan het leiden tot een kleine afname van het sluipverkeer van enkele procentpunten. Met de huidige informatiegraad zorgen de knelpunten dus maar voor weinig aanpassingen van de routekeuze.

Het creëren van de knelpunten leidt echter vooral tot een verplaatsing van de congestie. Enerzijds is deze verplaatsing goed, doordat er minder congestie plaatsvindt bij kritische punten zoals dorpskernen of kruispunten. Anderzijds is het slechts een verplaatsing van het probleem.

Doordat de sluiproutes na de knelling beter doorstromen bestaat hier ook het risico op snelheidsovertredingen. Mensen zijn opgehouden zonder duidelijke reden, waardoor ze sneller geneigd zullen zijn in het overige gedeelte het reistijdverlies te willen compenseren. Hierdoor kan de veiligheid in het geding komen.

Ook bestaat het risico dat de congestie zich terugtrekt naar de hoofdroute, waardoor alle verkeer hinder ondervindt van de maatregelen. Dit risico is sterk afhankelijk van de plaatsing van de knelpunten (dichtbij een afrit of verder ervandaan). Bij de plaatsing van de knelpunten in het model is dit probleem niet zichtbaar naar voren gekomen.

De indicatoren voor dit experiment staan weergegeven in tabel C.7.

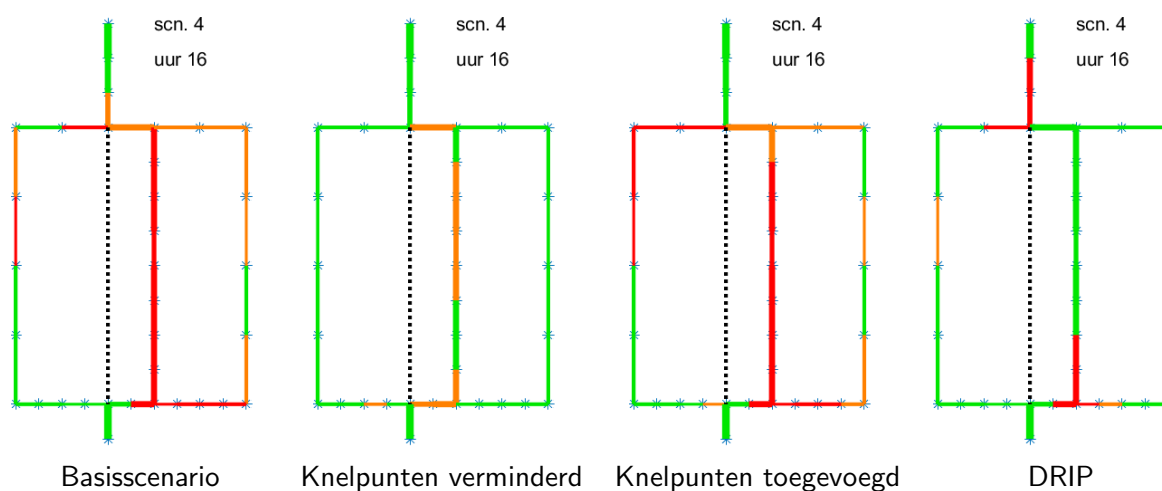
Tabel C.8: Indicatoren scenario met toegevoegde knelpunten

Scenario	Net	OV	AV	VVU	Gem. reistijd (min)	Keuze voor route			
						1	2	3	4
1	1	15000	20%	1316,0	12,8	9%	82%	8%	-
2	1	15000	60%	1589,0	13,9	10%	82%	8%	-
3	1	30000	20%	2826,1	13,2	10%	82%	8%	-
4	1	30000	60%	93121,4	193,7	25%	61%	15%	-
5	2	15000	20%	2884,4	19,0	38%	19%	44%	-
6	2	15000	60%	3356,1	20,9	33%	20%	47%	-
7	2	30000	20%	6693,2	20,9	28%	19%	53%	-
8	2	30000	60%	68160,3	143,8	25%	17%	58%	-
9	3	15000	20%	3289,9	20,7	40%	8%	7%	45%
10	3	15000	60%	3876,6	23,0	36%	8%	9%	46%
11	3	30000	20%	7435,0	22,4	28%	8%	7%	57%
12	3	30000	60%	8769,0	25,0	25%	8%	9%	58%

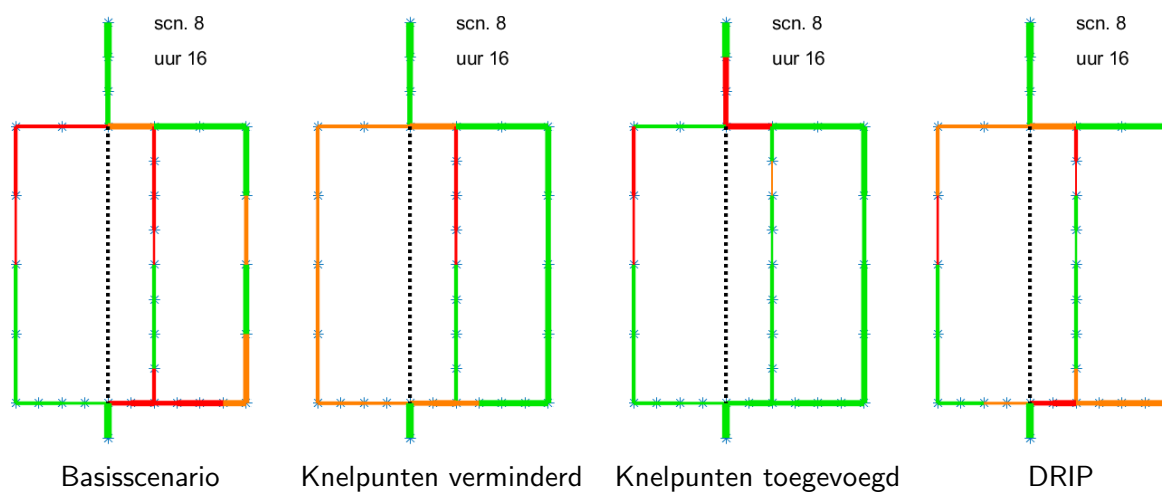
Knelpunten met DRIP

Om het effect van de toegevoegde knelpunten te bepalen bij een grotere informatiegraad is het experiment gecombineerd met het eerdere experiment met de DRIP met voorkeursroutes. Hieruit blijkt inderdaad een grotere afname van het verkeer over de ongewenste routes, van ongeveer 10% à 20 % in vergelijking met het DRIP-experiment, terwijl het geen benoemenswaardig effect heeft op de gemiddelde reistijd. Bij dit experiment blijven echter wel dezelfde risico's bestaan als bij de maatregelen met de DRIP (oversaturatie) en het wegennet (veiligheid, ergernissen). In tabel C.8 staan de resultaten van dit experiment weergegeven.

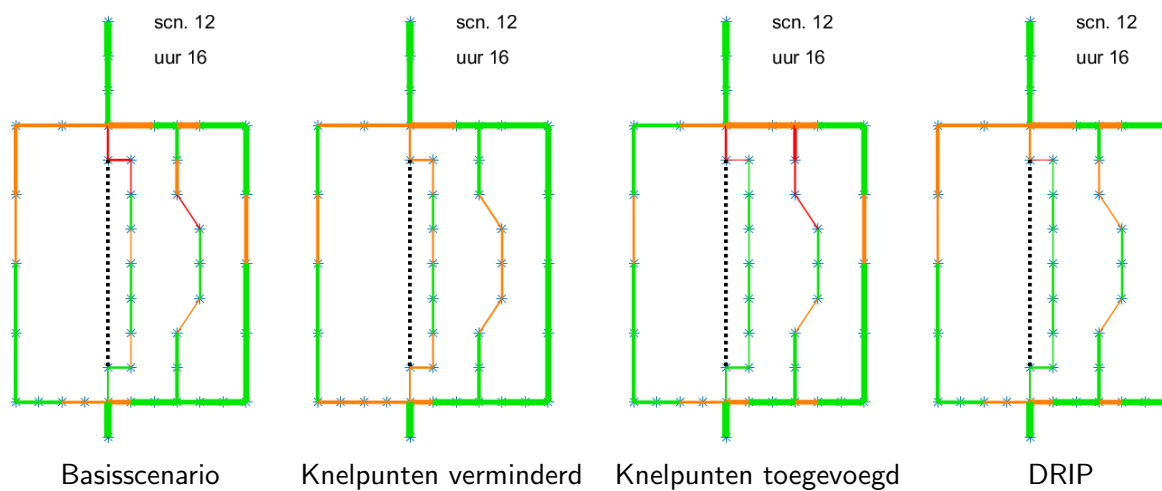
Een overzicht van een aantal modelfiguren staan weergegeven in de figuren C.15, C.16 en C.17.



Figuur C.15: Vergelijking scenario's met knelpunten bij wegennet 1



Figuur C.16: Vergelijking scenario's met knelpunten bij wegennet 2



Figuur C.17: Vergelijking scenario's met knelpunten bij wegennet 3

C.6 Volledig overzicht modelresultaten

In tabel C.9 wordt een overzicht weergegeven van de reistijden en voertuigverliesuren per experiment en scenario. Hiermee kunnen alle scenario's met elkaar worden vergeleken.

Tabel C.9: Overzicht modelresultaten per experiment en scenario

	4a Basis	4b Borden opvolgen	4c Navigatie opvolgen	4d DRIP alle routes	4e DRIP 2 routes	5a Wegennet basis	5b Minder knelpunten	5c Toegevoegde knelpunten	5d Knelpunten en DRIP
	<i>Reistijden (min)</i>								
1	14,6	12,0	15,3	12,8	12,8	14,6	14,2	14,6	12,8
2	15,8	13,0	16,7	13,9	13,9	15,8	15,5	15,9	13,9
3	15,0	12,3	15,7	13,1	13,2	15,0	14,6	15,0	13,2
4	185,7	314,2	167,5	182,4	189,2	191,3	16,1	174,6	193,7
5	17,8	19,9	17,1	18,7	18,9	17,8	17,2	18,2	19,0
6	19,5	21,6	22,9	23,0	20,7	19,5	18,8	21,6	20,9
7	25,3	20,6	31,8	23,6	20,3	25,3	22,6	23,1	20,9
8	174,2	299,3	40,4	26,8	138,3	179,1	26,4	198,5	143,8
9	20,2	20,3	20,3	20,8	20,4	20,2	19,1	20,7	20,7
10	22,1	22,1	22,2	23,8	22,7	22,1	20,8	22,7	23,0
11	20,9	21,1	21,2	23,0	21,9	20,9	19,7	23,8	22,4
12	29,3	264,5	36,9	27,3	24,9	28,4	22,1	29,9	25,0
	<i>VVU</i>								
1	1784	1121	1947	1335	1318	1778	1675	1769	1316
2	2087	1380	2307	1599	1607	2083	1994	2105	1589
3	3741	2419	4096	2797	2834	3757	3549	3745	2826
4	89085	153342	79980	87451	90835	91885	4287	83563	93121
5	2586	3090	2412	2805	2856	2585	2413	2663	2884
6	2999	3527	3849	3863	3312	2989	2813	3530	3356
7	8904	6569	12148	8064	6404	8877	7548	7802	6693
8	83367	145913	16466	9673	65409	85782	9462	95505	68160
9	3180	3200	3211	3323	3223	3184	2895	3300	3290
10	3651	3649	3680	4087	3801	3655	3327	3803	3877
11	6720	6779	6869	7761	7208	6712	6101	8134	7435
12	10919	128502	14713	9881	8721	10466	7279	11223	8769
	<i>Routekeuzereden</i>								
Borden	34%	84%	17%	17%	17%	34%	34%	33%	17%
Navigatie	17%	2%	23%	56%	16%	17%	17%	16%	16%
Eigen	49%	14%	60%	27%	26%	49%	49%	51%	18%

D Bijlages Google Maps

D.1 Analyse wegennet met Google Maps

De hiërarchie van het Nederlandse wegennetwerk is zichtbaar in Google Maps. Met verschillende lijndiktes, -kleuren en -zichtbaarheden wordt duidelijk gemaakt welke wegen belangrijker zijn dan andere. De verdeling in Google Maps komt grotendeels overeen met de classificatie van stroomwegen, gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen, maar verschilt op detailniveau.

De hiërarchie is op twee verschillende manieren zichtbaar. De meestgebruikte manier is aan de hand van de kleur en lijndikte van wegen. De andere manier is op basis van de verkeerskaart. Beide opties zullen hieronder worden toegelicht.

Kleuren en lijndiktes

Als Google Maps wordt geopend krijgt de gebruiker een algemene wegenkaart te zien (figuur D.1). Het verschil tussen wegtypes is zichtbaar aan meerdere factoren. Allereerst is er de kleur van de lijnen. Dikkere oranje lijnen geven het snelwegennetwerk (de meeste nationale stroomwegen) weer, gelabeld met de snelwegnummers in rode blokken en Europese routenummers in groene blokken. Daarnaast zijn er de gele regionale wegen (vooral provinciale stroomwegen). Deze worden weergegeven met iets dünnere, gele lijnen, met de wegnummers in gele blokken. Vervolgens zijn er nog drie types kleinere wegen (vooral erftoegangswegen), die met verschillende diktes witte lijnen worden aangegeven.

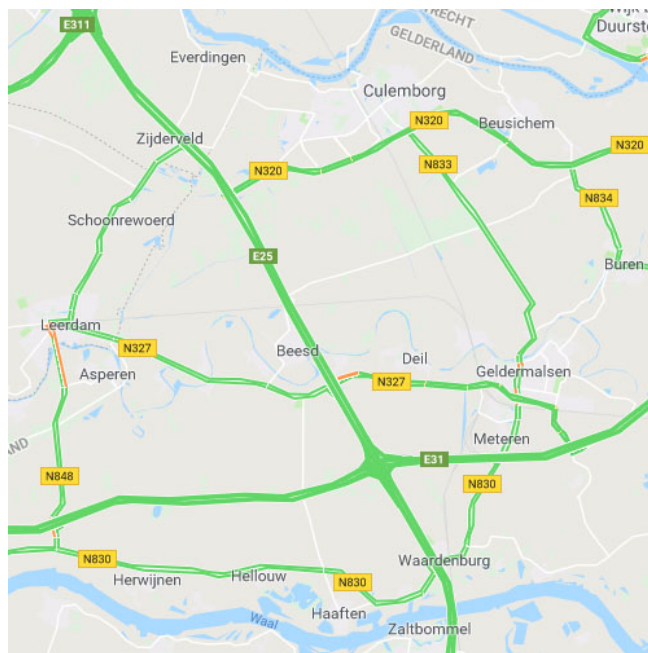
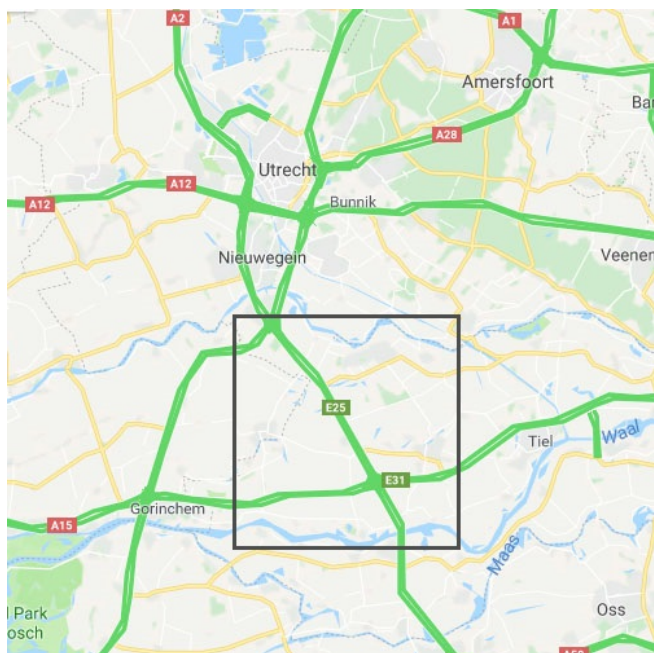
In algemene zin komt deze indeling overeen met de Duurzaam Veilig-indeling, maar deze verschillen op een aantal punten. Zo worden enkele N-wegen die als nationale stroomweg dienen op dezelfde manier weergegeven als de meeste provinciale gebiedsontsluitingswegen. Daarnaast worden gemeentelijke gebiedsontsluitingswegen weergegeven als witte lijnen (zoals de meeste erftoegangswegen).

Verkeerskaart

Een andere, duidelijkere manier om de indeling van wegtypes in Google Maps te zien is door gebruik te maken van de verkeerskaart (eventueel met typisch verkeer). Hierbij wordt het onderscheid tussen types wegen sneller duidelijk bij het in- en uitzoomen. Bij een volledig uitgezoomde kaart is slechts het snelwegennetwerk zichtbaar. Wordt er ingezoomd, dan verschijnen eerst de grotere regionale wegen en vervolgens de verschillende kleinere wegen (figuur D.2). Op deze manier is de hiërarchie van het wegennet in Google Maps beter zichtbaar.



Figuur D.1: Hiërarchie van wegennet in Google Maps door lijnkleuren en -diktes



Figuur D.2: Inzoomen op de verkeerskaart geeft informatie over wegcategorieën

D.2 Analyse knelpunten met Google Maps

Naast de ligging en grootte van de wegen, kan ook met Google Maps worden geanalyseerd waar bekende knelpunten zich bevinden. De verzamelde FCD van gebruikers is in samengevatte vorm zichtbaar in de applicaties van Google Maps, waarbij zowel de huidige als typische beschikbaar is. Aan de hand van deze historische verkeersinformatie kunnen knelpunten worden vastgesteld en kan de locatie van typische verkeersdrukte worden ingeschat.

De data uit Google Maps verschilt met traditionele meetgegevens (zoals beschikbaar bij NDW) op een aantal punten. Zo is de dekking van Google Maps veel groter, omdat het op vrijwel elke weg een inschatting van de verkeersdrukte kan geven, terwijl de metingen bij de NDW voornamelijk het snelwegennet betreffen. De traditionele meetmethodes geven echter wel een beeld van volledige verkeersintensiteiten, omdat elk voertuig gemeten wordt, terwijl hier bij Google Maps geen gegevens uit bekend zijn. Bij Google Maps is alleen informatie over de eigen gebruikers bekend en slechts in beperkte vorm. Ook is het momenteel alleen mogelijk om reistijdeninformatie te krijgen als er wordt samengewerkt met partners, zoals via het ODIQ programma van Localyse (Localyse, 2018). FCD is in alle gevallen niet beschikbaar.

Vergelijking kleuren Maps en snelheden NDW

Om de kleuren op de kaart van Google Maps met historische verkeersdata te kunnen interpreteren is op een tiental snelweglocaties onderzocht welke snelheden werden gereden op locaties waar de wegen op de historische kaart rood waren. De locaties zijn zo gekozen dat de wegen rood kleuren bij een maandagochtendspits. Daarna zijn voor dezelfde locaties bij de NDW de gemiddelde snelheden over twee maanden opgevraagd (tabel D.1).

Vervolgens is bepaald op welke tijdstippen de wegen op de historische kaart welke kleuren heeft, waarna de snelheden op die locaties op die tijden zijn bepaald met de NDW-data. Omdat de tijden niet direct overeenkomen met de hele uren in de NDW-data, zijn de snelheden geschat en afgerond. Deze gegevens staan in tabel D.2. Van deze snelheden is het gemiddelde genomen, welke zijn omgezet naar een percentage van de maximum toegestane snelheid. Hieruit blijkt het volgende:

$$v_{max} \geq v_{groen} \gtrsim 50\% \times v_{max}, \quad (D.1)$$

$$50\% \times v_{max} \gtrsim v_{oranje} \gtrsim 30\% \times v_{max}, \quad (D.2)$$

$$30\% \times v_{max} \gtrsim v_{rood} > v_{paars}, \quad (D.3)$$

$$v_{paars} \geq 0; \quad (D.4)$$

Voorbeeld

In dit gedeelte zal op basis van de verkeersinformatie in Google Maps een korte analyse worden gedaan van de verwachte knelpunten tijdens een weekendafsluiting van de A2 bij Maastricht tussen knooppunt Kerensheide en Kruisdonk hoofdrijbaan rechts.

Allereerst is interessant om te weten wat de gewoonlijke globale verkeerssituatie in het weekend rondom de afsluiting inhoudt. Omdat de afsluiting vanaf vrijdag 21.00 uur werd uitgevoerd, zal dit als meettijd van het typisch verkeer worden genomen. Hieruit blijkt dat er in het gehele gebied relatief weinig verkeer is rond die tijd (figuur D.3a).

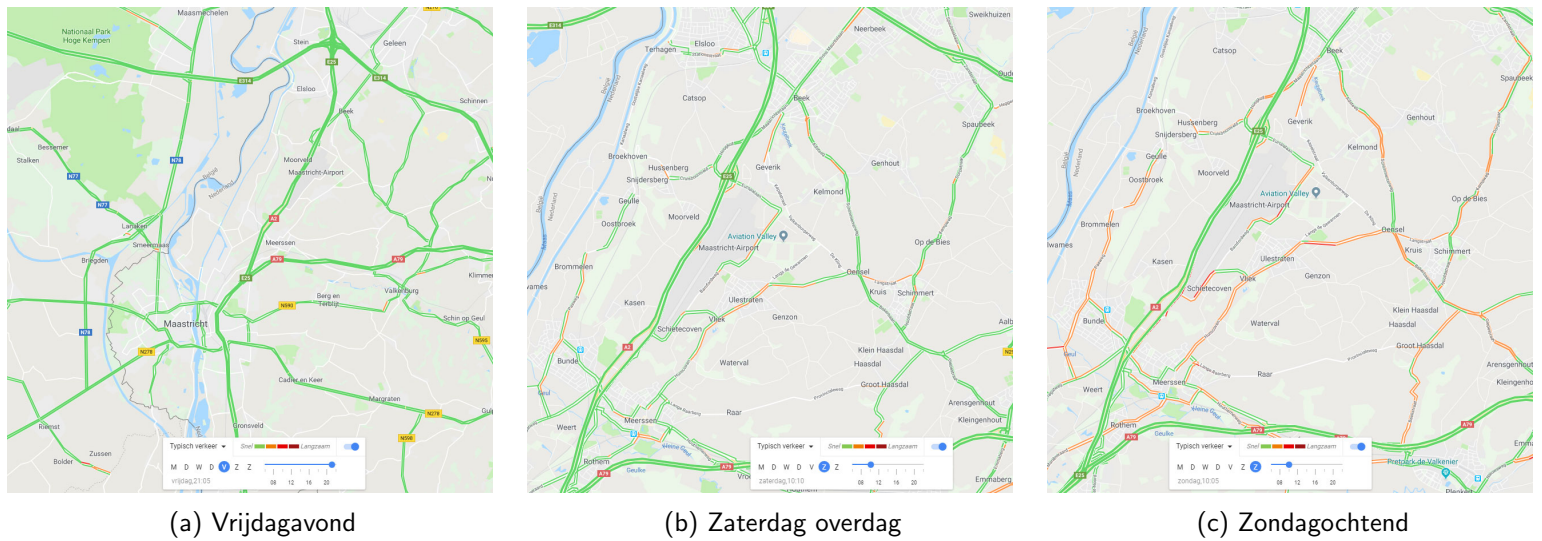
Vervolgens kan er op detailniveau verder worden gekeken of er op plaatsen congestie is. Er zijn kleine hoeveelheden congestie te vinden in de meeste plaatsen rondom de A2 en op de

Tabel D.1: Meetgegevens snelheden NDW op locaties per uur in km/h

	A12w	A50s	A59e	A27n	A2n	A58e	A1w	A44n	A4s	A59w
00:00 - 00:59	115	115	116	121	117	117	112	111	111	132
01:00 - 01:59	112	108	109	113	125	112	107	105	110	125
02:00 - 02:59	108	104	104	108	88	104	106	105	104	122
03:00 - 03:59	111	107	106	109	105	104	110	116	105	125
04:00 - 04:59	112	113	112	111	113	110	109	119	106	124
05:00 - 05:59	107	113	114	106		110	106	117	107	122
06:00 - 06:59	57	80	110	35		69	56	112	62	61
07:00 - 07:59	34	48	23	35	58	25	43	34	41	41
08:00 - 08:59	44	68	41	44		29	47	18	36	38
09:00 - 09:59	75	97	102	80	103	72	53	99	81	61
10:00 - 10:59	61	107	120	84	100	103	76	113	95	75
11:00 - 11:59	96	82	121	79	101	102	101	112	97	57
12:00 - 12:59	83	97	121	108	107	101	95	112	98	128
13:00 - 13:59	89	101	113	107	107	89	85	113	94	131
14:00 - 14:59	97	109	44	107	91	87	88	113	97	130
15:00 - 15:59	105	109	52	88	110	82	87	112	51	119
16:00 - 16:59	108	108	45	75	110	62	63	113	26	66
17:00 - 17:59	72	106	83	89	116	57	50	114	39	63
18:00 - 18:59	102	113	118	112	124	96	76	116	64	94
19:00 - 19:59	116	116	124	115	121	111	113	118	104	133
20:00 - 20:59	116	116	127	117	122	114	114	116	107	131
21:00 - 21:59	118	116	125	118	123	115	114	117	106	133
22:00 - 22:59	118	114	125	119	126	117	101	118	108	133
23:00 - 23:59	117	113	121	118		117	96	116	110	132

Tabel D.2: Vergelijking kleuren Maps en snelheden NDW

Meetpunt			Google Maps			NDW			NDW	
Snelweg	Richting	Hmp	Max (km/h)	v vanaf (u)	Rood tot (u)	v_{groen} (km/h)	v_{oranje} (km/h)	v_{rood} (km/h)	q_{max} (veh/u)	$q_{7-8 u}$ (veh/u)
A12	west	145.1	130	6.30	8.15	118	60	40	2625	2094
A50	zuid	149.3	130	6.40	8.35	116		50	5067	4288
A59	oost	100.7	130	7.10	8.45	127	50	30	2260	1594
A27	noord	27.1	130	6.10	8.05	121	50	30	3296	2074
A2	noord	185.2	130	7.00	8.45	126	70	60	3480	3480
A58	oost	32.1	130	7.00	8.45	117	70	50	2940	2013
A1	west	39.5	130	8.00	8.45	114	80	50	3431	2480
A44	noord	11.6	130	7.30	8.15	118	50	30	2594	2447
A4	zuid	59.3	130	8.00	8.15	111	60	30	3215	2813
A59	west	90.3	130	7.00	8.15	133	60	50	2462	1348
Gemiddeld						120,1	61,1	42,0		
% van max						92%	47%	32%		



Figuur D.3: Drukke momenten op vrijdag, zaterdag en zondag

Vliegveldweg ten noorden van Maastricht Aachen Airport. Ook later in het weekend zijn dit de plaatsen met de meeste congestie, met een piekmoment op zondagochtend (figuur D.3c). Bij drukte trekt de congestie in de dorpen verder door naar de omliggende wegen. Zo is de Prins Mauritslaan tussen Geleen en Beek een knelpunt en zijn de wegen rond Ulenstraten en Schimmert relatief snel druk (figuur D.3b).

Op een vergelijkbare manier kan in andere situaties een inschatting worden gemaakt van waar knelpunten zich bevinden en wanneer de verkeersintensiteiten groot zijn. Over het algemeen zullen deze zich bij op- en afritten, kruispunten en plaatsen liggen. Bij een afsluiting zullen de knelpunten waarschijnlijk meer verkeer ondervinden, waardoor het effect wordt uitvergroot.

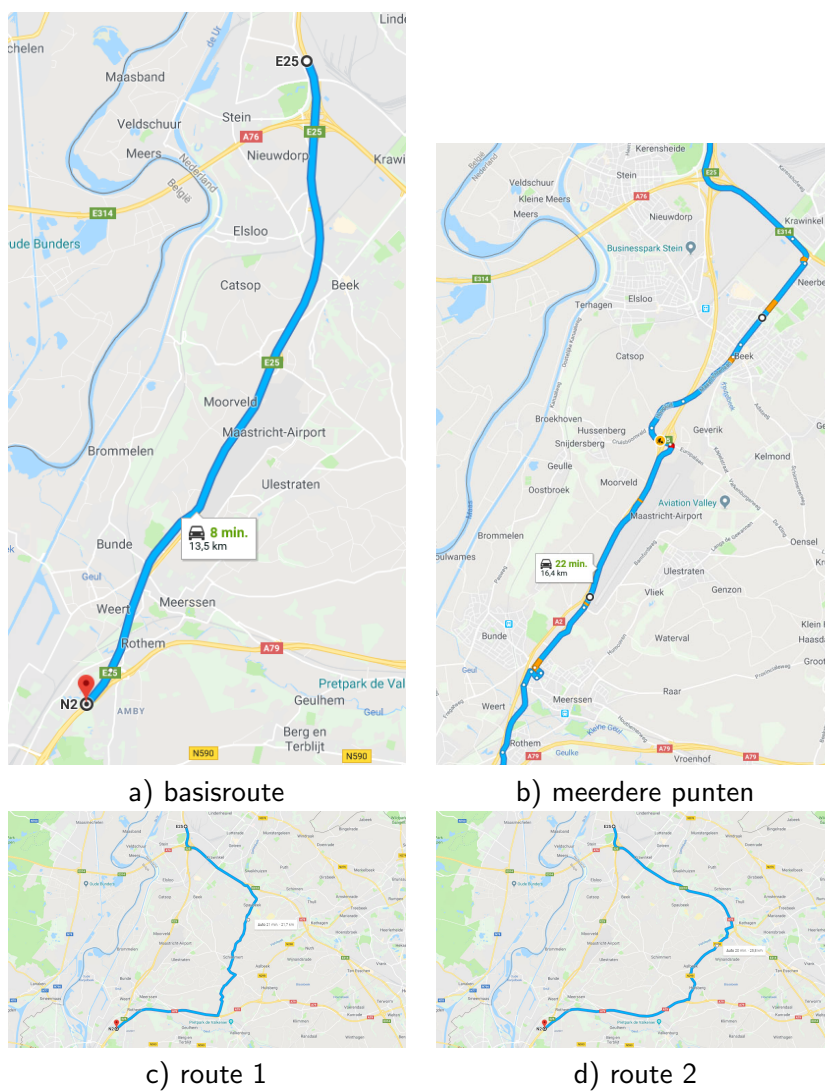
D.3 Analyse routes Google Maps

Met behulp van Google Maps kan worden vastgesteld welke routes waarschijnlijk geadviseerd zullen worden door navigatiesystemen tijdens de afsluiting. Deze (sluip)routes kunnen vervolgens de basis zijn voor geplande maatregelen, zoals het plaatsen van tekstwagens of het creëren van knelpunten.

Het bepalen van de mogelijke routes kan op de volgende manier:

1. Bepaal de route over de oorspronkelijke route. Kies hiervoor een startpunt net voor de geplande afsluiting en een bestemming net na de afsluiting. Stel de reistijd over deze route vast. (figuur D.4a)
2. Versleep één punt van de route over de kaart in één richting loodrecht op de originele route. De reistijd van de route zal steeds toenemen en vervolgens weer afnemen.
3. Houdt bij welke routes resulteren in een relatief korte reistijd (wanneer de reistijd in een minimum zit) (figuur D.4c en D.4d).
4. Herhaal de stappen met meerdere punten, zodat routes die gedeeltelijk over de afsluiting lopen ook opties worden (figuur D.4b).

De routes met de kortste reistijden, die vergelijkbaar zijn met die van de omleidingsroute, zijn potentiële (sluip)routes.



Figuur D.4: Bepalen potentiële routes Maps

D.4 Online navigatiesystemen

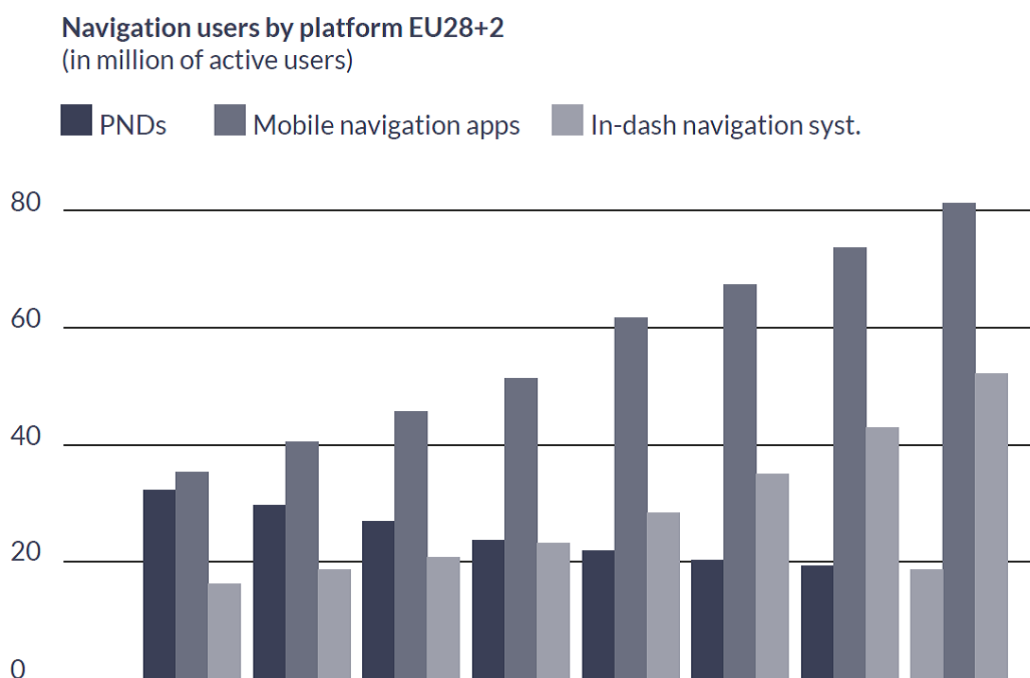
Navigatiesystemen zijn onder te verdelen in drie soorten op basis van de fysieke eigenschappen van het apparaat. Er zijn nomadische apparaten (draagbare navigatietoestellen, Personal Navigation Devices, PNDs), in het dashboard ingebouwde apparatuur (in-dash systems) en navigatie-apps.

PNDs zijn uitsluitend bedoeld als een hulpmiddel voor weggebruikers en bieden daarom weinig andere functies. De voornaamste aanbieders van deze apparaten zijn TomTom en Garmin (Privat, 2015).

In het dashboard gebouwde apparatuur wordt grotendeels door twee partijen gemaakt: TomTom en Here, een samenwerking tussen Audi, BMW, Daimler, Nokia en Navteq. (Keegel, 2013)

Mobiele navigatie-apps zijn systemen die deel uitmaken van een mobiele telefoon. Sommige zijn standaard geïnstalleerd op smartphones (zoals Google Maps en Apple Kaarten), andere kunnen als app worden gedownload. Ook zijn er apps die meer focussen op het verstrekken van andere informatie aan de weggebruiker, zoals flitsers en werkzaamheden. Voorbeelden hiervan zijn Flitsmeister en Waze. De andere grote marktpartijen, zoals TomTom, Garmin en Here, bieden ook navigatieapps aan.

De laatste jaren is een verschuiving zichtbaar van PNDs naar mobiele apps and in-dash navigation (Figuur D.5). Ook is er een trend zichtbaar waarin deze twee categorieën met elkaar vermengen. Google en Apple hebben eigen systemen waarmee smartphones aan in-dash systemen gekoppeld kunnen worden (Apple CarPlay, Android Auto) en makers van in-dash software bieden ook navigatie-apps aan voor de smartphone.



Figuur D.5: Gebruikers navigatiesystemen per platform (Privat, 2015)

Op verschillende manieren kunnen de online hulpmiddelen gebruikt worden om met de weggebruiker te communiceren. Bij veel systemen zijn er kanalen beschikbaar waarbij de eigen gebruikers informatie kunnen aanvullen. Ook kan communicatie met de wegbeheerder en tus-

senpartijen zorgen voor een betere informatievoorziening.

Google Maps

Google Maps geeft de actuele en historische verkeersinformatie aan aan de hand van vier kleuren, die aangeven hoe snel het verkeer zich beweegt ten opzichte van de maximumsnelheid (Figuur D.6a). Deze informatie komt uit de verzamelde Floating Car Data van haar gebruikers. In bijlage D.2 zijn deze kleuren vergeleken met snelheidsmetingen van de NDW. Hieruit blijkt dat de wegen oranje worden bij een gemiddelde snelheid van ongeveer 50% van de maximumsnelheid en rood bij ongeveer 30%. In de historische gegevens komt paars bijna niet voor, omdat dit meestal bij uitzonderlijke gevallen (ongeluk, evenement) voorkomt. Vermoedelijk ligt deze grens rond de 10 à 20%.

Bij werkzaamheden en afsluiting informeert Google Maps de weggebruiker met behulp van iconen op de kaart (figuren D.6b and D.6c). Hierbij geeft het (in enkele gevallen) afsluitingen aan op het moment dat deze plaatsvinden en soms enige tijd daarna. Ook kan het bij deze meldingen uitleg geven in tekstkaders.

Informatie doorgeven

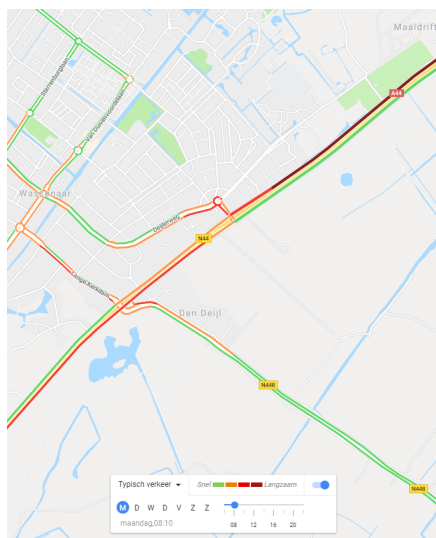
Google Maps heeft geen openbaar toegankelijke contactpersonen. Toch zijn er een aantal kanalen om Google van informatie te voorzien over de kaart- of verkeersinformatie.

Voor gebruikers van Google Maps bestaat er de mogelijkheid feedback te leveren op de kaartgegevens middels een online formulier (figuur D.7a). Hiermee kan onder andere worden aangegeven dat een wegvak is afgesloten. Vervolgens wordt dit formulier beoordeeld door Google Maps (Maps, 2018). Hoewel hierbij geen onderscheid wordt gemaakt tussen gewone gebruikers en autoriteiten en hoewel er geen aanvullende informatie kan worden gecommuniceerd, is dit wel de gemakkelijkste en een snelle optie om informatie door te geven (figuur D.7b). Vermoedelijk wordt bij het beoordelen van het formulier gebruik gemaakt van actuele FCD. Hoe betrouwbaar dit kanaal is zou uit ervaring moeten blijken. Een aantal pogingen tijdens dit onderzoek boekte wisselende resultaten (van binnen 10 minuten verwerkt tot geen respons).

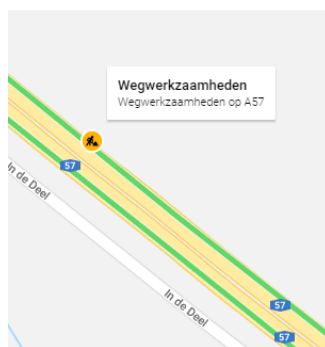
Een ander kanaal om informatie door te geven is het BaseMapPartner-programma van Google Maps. Met dit programma kan uitgebreide vectordata namens een instantie worden opgestuurd. Het middel is vooral gericht op het aanleveren van grotere datasets, zoals parken, wegennetwerken of perceelgrenzen (Google, 2018b). Voor het doorgeven van tijdelijk afgesloten wegen is het middel minder geschikt.

Het derde kanaal is door de informatie via de NDW te laten lopen. De NDW ontvangt informatie van partijen en geeft deze vervolgens door aan aanbieders van verkeersinformatie. Voor werkzaamheden ontvangt de NDW data uit plansystemen van wegbeheerders. Door werkzaamheden aan en af te melden wordt de informatie van de NDW als betrouwbaar ervaren door navigatiesystemen, waardoor deze informatie sneller zal worden overgenomen. Momenteel is er ook een uitgebreidere samenwerking met Waze, waarbij beide partijen van elkaars gegevens gebruikmaken.

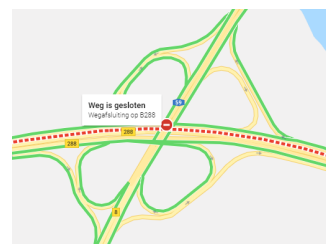
Een vierde middel verdient ook de aandacht. Tot 2017 was er bij Google Maps de mogelijkheid om gebruik te maken van Google Map Maker, een community-based platform waarbij gebruikers kaartgegevens direct konden wijzigen en evalueren (Google, 2018a). Dit programma is vanwege misbruik echter gestopt en deels verwerkt in de andere functies van Google Maps (Schellevis, 2015). Vermoedelijk beschikken de systemen van Google achter de schermen over ongeveer dezelfde functies als die in dit programma.



(a) Voorbeeld van typisch verkeer rond Wassenaar



(b) Melding wegwerkzaamheden in Google Maps



(c) Melding wegafsluiting Google Maps

Figuur D.6: Informatie in Google Maps

Andere navigatiesystemen

De focus van dit onderzoek ligt voornamelijk op Google Maps. Om toch een beeld te krijgen van de rest van de navigatiemarkt zal in dit gedeelte aandacht worden besteed aan de grootste alternatieve partijen.

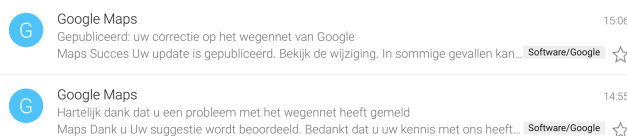
Apple Maps Apple Maps (Kaarten) is de navigatie-app van Apple en beschikt deze app over een groot marktaandeel omdat deze app standaard wordt geïnstalleerd op mobiele apparaten van Apple. Na Google Maps is het hierdoor wereldwijd de meestgebruikte navigatieapp op smartphones (Statista, 2012). Ook Apple Maps beschikt over een zeker feedbackformulier, hoewel er geen specifieke optie is voor een wegafsluiting. Apple Maps werkt samen met TomTom bij het aanbieden van kaarten en verkeersinformatie.

Here In de mobiele app van Here bestaat er de mogelijkheid feedback te leveren middels een soortgelijk formulier als die van Google Maps. de ANWB geeft aan dat de kaartinformatie vaak niet up-to-date is (ANWB, 2017).

Waze Waze is een navigatie-app die zich meer focust op het gebruik van de gemeenschap als informatiebron. Het biedt veel mogelijkheden om afsluitingen, werkzaamheden en snelheidscontroles te melden. Voor het bewerken van de kaartinformatie gelden echter wel een aantal restricties. Er kunnen alleen aanpassingen worden gedaan op plaatsen waar de gebruiker daadwerkelijk gereden heeft, en voor veel aanpassingen is een bepaald niveau vereist, dat wordt verkregen door kilometers af te leggen en kleinere meldingen te maken. Hiermee zorgt Waze ervoor dat alleen 'ervaren' gebruikers de informatie kunnen bewerken.

Het systeem van Waze lijkt meer transparant als het gaat om het online doorgeven van een melding. Er is een uitgebreid stappenplan wat doorlopen kan worden, waarbij een duidelijke omschrijving van een afsluiting en de begin- en eindtijd kunnen worden doorgegeven. Echter, doordat het stappenplan zo uitgebreid is, kost het volledig doorgeven van een afsluiting wel aanzienlijk meer tijd dan bij een simpel feedbackformulier.

(a) Feedbackformulier



(b) Correspondentie over afsluiting

Figuur D.7: Feedback leveren aan Google Maps

Flitsmeister Flitsmeister is een app die zich ook vooral richt op meldingen van gebruikers. De app beschikt over een navigatiefunctie en een grote meldknop bovenin de app, waarmee flitsers en tijdelijke wijzigingen kunnen worden doorgegeven. Zo bestaat er ook de mogelijkheid om meldingen te maken van wegwerkzaamheden en de bijbehorende afgesloten rijbanen. Hierbij geldt wel dat er alleen meldingen in de app kunnen worden gedaan voor de huidige locatie.

In het verleden heeft Rijkswaterstaat een aantal experimenten met Flitsmeister uitgevoerd die zich richtten op het in goede banen leiden van het verkeer rondom een afsluiting en een evenement (Rijkswaterstaat, 2016). Flitsmeister is onderdeel van Be-Mobile.

TomTom TomTom heeft voor het doorgeven van kaartwijzigingen het Map Share Reporter programma. Hiermee kunnen wijzigingen aan de kaart online worden doorgegeven. Ze geven aan de melding binnen een paar dagen of weken te behandelen. Ook kan er op bepaalde navigatiesystemen zelf een melding worden gemaakt (TomTom, 2018).

Garmin De navigatiesystemen van Garmin kunnen worden gekoppeld aan een smartphone via een app. Met deze koppeling wordt het mogelijk om real-time verkeersinformatie te krijgen in het navigatiesysteem. Het lijkt echter dat deze koppeling vooral is bedoeld voor verkeersdrukke, en dat de informatie over wegafsluitingen hierbij zeer beperkt is.

Melvin De NDW is samen met Dat.Mobility en Tenuki bezig met het ontwikkelen van een meldingssysteem voor verkeersgegevens onder de naam Melvin (**MEL**den van **V**erstoringsen in de **I**nfrastructuur in **N**ederland). Dit nationale systeem zou het gemakkelijker moeten maken voor wegbeheerders om inzicht te krijgen in de beschikbaarheid van de weg (NDW, 2017). Het is echter de vraag in hoeverre dit systeem gebruikt zal worden door de aanbieders van verkeersinformatie.

Afweging

De verschillende navigatiesystemen verschillen globaal op vier punten van elkaar:

- Het gemak waarmee een melding kan worden gedaan;
- De snelheid waarmee een melding in de software wordt verwerkt;
- Het effect van een correcte melding (gebaseerd op de gebruikershoeveelheden);
- De deelname van de eigen gebruikers.

De verschillen zijn in onderstaande tabel weergegeven. Op basis hiervan kan een inschatting worden gedaan van in welke navigatiesystemen actief een melding moet worden gedaan van een afsluiting. Op dit moment lijkt het het beste om actief een melding te maken in Google Maps en eventueel in Waze en Flitsmeister, gezien de actievare groep eigen gebruikers bij laatste twee.

	Eenvoud melden	Eigen gebruikers	Snelheid melding	Effect melden
Google Maps	++	+	++	++
Apple Maps	-	-	-	+
Here	+	-	-	-
Waze	-	++	+	+
Flitsmeister	+	++	++	++
TomTom	+	-	-	+
Garmin	-	-	-	+

Tabel D.3: Vergelijkingstabel navigatiesystemen

E Bijlages model

Tabel E.1: Meetlocaties intensiteiten per uur

Doordeweeks			Weekend		
Snelweg	Richting	Hmp	Snelweg	Richting	Hmp
A29	zuid	20.5	A15	oost	108.5
A29	noord	20.5	A15	west	108.5
A2	noord	40.3	A2	noord	40.3
A2	noord	105.9	A2	noord	230.6
A2	zuid	40.4	A2	zuid	40.4
A2	zuid	106	A2	zuid	230.6
A4	noord	14.4	A12	west	42.6
A4	zuid	14.4	A12	oost	42.7
A12	west	20.2	A28	zuid	77
A12	oost	20.2	A28	noord	77
A28	noord	103.8	A37	west	14.1
A28	noord	165.1	A37	oost	14
A1	west	97.8	A73	west	87.7
A1	oost	97.8	A73	oost	87.7
A2	noord	223.8	A7	west	137.7
A2	zuid	223.9	A7	oost	137.7
A7	west	187.4	A12	west	145.7
A7	oost	187.4	A12	oost	145.7
A28	zuid	103.8	A4	noord	36.8
A28	zuid	165.1	A4	zuid	36.8

E.1 Verdeling per uur

Om de verdeling van de verkeersdrukke over een dag te bepalen is gebruik gemaakt van intensiteitsgegevens van de NDW over een aantal snelwegen. Hierbij is het onderscheid gemaakt tussen de verdeling doordeweeks en in het weekend, omdat deze aanzienlijk verschillen.

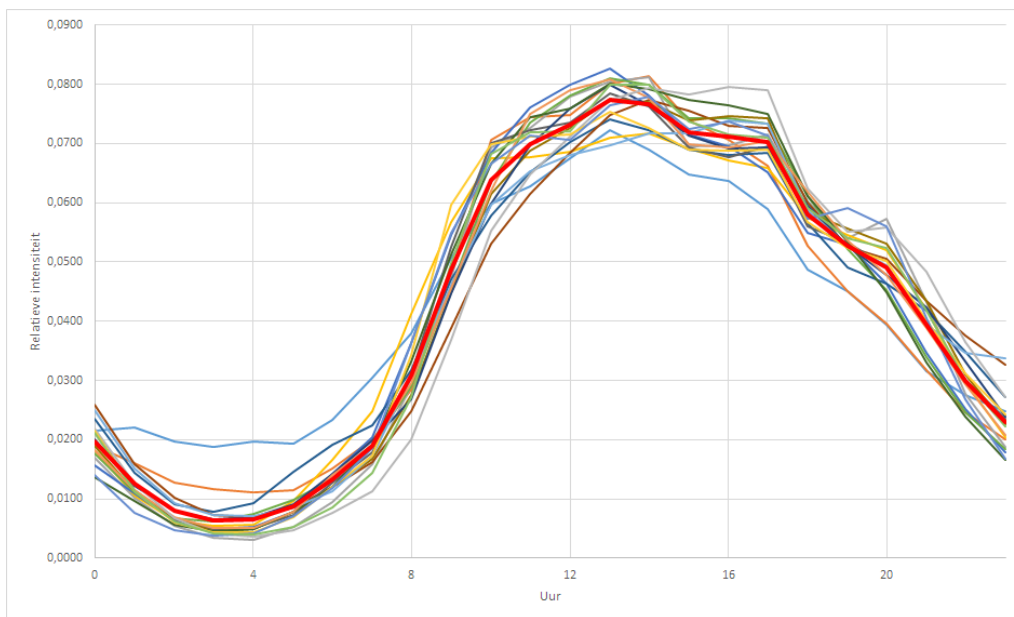
Voor de intensiteiten in het weekend is gebruik gemaakt van de meetpunten in tabel E.1. Van deze locaties zijn de gemiddelde intensiteiten per uur genomen over de periode van 1 mei 2017 tot 1 mei 2018 op maandag – vrijdag (tabel E.3) en op zaterdag – zondag (tabel E.2). Vervolgens worden deze waarden gedeeld door de totale hoeveelheden per locatie, waardoor een relatieve intensiteit per uur ontstaat (tabel E.4 en E.5). Deze zijn per locatie geplot in figuur E.1 en E.5, met ook de gemiddelde lijn toegevoegd (dikgedrukt rood).

Tabel E.2: Intensiteiten per uur per meetpunt op zaterdag – zondag (via NDW)

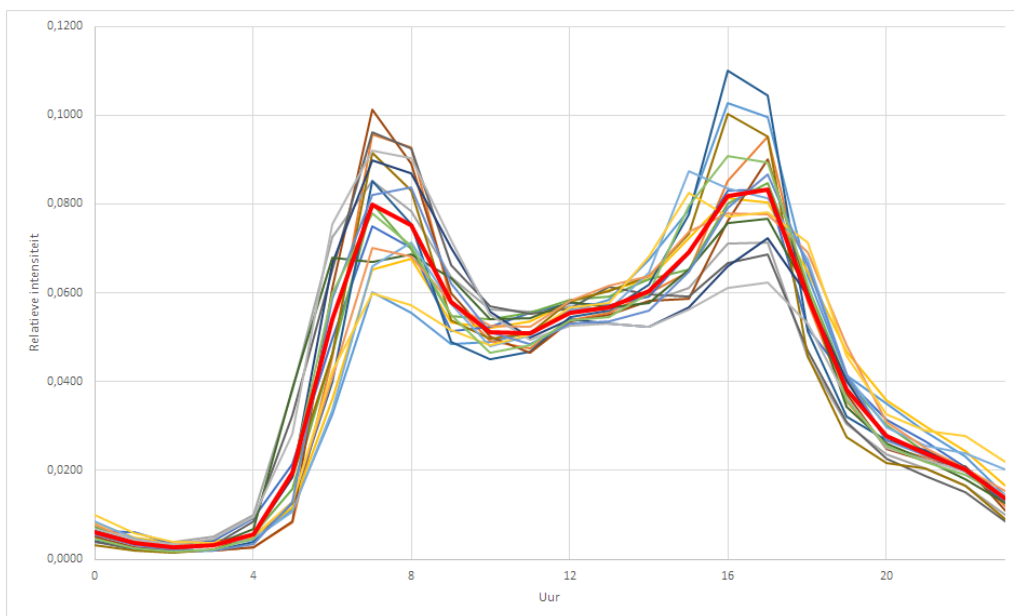
Uur	Intensiteiten per uur per meetpunt (weekend)																						
0	450	212	225	176	470	526	1322	1337	416	388	1473	551	1804	678	1441	1354	339	485					
1	459	178	136	103	328	328	807	819	221	232	897	387	1096	425	822	708	184	260					
2	412	143	72	62	191	202	514	524	125	140	589	224	673	254	445	385	115	142					
3	391	131	45	53	148	183	434	377	94	94	483	182	529	186	277	277	91	96					
4	412	125	41	55	159	220	520	356	100	99	504	197	516	192	240	280	100	93					
5	404	129	70	93	234	292	815	445	140	159	669	312	614	293	308	437	171	120					
6	488	169	126	160	426	395	1074	625	247	245	1041	484	824	524	508	754	286	196					
7	635	224	211	240	612	571	1258	841	345	345	1449	770	1257	711	745	1092	450	329					
8	792	318	386	399	1087	862	1774	1279	599	564	1965	1335	2206	1099	1317	2168	881	621					
9	1057	534	629	549	1631	1359	2634	2002	1013	920	3272	2062	3344	1691	2420	3763	1330	1140					
10	1247	787	918	652	2047	1886	3243	2745	1351	1262	4370	2678	4322	2300	3626	4411	1612	1564					
11	1306	831	961	654	2272	2186	3648	3173	1393	1410	5102	2990	4728	2782	4253	4495	1727	1647					
12	1407	835	1032	664	2391	2322	3930	3532	1417	1488	5550	3052	4923	2930	4674	4515	1708	1654					
13	1505	894	1067	686	2469	2410	4147	3857	1514	1590	5847	3223	5048	3000	5084	4756	1851	1830					
14	1435	908	1076	693	2332	2375	4042	3998	1471	1579	5585	3186	5192	2887	5207	4587	1886	1832					
15	1349	824	920	668	2138	2208	3857	3901	1336	1515	5214	3111	5199	2597	5136	4357	1753	1689					
16	1328	788	924	650	2077	2209	3807	3768	1307	1530	5062	3075	5346	2574	5227	4345	1786	1638					
17	1226	738	948	636	1948	2181	3835	3752	1340	1523	5070	3014	5308	2616	5191	4356	1726	1628					
18	1016	588	797	555	1640	1819	3171	3098	1080	1196	4354	2457	4260	2295	4100	3581	1389	1357					
19	939	503	715	528	1582	1550	2750	2709	1029	1140	3859	2152	3823	1992	3615	3303	1431	1240					
20	819	442	758	502	1384	1342	2595	2606	952	1090	3491	1805	3574	1777	3672	3173	1357	1199					
21	658	353	572	405	1034	1007	2336	2241	761	891	3091	1325	2859	1440	3170	2536	981	957					
22	573	274	367	287	750	730	1949	1938	582	637	2425	957	2509	1091	2401	1969	649	692					
23	517	223	249	197	535	548	1524	1686	455	465	1749	666	2450	774	1784	1527	408	511					
Totaal	20825	11151	13245	9667	29885	29711	55986	51609	19288	20502	73111	40195	72404	37108	65663	63129	24211	22920					

Tabel E.3: Intensiteiten per uur per meetpunt op maandag – vrijdag (via NDW)

Uur	Intensiteiten per uur per meetpunt (doordeweeks)																						
0	333	129	296	415	258	387	124	153	174	84	188	131	649	397	839	533	748	1037	328	273			
1	188	66	222	239	244	216	67	85	115	48	87	69	396	228	467	288	469	613	177	147			
2	153	51	217	182	141	155	49	59	105	38	63	56	314	180	322	212	384	414	122	109			
3	156	50	281	201	166	161	62	62	146	56	70	75	341	215	334	215	503	379	119	133			
4	196	68	547	259	375	299	118	79	382	145	154	185	537	457	450	348	1023	549	195	279			
5	505	213	2074	586	863	828	387	261	1460	475	616	1108	1851	2545	1065	888	3064	1364	738	1161			
6	1478	1180	3951	1791	1992	2407	1214	1856	2952	1193	1528	2977	6627	4507	3338	2802	8223	4442	3386	3532			
7	2728	2473	4645	3235	3005	4169	2590	3073	4349	2363	1851	3154	8937	4432	6545	4784	10019	6281	4732	4597			
8	2517	2396	4268	3359	2813	3639	2298	2704	4182	2141	1606	2679	8646	4546	7061	4655	9831	5981	4827	4163			
9	2192	1506	3454	2645	2059	2850	1488	1819	2990	1390	1493	2020	6987	4200	5690	3935	7815	5404	3573	3246			
10	2219	1272	3066	2579	2102	2818	1370	1520	2575	1280	1482	1653	5537	3589	4763	3590	6001	5045	2943	2746			
11	2316	1230	3031	2653	2228	2892	1424	1412	2498	1313	1530	1540	4966	3600	4994	3573	5375	5310	2787	2836			
12	2527	1390	3100	2868	2311	3044	1659	1629	2557	1503	1644	1642	5385	3841	5569	3978	5738	5927	3060	3172			
13	2644	1436	3060	2998	2298	3084	1706	1669	2769	1555	1721	1742	5277	3764	5570	4209	5767	6031	3093	3221			
14	3051	1550	3160	3123	2370	3281	1882	1768	2697	1646	1954	1741	5198	3822	6398	4360	5710	7130	3223	3537			
15	3559	1677	3327	3580	2761	3397	2364	1784	2674	1888	2576	1781	5654	4318	8663	5048	6116	8629	3737	4692			
16	4656	2203	3873	4023	3329	4168	3349	2313	3012	2584	3139	2225	6565	5012	8262	5316	6654	8071	4565	5351			
17	4513	2463	3888	3984	3333	4406	3175	2734	3106	2453	3155	2210	7183	5078	8053	5306	6781	8172	4992	5265			
18	2893	1496	2479	3212	2090	3213	1561	1838	2129	1179	2325	1575	5923	4001	6676	4723	5779	7480	3820	3649			
19	1876	919	1659	2312	1629	2088	974	1131	1403	712	1420	1062	4003	2280	4127	3300	3956	4782	2395	2108			
20	1594	653	1290	1778	1256	1579	813	754	1025	561	1024	763	2672	1728	2946	2107	2737	3419	1544	1501			
21	1305	595	1116	1486	1061	1253	749	673	846	526	827	635	2417	1493	2542	1714	2452	3041	1354	1300			
22	1049	533	900	1210	835	1034	602	636	681	427	664	493	2058	1192	2375	1405	2155	2901	1155	1117			
23	647	310	547	822	562	706	383	333	388	233	504	281	1376	843	2015	1045	1558	2287	765	822			
Totaal	45295	25859	54451	49540	40081	52074	30408	30345	45215	25793	31621	31797	99499	66268	99064	68334	108858	104689	57630	58957			



Figuur E.1: Relatieve verkeersintensiteiten per uur in het weekend. De dikgedrukte rode lijn is de gemiddelde waarde.



Figuur E.2: Relatieve verkeersintensiteiten per uur doordeweeks. De dikgedrukte rode lijn is de gemiddelde waarde.

E.2 Kenmerken links in model

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	509	509	3	110	4
101	309	309	2	80	1
103	109	109	2	80	1
105	109	107	2	80	1
107	107	105	2	50	1
109	105	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	60	1
116	401	501	1	60	1
201	509	508	1	50	1
202	508	608	1	50	1
203	608	607	1	30	1
204	607	606	1	50	1
205	606	605	1	30	1
206	605	604	1	50	1
207	604	603	1	50	1
208	603	602	1	30	1
209	602	502	1	50	1
210	502	501	1	40	1
301	509	709	2	130	2
303	709	809	1	130	2
304	809	808	1	80	1
305	808	807	1	80	1
306	807	906	1,5	30	1
307	906	905	1	50	1
308	905	904	1	50	1
309	904	803	1,5	30	1
310	803	802	1	80	1
311	802	801	1	80	1
312	801	701	1	130	2
313	701	601	1	130	2
314	601	501	1	100	2
401	809	909	1	130	2
403	909	1109	2	130	2
405	1109	1107	4	130	2
407	1107	1105	4	90	2
409	1105	1103	4	130	2
411	1103	1101	4	130	2
413	1101	1001	1	130	2
414	1001	901	1	130	2
415	901	801	1	130	2
416	801	701	1	100	2
999	501	999	99	9999	99

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	509	509	3	110	4
101	309	309	2	80	1
103	309	109	2	80	1
105	109	107	2	80	1
107	107	105	2	50	1
109	105	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	60	1
116	401	501	1	60	1
201	509	709	2	130	2
203	709	708	1	80	1
204	708	707	1	80	1
205	707	706	1	80	1
206	706	705	1	50	1
207	705	704	1	80	1
208	704	703	1	80	1
209	703	702	1	80	1
210	702	701	1	80	1
211	701	601	1	130	2
212	601	501	1	100	2
401	709	909	2	130	2
403	909	1109	2	130	2
405	1109	1107	4	130	2
407	1107	1105	4	90	2
409	1105	1103	4	130	2
411	1103	1101	4	130	2
413	1101	1001	1	130	2
414	1001	901	1	130	2
415	901	801	1	130	2
416	801	701	1	100	2
999	501	999	99	9999	99

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	509	509	3	110	4
101	309	309	2	80	1
103	309	109	2	80	1
105	109	107	2	80	1
107	107	105	2	60	1
109	105	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	60	1
116	401	501	1	60	1
201	509	709	2	130	2
203	709	708	1	130	2
204	708	707	1	130	2
205	707	706	1	130	2
206	706	705	1	100	2
207	705	704	1	130	2
208	704	703	1	130	2
209	703	702	1	130	2
210	702	701	1	130	2
211	701	601	1	130	2
212	601	501	1	100	2
401	709	909	2	80	1
403	909	1109	2	80	1
405	1109	1107	4	80	1
407	1107	1105	4	60	1
409	1105	1103	4	80	1
411	1103	1101	4	80	1
413	1101	1001	1	80	1
414	1001	901	1	80	1
415	901	801	1	80	1
416	801	701	1	60	1
999	501	999	99	9999	99

Basisnetwerk 2

Basisnetwerk 1

Basisnetwerk 3

Tabel E.6: Basisnetwerk. De snelheden die zijn verlaagd om een knelpunt te simuleren zijn dikgedrukt.

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	509	509	3	110	4
101	309	309	2	80	1
103	109	109	2	80	1
105	107	107	2	80	1
107	105	105	2	70	1
109	103	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	70	1
116	401	501	1	70	1
201	509	508	1	50	1
202	508	608	1	50	1
203	608	607	1	40	1
204	607	606	1	50	1
205	606	605	1	40	1
206	605	604	1	50	1
207	604	603	1	50	1
208	603	602	1	40	1
209	602	502	1	50	1
210	502	501	1	40	1
301	509	709	2	130	2
303	709	809	1	130	2
304	809	808	1	80	1
305	808	807	1	80	1
306	807	906	1,5	40	1
307	906	905	1	50	1
308	905	904	1	50	1
309	904	803	1,5	40	1
310	803	802	1	80	1
311	802	801	1	80	1
312	801	701	1	130	2
313	701	601	1	130	2
314	601	501	1	100	2
401	809	909	1	130	2
403	909	1109	2	130	2
405	1109	1107	4	130	2
407	1107	1105	4	110	2
409	1105	1103	4	130	2
411	1103	1101	4	130	2
413	1101	1001	1	130	2
414	1001	901	1	130	2
415	901	801	1	130	2
416	801	701	1	110	2
999	501	999	99	9999	99

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	509	509	3	110	4
101	309	309	2	80	1
103	109	109	2	80	1
105	107	107	2	80	1
107	105	105	2	80	1
109	103	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	70	1
116	401	501	1	70	1
201	509	709	2	130	2
203	709	708	1	80	1
204	708	707	1	80	1
205	707	706	1	80	1
206	706	705	1	60	1
207	705	704	1	80	1
208	704	703	1	80	1
209	703	702	1	80	1
210	702	701	1	80	1
211	701	601	1	130	2
212	601	501	1	110	2
401	709	909	2	130	2
403	909	1109	2	130	2
405	1109	1107	4	130	2
407	1107	1105	4	110	2
409	1105	1103	4	130	2
411	1103	1101	4	130	2
413	1101	1001	1	130	2
414	1001	901	1	130	2
415	901	801	1	130	2
416	801	701	1	110	2
999	501	999	99	9999	99

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	509	509	3	110	4
101	309	309	2	80	1
103	109	109	2	80	1
105	107	107	2	80	1
107	105	105	2	70	1
109	103	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	70	1
116	401	501	1	70	1
201	509	709	2	130	2
203	709	708	1	130	2
204	708	707	1	130	2
205	707	706	1	130	2
206	706	705	1	110	2
207	705	704	1	130	2
208	704	703	1	130	2
209	703	702	1	130	2
210	702	701	1	130	2
211	701	601	1	130	2
212	601	501	1	110	2
401	709	909	2	80	1
403	909	1109	2	80	1
405	1109	1107	4	80	1
407	1107	1105	4	70	1
409	1105	1103	4	80	1
411	1103	1101	4	80	1
413	1101	1001	1	80	1
414	1001	901	1	80	1
415	901	801	1	80	1
416	801	701	1	70	1
999	501	999	99	9999	99

Network 2 met minder knelpunten

Network 1 met minder knelpunten

Network 3 met minder knelpunten

Tabel E.7: Verminderde knelpunten.

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	510	509	3	110	4
101	509	309	2	80	1
103	309	109	2	80	1
105	109	107	2	80	1
107	107	105	2	70	1
109	105	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	70	1
116	401	501	1	70	1
201	509	508	1	50	1
202	508	608	1	20	1
203	608	607	1	40	1
204	607	606	1	50	1
205	606	605	1	40	1
206	605	604	1	50	1
207	604	603	1	50	1
208	603	602	1	40	1
209	602	502	1	50	1
210	502	501	1	40	1
301	509	709	2	130	2
303	709	809	1	130	2
304	809	808	1	80	1
305	808	807	1	40	1
306	807	906	1,5	40	1
307	906	905	1	50	1
308	905	904	1	50	1
309	904	803	1,5	40	1
310	803	802	1	80	1
311	802	801	1	80	1
312	801	701	1	130	2
313	701	601	1	130	2
314	601	501	1	100	2
401	809	909	1	130	2
403	909	1109	2	130	2
405	1109	1107	4	130	2
407	1107	1105	4	110	2
409	1105	1103	4	130	2
411	1103	1101	4	130	2
413	1101	1001	1	130	2
414	1001	901	1	130	2
415	901	801	1	130	2
416	801	701	1	110	2
999	501	999	99	9999	99

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	510	509	3	110	4
101	509	309	2	80	1
103	309	109	2	80	1
105	109	107	2	80	1
107	107	105	2	80	1
109	105	103	2	70	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	70	1
116	401	501	1	70	1
201	509	709	2	130	2
203	709	708	1	80	1
204	708	707	1	40	1
205	707	706	1	80	1
206	706	705	1	60	1
207	705	704	1	80	1
208	704	703	1	80	1
209	703	702	1	80	1
210	702	701	1	80	1
211	701	601	1	130	2
212	601	501	1	110	2
401	709	909	2	130	2
403	909	1109	2	130	2
405	1109	1107	4	130	2
407	1107	1105	4	110	2
409	1105	1103	4	130	2
411	1103	1101	4	130	2
413	1101	1001	1	130	2
414	1001	901	1	130	2
415	901	801	1	130	2
416	801	701	1	110	2
999	501	999	99	9999	99

Linknr.	Node1	Node2	Lengte	v_max	n_rijbanen
0	511	511	99	9999	99
151	510	510	3	130	4
152	510	509	3	110	4
101	509	309	2	80	1
103	309	109	2	80	1
105	109	107	2	80	1
107	107	105	2	80	1
109	105	103	2	80	1
111	103	101	2	80	1
113	101	201	1	80	1
114	201	301	1	80	1
115	301	401	1	70	1
116	401	501	1	70	1
201	509	709	2	130	2
203	709	708	1	130	2
204	708	707	1	130	2
205	707	706	1	130	2
206	706	705	1	110	2
207	705	704	1	130	2
208	704	703	1	130	2
209	703	702	1	130	2
210	702	701	1	130	2
211	701	601	1	130	2
212	601	501	1	110	2
401	709	909	2	80	1
403	909	1109	2	80	1
405	1109	1107	4	80	1
407	1107	1105	4	70	1
409	1105	1103	4	80	1
411	1103	1101	4	80	1
413	1101	1001	1	80	1
414	1001	901	1	80	1
415	901	801	1	80	1
416	801	701	1	70	1
999	501	999	99	9999	99

Netwerk 2 met meer knelpunten

Netwerk 1 met meer knelpunten

Netwerk 3 met meer knelpunten

Tabel E.8: Toegevoegde knelpunten. De toegevoegde knelpunten om het sluipverkeer tegen te gaan zijn schuingedrukt.