



**TrafficQuest**  
CENTRE FOR EXPERTISE ON TRAFFIC MANAGEMENT

*TrafficQuest rapport*

# Bijdrage van buffers aan een robuust wegennet

*Simulatiestudie met Aimsun*



## Colofon

Auteurs	Maaïke Snelder Ben Immers Tanneke Ouboter Zeriet Woldeab
Datum	16 oktober 2012
Versie nummer	1.0
Uitgegeven door	TrafficQuest Expertisecentrum Verkeersmanagement Kluyverweg 4 2629 HT DELFT
Informatie	Henk Taale
Telefoon	+31 88 798 24 98
Foto voorkant	Isabel Wilmink

TrafficQuest is een samenwerkingsverband van

**TNO** innovation  
for life

**TU**Delft



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



**TrafficQuest**  
CENTRE FOR EXPERTISE ON TRAFFIC MANAGEMENT

# **Bijdrage van buffers aan een robuust wegennet**

---

Een simulatiestudie met Aimsun

---

16 oktober 2012



## Inhoudsopgave

1.	Inleiding .....	7
2.	Case A13 – Kruithuisplein .....	10
2.1.	Beschrijving case .....	10
2.2.	Resultaten .....	15
3.	Naar een bufferstrategie .....	20
4.	Conclusies en aanbevelingen .....	22
5.	Referenties.....	24



## Samenvatting

Verschillende studies hebben aangetoond dat delen van het Nederlandse wegennetwerk kwetsbaar zijn (bijv. Snelder *et al.*, 2012). Kleine ongevallen of slechte weersomstandigheden kunnen al tot veel files en grote reistijdverliezen leiden. Een robuust wegennet, waarbij het netwerk minder vatbaar wordt voor kleine verstoringen wordt daarom steeds belangrijker. In de Visie Robuust Wegennet (Schrijver *et al.*, 2008), ontwikkeld voor de ANWB, wordt op basis van een aantal algemene principes een plan geschetst hoe een robuuste structuur van het hoofdwegennet in de regio Rotterdam- Den Haag er uit zou kunnen zien. In deze visie nemen buffers een belangrijke plaats in. Er zijn drie typen buffers geïdentificeerd:

- natuurlijke bufferfunctie van wegvakken;
- terugslagbuffers;
- doseerbuffers.

In dit rapport is aan de hand van een voorbeeldcase rondom de A13/Kruithuisplein (situatie 2010) met micro-simulatie inzichtelijk gemaakt wat het effect van een doseerbuffer kan zijn op het aantal voertuigverliesuren en de reistijd voor automobilisten die een route volgen door de buffer en voor automobilisten die niet door de buffer moeten maar wel van de buffer profiteren. Daarnaast is inzichtelijk gemaakt wat het effect van een dergelijke buffer op het totale aantal voertuigverliesuren in het netwerk is. Voor een laag, middelhoog en hoog vraagscenario is het effect geanalyseerd van de volgende bufferscenario's:

- Geen TDI = referentie;
- Met TDI (2 rijstroken) = huidige situatie;
- Met TDI en 1 extra strook;
- Met TDI en 2 extra stroken;
- Met TDI en 3 extra stroken;
- Met TDI en 4 extra stroken;
- Met TDI en 5 extra stroken;
- Met TDI en 6 extra stroken.

Uit de analyses is gebleken dat de optimale buffercapaciteit vier rijstroken is, voor zowel het lage, middel en hoge vraagniveau op de A13. Bij een buffercapaciteit van vier rijstroken moeten de voertuigen die door de buffer moeten ongeveer 4 minuten extra wachten in ieder vraagscenario ten opzichte van de situatie zonder buffer. De reistijdwinst die ze later halen doordat ze op de A13 beter kunnen doorrijden (buiten de modelgrenzen), is hier niet in opgenomen. De voertuigen op de A13 hebben een reistijdwinst van respectievelijk 0,2, 0,4 en 1 minuut in het lage, middelhoge en hoge scenario op het gedeelte van de A13 dat is opgenomen in het simulatiemodel. De voertuigen op traject 1 (Delft – Den Haag) hebben een reistijdwinst van respectievelijk 0,2, 0,4 en -0,6 (=verlies) minuten in het lage, midden en hoge scenario.

Dit leidt tot de conclusie dat het invoeren van een buffer een positief effect kan hebben op de totale reistijd in het netwerk. Het verkeer in de hoofdstroom heeft een nauwelijks merkbaar

voordeel, maar dat weegt toch op tegen de extra tijd die toeritgebruikers moeten wachten. De verkeerstromen die niet door de buffer hoeven hebben een reistijdwinst ofwel omdat er minder instroom is vanuit de weg met de buffer (strikt genomen is dit het effect van de TDI en niet van de buffer), ofwel omdat fileterugslag naar andere wegen wordt voorkomen. Het verkeer dat wel door de buffer moet loopt enkele minuten reistijdverlies op, maar dat kan later wellicht nog deels goedgehaakt worden door een verbeterde doorstroming stroomafwaarts (als gevolg van andere buffers of minder file door een lagere instroom bij een stroomafwaarts capaciteitsprobleem).

In dit rapport is een voorbeeldsituatie geanalyseerd waarbij naar een reguliere congestiesituatie is gekeken. Het is echter aannemelijk dat de buffer ook een positief effect heeft bij andere tijdelijke capaciteitsproblemen bijvoorbeeld als gevolg van een incident. De resultaten van de voorbeeldcase kunnen niet zomaar worden veralgemeniseerd naar doseerbuffers op andere locaties en andere typen buffers, omdat het effect afhangt van de verkeerstromen en de capaciteit van de wegen en de buffers. In dit rapport is daarom een stappenplan beschreven waarmee voor een netwerk een bufferstrategie met meerdere buffertypes kan worden opgesteld. In een vervolgstap zou dit stappenplan op een specifieke regio kunnen worden toegepast om voor die regio te laten zien hoe een bufferstrategie er uit zou kunnen zien en wat de baten zijn van het introduceren van buffers op verschillende locaties. Naast baten zijn er kosten verbonden aan de aanleg van buffers. In dit rapport zijn de kosten niet beschouwd. Het verdient daarom aanbeveling om nader naar de kosten van buffers te kijken. Tot slot verdient het aanbeveling om nader uit te werken hoe buffers het best kunnen worden vormgegeven en hoe mensen op verschillende vormen van buffers reageren.



# 1. Inleiding

Verschillende studies hebben aangetoond dat delen van het Nederlandse wegennetwerk kwetsbaar zijn (bijv. Snelder *et al.*, 2012). Kleine ongevallen of slechte weersomstandigheden kunnen al tot veel files en grote reistijdverliezen leiden. Een robuust wegennet, waarbij het netwerk minder vatbaar wordt voor kleine verstoringen wordt daarom steeds belangrijker. In de Visie Robuust Wegennet (Schrijver *et al.*, 2008), ontwikkeld voor de ANWB, wordt op basis van een aantal algemene principes een plan geschetst hoe een robuuste structuur van het hoofdwegennet in de regio Rotterdam - Den Haag er uit zou kunnen zien. In deze visie nemen buffers een belangrijke plaats in. In (Schrijver *et al.*, 2008) wordt 'stromen en bufferen' als één van de uitgangspunten gezien voor een robuust wegennet:

Omdat we in een robuust wegennet rekening houden met een zekere mate van congestie, kijken we bij de configuratie en dimensionering ervan niet alleen naar de stroomfunctie (het vlot afwikkelend van een stroom voertuigen), maar ook naar de bufferfunctie (het bieden van ruimte aan een zekere hoeveelheid langzaam rijdende voertuigen). De configuratie en dimensionering van de meeste weginfrastructuur buiten de bebouwde kom is tot op heden primair gericht op de stroomfunctie. Zo is vanuit een gewenste verhouding tussen de verkeersintensiteit en de stroomcapaciteit van een weg (de zgn. I/C-verhouding, die bepalend is voor de kwaliteit van de doorstroming) het aantal benodigde rijstroken van een autosnelweg eenvoudig te bepalen door de totale benodigde stroomcapaciteit te delen door de capaciteit per rijstrook (vuistregel: ca 2.200 pae/uur). Ook de breedte van de rijstroken, de boogstralen etc. worden afgeleid uit de stroomfunctie van de weg.

Door een zeker niveau van congestie te accepteren, moeten we echter naast de stroomfunctie ook de bufferfunctie van wegvakken integraal meenemen bij het ontwerp. Het optreden van congestie is feitelijk het vormen van een (langzaam bewegende) wachtrij van voertuigen op een wegvak. Elk wegvak biedt ruimte aan een bepaalde hoeveelheid voertuigen: de 'natuurlijke' buffercapaciteit. Door bewust te kiezen op welke plekken in het netwerk we deze buffercapaciteit aanbieden, kunnen we de congestie tot op zekere hoogte sturen. We kunnen dan bijvoorbeeld voorkomen dat congestie terugslaat naar andere wegvakken (compartimentering), en/of zorgen dat de congestie optreedt op plekken waar de minste hinder ontstaat. Door extra buffercapaciteit aan te bieden, zal de doorstroming naar verwachting verbeteren, waardoor het netwerk sneller en betrouwbaarder wordt. In een robuust netwerk is het daartoe wenselijk om bovenop de 'natuurlijke' buffercapaciteit van een wegvak op sommige plekken bewust extra buffercapaciteit te bieden.

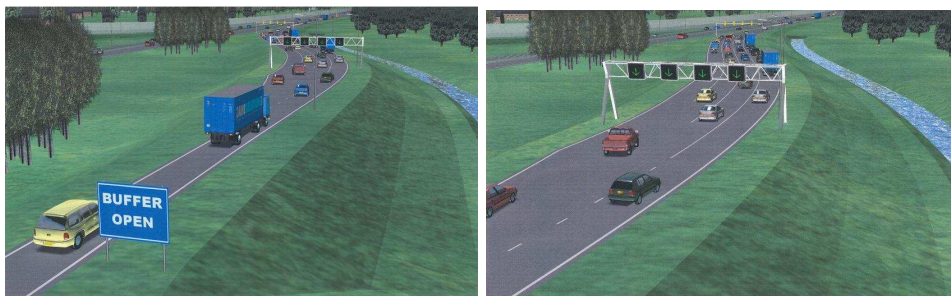
Bij het optreden van congestie kan dus allereerst de natuurlijke buffercapaciteit van wegvakken worden benut: het aantal (stilstaande of langzaam rijdende) voertuigen waarvoor op dit wegvak ruimte is. Zolang er geen terugslag plaatsvindt naar andere wegvakken bovenstrooms (binnen hetzelfde netwerk of behorende tot het boven- of onderliggende netwerk) is dat acceptabel<sup>1</sup>. Daarbij moet echter wel worden bedacht dat files aan de achterkant aangroeien en aan de voorkant oplossen. Dat aangroeien gaat nog door als de file al aan het oplossen is, waardoor ook na het

---

<sup>1</sup> Tenzij men een terugval in de capaciteit wil voorkomen. Deze terugval in de capaciteit (capacity drop) treedt vaak op indien de verkeersstroom stilstaat of langzaam rijdt (< 50 km/u).

wegnemen van de oorzaak van de file alsnog terugslag plaats kan vinden. Aan de TU Delft wordt een promotieonderzoek uitgevoerd (Landman, R.: Design of Network Wide Traffic Management System) waarbij onder andere een methode wordt ontwikkeld, die het toestaat de natuurlijke buffercapaciteit van verschillende wegvakken optimaal te benutten om zo de doorstroming op belangrijke wegen zo goed mogelijk te laten verlopen.

Bij wegvakken waarvan de natuurlijke buffercapaciteit onvoldoende is om in de reguliere situatie terugslag naar wegvakken bovenstrooms te voorkomen, kunnen 'terugslagbuffers' worden toegevoegd: extra opstelruimte in geval van congestie. Zo'n buffer kan via doseerlichten worden geregeld, waarbij wel het principe first in, first out moet gelden. In Figuur 1.1 wordt, als voorbeeld, een uitwerking van een dergelijke buffer gegeven. De exacte vormgeving is onderwerp van nader onderzoek.



*Figuur 1.1: Illustratie buffer (schets: Grontmij).*

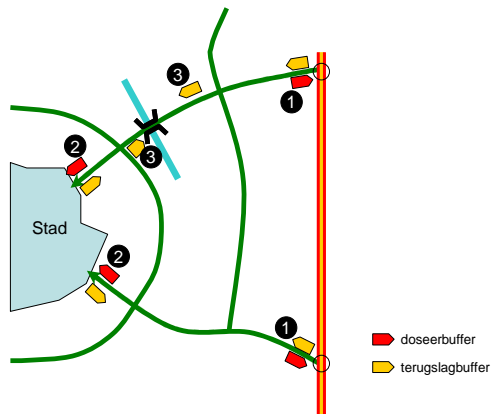
Een andere toepassing van buffers is juist om congestie benedenstrooms te voorkomen, bijvoorbeeld om het interregionale net te vrijwaren van congestie. Dit kan worden bereikt door doseerlichten, gecombineerd met een buffer om terugslag te voorkomen. Resumerend zijn er dus drie soorten buffers:

- natuurlijke bufferfunctie van wegvakken;
- terugslagbuffers;
- doseerbuffers.

Om nader te kunnen bepalen waar in het netwerk naast de 'natuurlijke buffers' terugslagbuffers en doseerbuffers zouden moeten worden aangelegd is een bufferstrategie nodig die zich op het functioneren van het hele netwerk richt. In Figuur 1.2 is een mogelijke bufferstrategie weergegeven. Op het interregionale netwerk zijn snelheid en comfort belangrijk. In de reguliere situatie kan congestie op dit netwerk als niet gewenst worden beschouwd, temeer daar een interregionale verplaatsing vaak langs meerdere stedelijke (en dus congestiegevoelige) gebieden zal voeren. Ook op het stedelijke netwerk is congestie in principe ongewenst; hier is het vermijden van aantasting van het stedelijke leefmilieu de belangrijkste motivatie. Dat impliceert dat de bufferfunctie zich vooral zal concentreren op het stadsregionale netwerk. Daaraan zitten drie componenten (zie ook de nummers in de figuur):

1. Congestie op het langeafstandsnet voorkomen door doseerbuffers aan te brengen bij de toeritten, maar zo nodig ook terugslagbuffers bij de afritten van het langeafstandsnet (zie bv. IKEA Delft);

2. Congestie op het stedelijke wegennet voorkomen door doseerbuffers aan te brengen bij de 'ingangen' van het stedelijk gebied (maar zo nodig ook terugslagbuffers bij de 'uitgangen'); daarbij hoort ook het zo veel mogelijk congestievrij houden van de stedelijke ringwegen;
3. Het zo nodig toevoegen van terugslagbuffers bovenstrooms van bottlenecks binnen het stadsregionale net.



*Figuur 1.2: Mogelijke bufferstrategie.*

Om een bufferstrategie verder uit te kunnen werken voor een specifieke regio is meer inzicht nodig in het effect van één buffer:

- Wat is het effect van buffers op het aantal voertuigverliesuren en op de reistijden voor automobilisten die een route volgen door de buffer en voor automobilisten die niet door de buffer moeten maar wel van de buffer profiteren?
- Wat is het effect van buffers op het totale aantal voertuigverliesuren netwerkbreed?

Hoofdstuk 2 van dit rapport gaat in op het effect van één buffer aan de hand van een voorbeeld dat voor het Kruithuisplein/A13 is uitgewerkt. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een algemene bufferstrategie gepresenteerd. Tenslotte worden in hoofdstuk 4 de belangrijkste conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

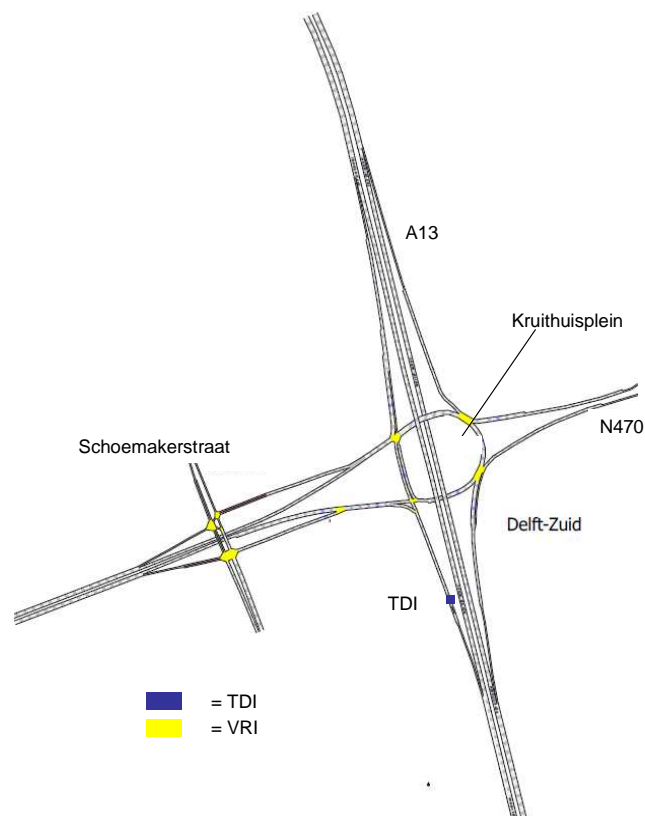
## 2. Case A13 – Kruithuisplein

Dit hoofdstuk beschrijft hoe het effect van buffers kan worden bepaald met behulp van het micro-simulatiemodel Aimsun. Dit wordt gedaan aan de hand van een voorbeeld voor de oprit bij de A13 ter hoogte van het Kruithuisplein. Eerst wordt een beschrijving gegeven van het gekalibreerde netwerk en de exacte locatie van de potentiële buffer. Vervolgens worden verschillende scenario's beschreven waarbij de grootte van de buffer en de verkeersintensiteit variëren. In praktijk zal het niet altijd even gemakkelijk zijn om het aantal rijstroken bij de oprit met één of meerdere rijstroken uit te breiden, bijvoorbeeld omdat daar de ruimte niet voor is. Voor deze case is dat echter niet relevant, omdat de case als voorbeeld dient voor een willekeurige bufferlocatie.

### 2.1. Beschrijving case

#### Netwerk

Deze casestudie richt zich op de verkeerssituatie rondom het Kruithuisplein in 2010. De recente aanpassingen van het Kruithuisplein zijn dus niet meegenomen. Op het Kruithuisplein kruist de A13 tussen Den Haag en Rotterdam de provinciale weg N470. Dit is een relevante plek omdat er vooral tijdens de avondspits veel congestie is op de A13 die terugslaat naar de N470, en zo verder naar de Schoemakerstraat in Delft. Figuur 2.1 toont het netwerk zoals gebruikt in het simulatiemodel Aimsun.



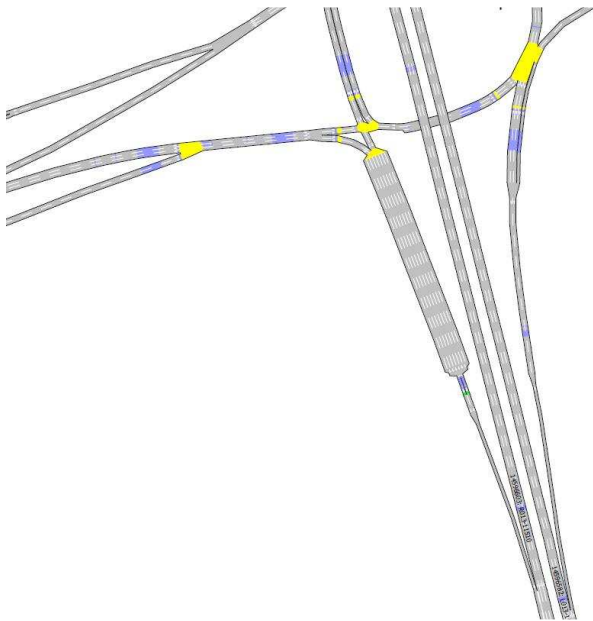
*Figuur 2.1: Wegennetwerk rondom Kruithuisplein, Delft Zuid.*

In het netwerk zijn verschillende verkeerslichten (VRI) aanwezig. Deze zijn in de figuur weergegeven met gele blokjes. Daarnaast staat onderaan de oprit naar de A13 een toeritdoseerinstallatie (TDI).

### **Bufferlocatie**

De congestie die ontstaat op de A13 en terugslaat naar de N470 heeft verschillende oorzaken. Problemen ontstaan al op de A13, stroomafwaarts bij Berkel en Rodenrijs of op de A20. Deze oorzaken worden echter buiten beschouwing gelaten. De simulatie richt zich op de oprit Delft-Zuid naar de A13 richting Rotterdam. Hier worden twee rijstroken samengevoegd tot één rijstrook en vervolgens moeten de voertuigen op deze rijstrook invoegen op de A13. Als het erg druk is kan ook bij deze oprit file ontstaan. De TDI onderaan de oprit is bedoeld om de doorstroming op de A13 te bevorderen.

Een TDI gebruikt het onderliggend wegennet als buffercapaciteit. Wanneer de verkeersvraag groot is, zal de file terugslaan naar een deel van het onderliggend wegennet. Dit is ook wat in de praktijk regelmatig gebeurt. De oprit bij de A13 heeft onvoldoende buffercapaciteit waardoor het verkeer op de N470 en ook op de Schoemakerstraat vast komt te staan. Het gevolg hiervan is dat ook stromen die niet de A13 richting Rotterdam op willen gehinderd worden.



*Figuur 2.2: Buffercapaciteit op de oprit naar de A13 richting Rotterdam is in dit voorbeeld verhoogd van twee rijstroken naar 8 rijstroken.*

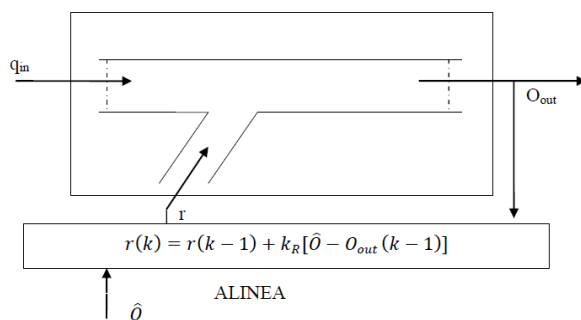
Dit probleem zou verholpen kunnen worden door de buffercapaciteit van de oprit te vergroten. In Figuur 2.2 is de exacte locatie weergegeven waar de buffercapaciteit in de simulaties stapsgewijs wordt vergroot. De verwachting is dat het aantal voertuigverliesuren van voertuigen die niet langs de bottleneck hoeven hierdoor behoorlijk wordt verminderd. De voertuigen die wel langs de bottleneck moeten, wachten nu in de buffer in plaats van in de file op de A13 of op andere delen van onderliggend wegennet. De verwachting is dat hun reistijd door de buffer niet zal verslechteren en

wellicht zelfs zal verbeteren. De lengte van de buffer is 200 meter. Onder de aanname dat een voertuig 6 meter nodig heeft in stilstand, kan één rijstrook ongeveer maximaal 33 voertuigen bufferen.

Er zijn ook andere bufferstrategieën denkbaar. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om het verkeer stroomopwaarts op de N470 te bufferen. Een verdergaande optie is om het verkeer dat vanuit de TU Wijk, TNO, Rijkswaterstaat en Delftechpark wil vertrekken richting A13, al eerder (bij de herkomst) te laten wachten. Dergelijke strategieën zijn echter niet verder uitgewerkt.

### Toeridoseerinstallatie (TDI)

Het TDI algoritme dat is gebruikt in de simulatie is ALINEA<sup>2</sup> (Papageorgiou et al. 2008). ALINEA probeert er voor te zorgen dat de bezettingsgraad benedenstrooms niet boven een zekere grenswaarde  $\hat{O}$  uitkomt, dit is het zogenaamde feedbackalgoritme. Het verkeer wordt zodanig geregeld dat de instroom op de A13 proportioneel is aan het verschil tussen de ideale verkeersdichtheid (de grenswaarde) en de dichtheid die op dat moment geobserveerd wordt. In de figuur hieronder is de werking van ALINEA schematisch weergegeven:



*Figuur 2.3: Schematische weergave werking ALINEA.*

Hier is  $r(k)$  het aantal voertuigen per uur dat de TDI doorlaat op tijdstip  $k$ .  $O_{out}(k-1)$  is de bezettingsgraad op tijdstip  $k-1$  benedenstrooms van de TDI.  $\hat{O}$  is in ALINEA vastgesteld op 26%. Als de bezettingsgraad bovenstrooms dus nog niet de 26% heeft bereikt zal de instroom op de A13 worden verhoogd en anders verlaagd.  $k_R$  is een parameter die over het algemeen op 70 voertuigen per uur wordt ingesteld. De TDI vertaalt vervolgens de berekende instroom naar een passend verkeerssignaal met onderstaande cyclustijd:

$$c(k) = \frac{3600}{r(k)}$$

Dit is de lengte van een groen en rood licht samen. Het doseringsbeleid van ALINEA is één-voertuig-per-groen. AIMSUN rekent met een tijd van 2,5 seconden die het een voertuig kost om het groene licht te passeren. Het groene licht zal dus worden vastgesteld op een vaste waarde van 2,5 seconde. De duur van het rode licht kan variëren maar wordt wel begrensd door een minimale en maximale waarde. Enerzijds moeten voertuigen de tijd hebben om te remmen en op te trekken

<sup>2</sup> In praktijk wordt een iets ander algoritme gebruikt.

en zal het rode licht niet korter mogen duren dan 2 s. Dit heeft als gevolg dat  $c(k)$  minimaal 4,5 seconde is en de maximale instroom op de A13 gelijk is aan 1600 voertuigen per uur (2 rijstroken). Aan de andere kant moeten voertuigen die de snelweg op willen het gevoel hebben dat er vooruitgang is. Vanwege deze reden is besloten om de instroom niet lager te laten worden, dan 800 voertuigen per uur (400 voertuigen per rijstrook). Dit leidt tot een maximale roodtijd van 6,5 s.

In dit voorbeeld wordt de buffercapaciteit opgehoogd door extra rijstroken toe te voegen aan het begin van de oprit. De uitstroomcapaciteit van de buffer blijft gelijk aan twee rijstroken die daarna samenvoegen tot één rijstrook. Dit is een pragmatische keuze die gerelateerd is aan de mogelijkheden die het ALINEA algoritme in Aimsun biedt. In praktijk kunnen ook andere oplossingen gezocht worden om het verkeer van meerdere rijstroken uit te laten stromen. Deze keuze heeft naar verwachting geen effect op de simulatie resultaten omdat een TDI rekening houdt met de intensiteit benedenstrooms, en als er meerdere TDI's zijn moeten de voertuigen die de TDI's passeren zich verdelen over de verschillende TDI's.

### Kalibratie

Aimsun is gekalibreerd op basis van data van een gemiddelde weekdag in 2010 van de A13 en van de N470. Voor de A13 is Simone-data gebruikt, gemeten in snelheid en intensiteit. Voor het onderliggend wegennet is data van de Provincie Zuid Holland gebruikt waar gemeten is op een aantal detectors op de N470, zoals weergegeven in Figuur 2.4.

De simulatie richt zich op de avondspits van 16.00 en 20.00, waarbij ook de aanloop en het einde van de spits zijn meegenomen.



*Figuur 2.4: Detectoren op N470 waarop data (snelheid en intensiteit) zijn verzameld.*

### Scenario's

Er zijn modelruns uitgevoerd met verschillende buffercapaciteiten die onderling zijn vergeleken op het aantal voertuigverliesuren. De voertuigverliesuren zijn zowel netwerkbreed bepaald als voor verschillende trajecten in het netwerk waarbij sommige trajecten wel langs de buffer gaan en

andere trajecten juist niet. Zo ontstaat er een goed beeld welk effect de extra buffercapaciteit heeft voor reizigers met verschillende routes.

De scenario's worden vergeleken met een referentiesituatie. De referentiesituatie in dit geval is het netwerk waar geen TDI aanwezig is en geen extra buffercapaciteit is toegevoegd. De hoeveelheid buffercapaciteit die nodig is om het verkeer op te vangen hangt vanzelfsprekend af van de verkeersvraag. Het gaat hier zowel om de verkeersdruk op de A13 als om de hoeveelheid verkeer die via de oprit bij de N470 de A13 op gaat. Door scenario's te kiezen waar de verkeersvraag varieert, kunnen we zien hoe sterk het effect van een buffer afhangt van de verkeersdruk.

Bij de referentiesituatie zonder TDI heeft de verkeersdruk op de A13 direct invloed op de verkeerssituatie van het onderliggend wegennet. Maar ook met een TDI is die directe invloed er nog steeds, hoewel minder sterk. Het algoritme van een TDI houdt namelijk nog steeds rekening met de druk van de verkeersstroom op de weg bovenstrooms van de TDI. Tijdens de spits zal een TDI bij de A13 dus minder voertuigen doorlaten dan wanneer het erg rustig is op de A13, en zal er automatisch meer buffercapaciteit nodig zijn.

De verkeersvraag op de A13 in beide richtingen is ingedeeld in drie intensiteitsklassen. Tabel 2.1 laat zien hoe de verkeersvraag per half uur varieert voor de drie klassen; hoog, middel en laag.

*Tabel 2.1: Scenario's verkeersvraag*

<b>Tijdstip</b>	<b>Intensiteit – hoog (vtg/uur)</b>	<b>Intensiteit – middel (vtg/uur)</b>	<b>Intensiteit – laag (vtg/uur)</b>
<b>16:30</b>	4900	3920	2450
<b>17:00</b>	5100	4080	2550
<b>17:30</b>	5000	4000	2500
<b>18:00</b>	5500	4400	2750
<b>18:30</b>	5300	4240	2650
<b>19:00</b>	5200	4160	2600
<b>19:30</b>	4300	3440	2150
<b>20:00</b>	3900	3120	1950

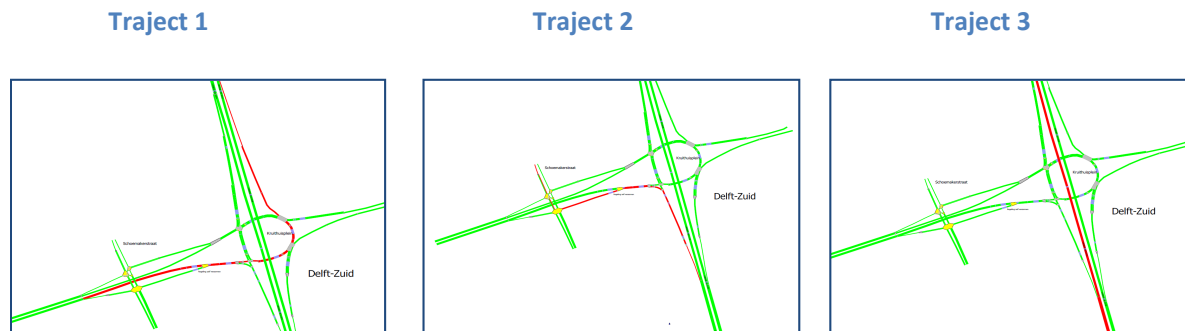
Voor het hoge, middelhoge en lage vraagscenario zijn de volgende bufferscenario's doorgerekend:

- Zonder TDI = referentie;
- Met TDI (2 rijstroken) = huidige situatie;
- Met TDI en 1 extra strook;
- Met TDI en 2 extra stroken;
- Met TDI en 3 extra stroken;
- Met TDI en 4 extra stroken;
- Met TDI en 5 extra stroken;
- Met TDI en 6 extra stroken.



## Indicatoren

De scenario's worden op basis van verschillende indicatoren met elkaar vergeleken, zoals totale reistijd, gemiddelde reistijd en het gemiddeld aantal voertuigverliesuren. Daarnaast is onderscheid gemaakt tussen impact op totale reistijd over het hele netwerk, en reistijd op drie verschillende trajecten. De drie verschillende trajecten zijn weergegeven in Figuur 2.5.



Figuur 2.5: Trajecten.

### *Traject 1: Vanaf N470 richting Den Haag*

Voertuigen op traject 1 komen niet langs de buffer. De verwachting is dat bij toevoegen van extra buffercapaciteit de lengte van de file die terug slaat afneemt, en daarmee neemt ook de reistijd af.

### *Traject 2: vanaf Schoenmakerstraat naar Rotterdam*

Voertuigen op traject 2 komen langs de buffer. De verwachting is dat hun reistijd met de TDI langer zal zijn dan wanneer de reizigers vanuit de oprit vrij kunnen invoegen. Automobilisten op de A13 krijgen met een TDI namelijk voorrang. De grootte van de buffer zal naar verwachting niet veel uitmaken op de reistijd, enkel de locatie van het wachten verandert. Door de TDI is de doorstroming stroomafwaarts op de A13 beter. Normaal gesproken zou dit reistijdbaten opleveren voor automobilisten op traject 2. Deze baten worden echter niet meegenomen omdat het stroomafwaartse gedeelte van de A13 niet in het model zit.

### *Traject 3: Vanaf Den Haag richting Rotterdam op de A13*

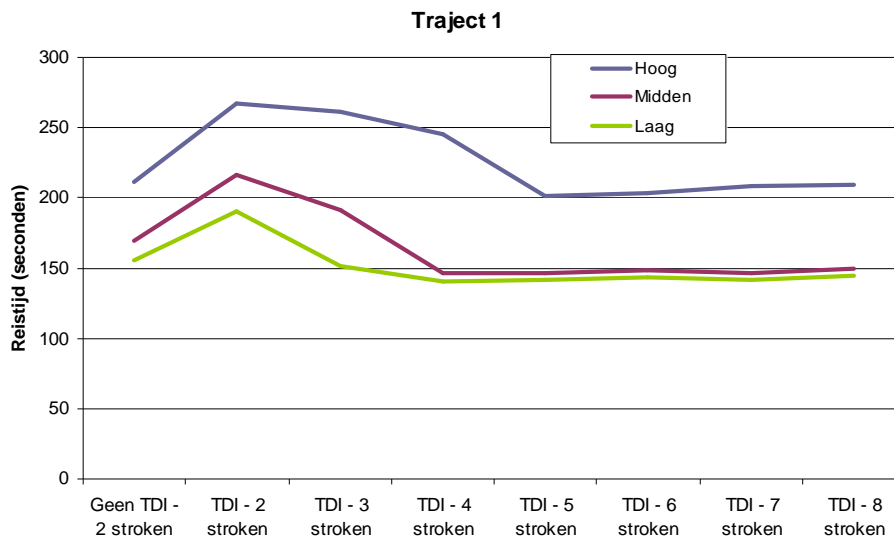
Reizigers op de A13 komen niet langs de buffer maar ondervinden wel invloed van de bottleneck bij de oprit met N470. Een scenario met TDI zal een gunstig effect op de reistijd hebben ten opzichte van een scenario zonder TDI. Naar verwachting zal dit effect het grootst zijn wanneer de verkeerssituatie het drukst is. Het toevoegen van extra buffercapaciteit zal nauwelijks verschil uitmaken voor verkeer op de A13.

## 2.2. Resultaten

### **Effect op reistijd voor traject 1**

De relatie tussen de hoeveelheid buffercapaciteit en de gemiddelde reistijd voor een automobilist op traject 1 is weergegeven in Figuur 2.6. Voor de verschillende scenario's op de A13 kan uit

Figuur 2.6 worden afgeleid wat de optimale buffercapaciteit is voor de gemiddelde reiziger op traject 1.



*Figuur 2.6. Gemiddelde reistijd op traject 1 bij verschillende buffercapaciteiten.*

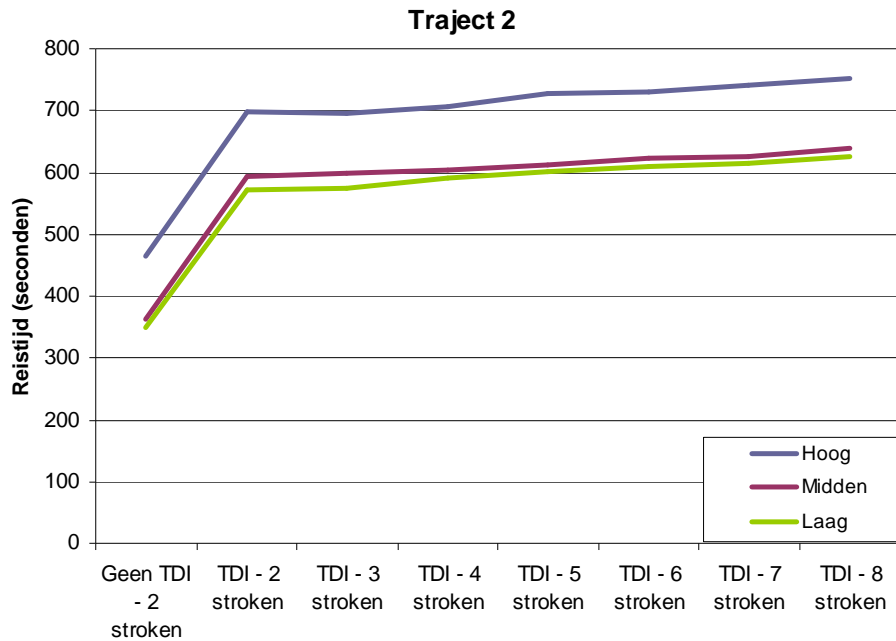
In de figuur is te zien dat het toevoegen van een TDI zoals verwacht een negatief effect heeft op de reistijd op traject 1. Dit komt doordat de instroom op de A13 beperkt wordt met als gevolg dat de wachtrij harder groeit en dus eerder traject 1 blokkeert. Het uitbreiden van de buffercapaciteit heeft een positief effect. Vanaf 4 of 5 rijstroken neemt de reistijd weer heel langzaam toe. Hier is geen goede verklaring voor. Vermoedelijk heeft de toename te maken met de onzekerheidsmarge van het model.

Voor het scenario met een hoge verkeersintensiteit op de A13 geeft een buffer met 5 rijstroken een optimaal resultaat voor de gemiddelde reiziger op traject 1. Verder is te zien dat een buffer met 5 of meer rijstroken zelfs iets meer winst geeft in reistijd dan het scenario zonder TDI. Ook dit heeft vermoedelijk te maken met de onzekerheidsmarge van het model. Een mogelijke andere verklaring hiervoor is dat in het scenario zonder TDI ook terugslag plaatsvindt.

Het lage en middelhoge scenario voor de vraag hebben voor alle buffercases een lagere gemiddelde reistijd. De reden is dat de congestie op A13 in de andere richting daar minder is en dus ook de fileterugslag veel minder is. Voor deze scenario's ligt de optimale buffercapaciteit op twee extra rijstroken (vier in totaal).

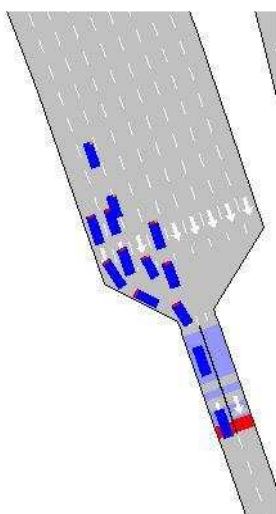
### **Effect op reistijd voor traject 2**

De automobilisten op traject 2 volgen hun route door de buffer. Wanneer de verkeersvraag op de A13 hoog is en er geen TDI aanwezig is, zullen zowel de reizigers op de A13 als de reizigers van traject 1 het effect merken van de bottleneck. In het geval van de TDI, zal er voorrang worden gegeven aan reizigers op de A13. Het effect hiervan op de reistijd van automobilisten op traject 2 is goed zichtbaar in Figuur 2.7.



*Figuur 2.7. Gemiddelde reistijd op traject 2 bij verschillende buffercapaciteiten.*

In tegenstelling tot wat we verwachten is de gemiddelde reistijd bij verschillende buffercapaciteiten vervolgens nog steeds (licht) stijgend. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het strookwisselgedrag in de microsimulatie, zoals weergegeven in Figuur 2.8. Voertuigen hebben de voorkeur om rechts te blijven rijden waardoor ze veel stroken moeten opschuiven voordat ze de buffer uit kunnen. Hoe groter de buffer is, hoe meer rijstroken ze moeten opschuiven en hoe meer tijd ze hiermee kwijt zijn. Daarnaast wordt op deze manier in sommige situaties alleen van de rechter TDI gebruik gemaakt en dit is inefficiënt. Een volgende stap zou zijn om het wisselgedrag voor voertuigen in de buffer te veranderen of de buffer op een andere manier vorm te geven door bijvoorbeeld de uitvoegstroken niet symmetrisch te maken, maar helemaal rechts van de buffer neer te zetten.

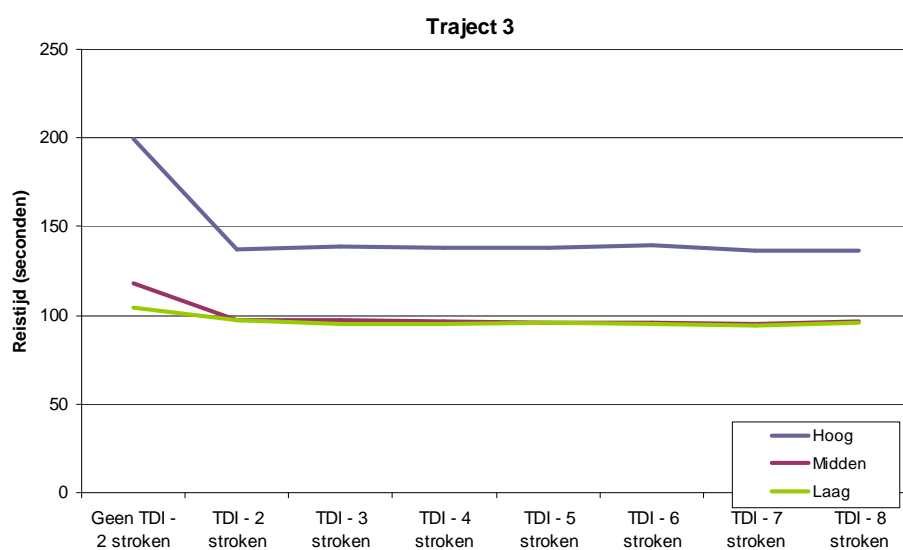


*Figuur 2.8: Gesimuleerde rijstrook-wisselgedrag in een buffer met veel rijstroken.*

De reistijd neemt vanaf 4 of 5 rijstroken weer toe (afhankelijk van het vraagscenario) omdat meer weefbewegingen nodig zijn om het verkeer terug te brengen naar 2 rijstroken. Dit geeft aan dat een goed regelmechanisme nodig is om deze afwikkeling soepel te laten verlopen.

### Effect op reistijd voor traject 3

Voor reizigers op de A13 is er een groot verschil in reistijd merkbaar tussen het scenario met en zonder TDI, zie Figuur 2.9. Dit komt door het feit dat de het TDI-algoritme ALINEA de instroom zo probeert te regelen dat de bezettingsgraad op de A13 onder een zeker grenswaarde blijft. ALINEA houdt echter geen rekening met de verkeersdrukke stroomopwaarts. De grootte van de buffer heeft bij een hoge verkeersintensiteit op de A13 dus nagenoeg geen effect op de doorstroming op de A13, zoals ook zichtbaar is in Figuur 2.9.



Figuur 2.9. Gemiddelde reistijd voor automobilisten op de A13 bij verschillende buffercapaciteiten.

### Effect op het hele netwerk

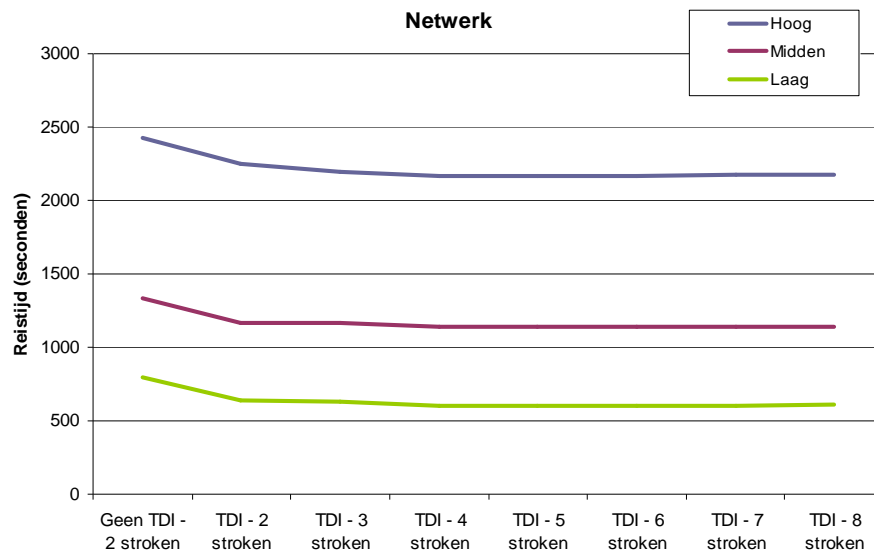
Zoals hierboven is beschreven heeft het toevoegen van TDI's bij de oprit en het ophogen van de buffercapaciteit een verschillend effect voor automobilisten op verschillende routes. De automobilisten die niet langs de buffer hoeven profiteren het meest terwijl de automobilisten die in de buffer staan een langere reistijd krijgen.

Nu is het interessant om te zien welk effect het toevoegen van een doseer/terugslagbuffer heeft op een 'gemiddelde' reiziger op het netwerk dat we beschouwen. In Figuur 2.10 is de gemiddelde reistijd per voertuig weergegeven. Hierin is te zien dat het minimum bij vier rijstroken wordt gehaald en daarna blijft de reistijd min of meer constant. Dit betekent dat in de situatie van de A13 de optimale buffercapaciteit vier rijstroken is, ongeacht het vraagniveau op de A13.

Bij een buffercapaciteit van vier rijstroken moeten de voertuigen die door de buffer moeten ongeveer 4 minuten extra wachten in ieder vraagscenario ten opzichte van de situatie zonder buffer. De reistijdwinst die ze later halen doordat ze op de A13 beter kunnen doorrijden (buiten de modelgrenzen) is hier niet in opgenomen.

De voertuigen op de A13 hebben een reistijdwinst van respectievelijk 0,2, 0,4 en 1 minuut in het lage, midden en hoge scenario op het gedeelte van de A13 dat is opgenomen in het simulatiemodel. Dit is respectievelijk 9%, 18% en 37% van de reistijd zonder TDI.

De voertuigen op traject 1 hebben een reistijdwinst van respectievelijk 0,2, 0,4 en -0,6 (=verlies) minuten in het lage, midden en hoge scenario. Dit is respectievelijk -9%, 14% en -16% van de reistijd zonder TDI.



*Figuur 2.10. Gemiddelde reistijd per voertuig bij verschillende buffercapaciteiten.*

### 3. Naar een bufferstrategie

Het voorgaande hoofdstuk beschrijft het effect van een specifiek buffertype (doseerbuffer) op de reistijd in een klein deel van het netwerk. Hierbij is een specifieke locatie (Delft Zuid – A13) beschouwd. De vraag die nu gesteld kan worden is hoe de resultaten vertaald kunnen worden naar het netwerkniveau en hoe een bufferstrategie met meerdere buffertypes op netwerkniveau bepaald kan worden. Dit hoofdstuk beschrijft een mogelijke aanpak die eventueel in een later stadium nog verder uitgewerkt, toegepast en doorgerekend kan worden.

We stellen een aanpak voor waarbij eerst een analyse wordt gemaakt van de bestaande situatie en de verwachte toekomstige situatie (stap 1 t/m stap 3). Vervolgens wordt bepaald waar eventuele nieuwe buffers een positief effect zouden kunnen hebben (stap 4 t/m 6).

#### **Stap 1) Identificeren van huidige bufferlocaties**

In het huidige netwerk zijn al buffers aanwezig. Spits- en plusstroken, brede of lange opritten inclusief TDI's en brede of lange afritten zouden als een buffer beschouwd kunnen worden. Met wat creativiteit zouden ook wegen met snelheidsdekens en dynamische snelheden als een 'rijdende' buffer beschouwd kunnen worden, omdat ze het verkeer doseren met als doel om elders het verkeer beter door te laten stromen. Naast deze buffers kan ook de natuurlijke buffercapaciteit (restcapaciteit) van wegen onder reguliere omstandigheden in beeld gebracht worden. Een dergelijk analyse van de buffermogelijkheden in het huidige en toekomstige netwerk geeft inzicht in de mogelijkheden om tijdelijke onevenwichtigheden in vraag en aanbod van verkeer op te vangen zodat reistijdverlies beperkt blijft. Bovendien is dit inzicht nodig in een later stadium in te kunnen schatten waar en wat voor nieuwe buffers toegevoegd zouden kunnen worden.

#### **Stap 2) Hoe functioneert het huidige en toekomstige hoofdwegennet**

Op basis van data-analyse in combinatie met modelanalyse kan worden bepaald hoe het huidige en toekomstige referentie wegennetwerk functioneert. Hierbij is het van belang om zowel een beeld te vormen van de reguliere congestie als de irreguliere congestie. Dit betekent dat naar files als gevolg van capaciteitsproblemen, schokgolven, incidenten en eventuele andere oorzaken gekeken kan worden. Er zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd die hier inzicht in verschaffen (bijvoorbeeld Faber et al, 2011; Snelder et al, 2010; Snelder et al, 2012). Hierbij is het ook van belang om de files in combinatie met de netwerkstructuur te beschouwen:

- Is er bijvoorbeeld een grote kans op fileterugslag omdat er één of meerdere knooppunten in de buurt zijn?
- Is een locatie kwetsbaar omdat er weinig alternatieve routes zijn?
- Is een locatie kwetsbaar omdat er weinig rest-/buffercapaciteit op de weg zelf is.

Een dergelijke analyse geeft inzicht in de potentie van nieuwe buffers en inzicht in het type buffer dat de gesignaleerde problemen zou kunnen oplossen.

### **Stap 3) Prioriteiten wegen bepalen, gericht op doorstroming**

Om te bepalen waar eventuele nieuwe buffers gewenst zijn, moet bepaald worden op welke wegen doorstroming gewenst is. Voor veel regio's bestaan er prioriteitskaarten en functiekaarten (gebiedsgericht benutten), die hiervoor als leidraad kunnen worden gebruikt.

### **Stap 4) Plekken identificeren waar buffercapaciteit wenselijk is**

Voor alle locaties waar de doorstroming onder reguliere en in het bijzonder irreguliere situaties in gevaar is (resultaat stap 2), kan worden bepaald welk type buffer op welke locatie naar verwachting een gewenst effect zal hebben. Voor de wegen met de hoogste prioriteiten (resultaat stap 3) is dit van het grootste belang. Voor wegen met lagere prioriteit kan eventueel meer congestie worden geaccepteerd. Bij deze stap is inzicht in de huidige en toekomstige (referentie) buffermogelijkheden nodig. Dit is het resultaat van stap 1. Bij het bepalen van oplossingsrichtingen is het wenselijk om al een inschatting te maken van het effect op netwerkniveau.

### **Stap 5) Effect van buffer bepalen op aangewezen locatie**

Met een (micro-)simulatiemodel kan het lokale effect van een buffer worden bepaald. Eventueel kan het type, de locatie en de capaciteit van de buffer worden geoptimaliseerd met een simulatie zoals in hoofdstuk 2 is gedaan.

### **Stap 6) Integraalbeeld op netwerkniveau simuleren**

Het effect op netwerkniveau van de combinatie van buffers kan ook worden bepaald met een mesoscopisch of macroscopisch simulatiemodel. Hieruit kan blijken dat sommige buffers elkaar versterken of juist tegenwerken. Aan de hand van de resultaten kan de bufferstrategie op netwerkniveau dus verder worden geoptimaliseerd.

## 4. Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is aan de hand van een voorbeeldcase met micro-simulatie inzichtelijk gemaakt wat het effect van een doseerbuffer kan zijn op het aantal voertuigverliesuren en de reistijd voor automobilisten die een route volgen door de buffer en voor automobilisten die niet door de buffer moeten maar wel van de buffer profiteren. Daarnaast is inzichtelijk gemaakt wat het effect van een dergelijke buffer op het totale aantal voertuigverliesuren in het netwerk is.

Voor het voorbeeld is gebleken dat de optimale buffercapaciteit vier rijstroken is, voor zowel het lage, middel en hoge vraagniveau op de A13. Bij een buffercapaciteit van vier rijstroken moeten de voertuigen die door de buffer moeten ongeveer 4 minuten extra wachten in ieder vraagscenario ten opzichte van de situatie zonder buffer. De reistijdwinst die ze later halen doordat ze op de A13 beter kunnen doorrijden (buiten de modelgrenzen) is hier niet in opgenomen. De voertuigen op de A13 hebben een reistijdwinst van respectievelijk 0,2, 0,4 en 1 minuut in het lage, midden en hoge scenario op het gedeelte van de A13 dat is opgenomen in het simulatiemodel. De voertuigen op traject 1 hebben een reistijdwinst van respectievelijk 0,2, 0,4 en -0,6 (=verlies) minuten in het lage, midden en hoge scenario.

Dit leidt tot de conclusie dat het invoeren van een buffer een positief effect kan hebben op de totale reistijd in het netwerk. Het verkeer in de hoofdstroom heeft een nauwelijks merkbaar voordeel, maar dat weegt op tegen de extra tijd die toeritgebruikers moeten wachten. De verkeersstromen die niet door de buffer hoeven, hebben een reistijdwinst ofwel omdat er minder instroom is vanuit de weg met de buffer (strikt genomen is dit het effect van de TDI en niet van de buffer) ofwel omdat fileterugslag naar andere wegen wordt voorkomen. Het verkeer dat wel door de buffer moet loopt enkele minuten reistijdverlies op, maar dit tijdverlies is niet een gevolg van de buffer maar van de TDI. Bovendien kan dit tijdverlies later nog deels goedge maakt worden door een verbeterde doorstroming stroomafwaarts (als gevolg van andere buffers of minder file door een lagere instroom bij een stroomafwaarts capaciteitsprobleem). Om deze effecten vast te kunnen stellen is een simulatie van het verkeer in een groter studiegebied gewenst.

In dit rapport is een voorbeeldsituatie geanalyseerd waarbij naar reguliere congestie is gekeken. Het is echter aannemelijk dat de buffer ook een positief effect heeft bij andere, tijdelijke capaciteitsproblemen bijvoorbeeld als gevolg van een incident. De resultaten van de voorbeeldcase kunnen niet zomaar worden veralgemeniseerd naar doseerbuffers op andere locaties en andere type buffers, omdat het effect afhangt van de verkeersstromen en de capaciteit van de wegen en de buffers. In dit rapport is daarom een stappenplan beschreven waarmee voor een netwerk een bufferstrategie met meerdere buffertypes kan worden opgesteld. In een vervolgstap zou dit stappenplan op een specifieke regio kunnen worden toegepast om voor die regio te laten zien hoe een bufferstrategie er uit zou kunnen zien en wat de baten zijn van het introduceren van buffers op verschillende locaties. Naast baten zijn er kosten verbonden aan de aanleg van buffers. In dit rapport zijn de kosten niet beschouwd. Het verdient daarom aanbeveling om nader naar de kosten van buffers te kijken.



Tot slot verdient het aanbeveling om nader uit te werken hoe buffers het best kunnen worden vormgegeven en hoe mensen op verschillende vormen van buffers reageren.

## 5. Referenties

Faber, F. D. Vonk Noordegraaf, J. Baan, T. Bakri, P. van den Haak, B. Heijligers, J. van Huis, M. Kruithof, A. Oldenburger, D. Vukovic, M. Snelder, I. Wilmink (2011). *Top 15 filelocaties voor verschillende fileoorzaken in Nederland*, TNO-060-DTM-2011-02715.

Schrijver, J.M., B. Egeter, L.H. Immers, M. Snelder (2008). *Visie robuust wegennet ANWB*, TNO, 2008-D-R0661/C, Delft, the Netherlands.

Snelder, M., J. Mak, L.A. Tavasszy (2010). *Kwetsbaarheidsanalyse NMCA*, TNO, TNO-034-DTM-2010-01984, Delft, the Netherlands.

Snelder, M., H. Drolenga (2012). *De Robuustheid van het Nederlandse hoofdwegennet*, TNO-060-DTM-2011-04228

Papageorgiou, M., I. Papamichail (2008). *Overview of traffic signal operation policies for ramp metering*. Transportation Research Record no. 2047, pp. 28-36.