

---

# Het herverdelen van verkeer over het netwerk door het sturen op relaties

Een onderzoek naar de mogelijkheden en effecten van het herverdelen van verkeer binnen route georiënteerd verkeersmanagement.

---



Masterafstudeeropdracht S. van Weperen

UNIVERSITEIT TWENTE.





## Het herverdelen van verkeer over het netwerk door het sturen op relaties

---

Een onderzoek naar de mogelijkheden en effecten van het herverdelen van verkeer binnen route georiënteerd verkeersmanagement.

Dit document beschrijft het onderzoek dat is uitgevoerd voor het afronden van de Master Civil Engineering and Management, richting Verkeer, Vervoer en Ruimte aan de Universiteit Twente. Het onderzoek is uitgevoerd voor Quest Traffic Consultancy uit Ekehaar.

Auteur:  
S. van Weperen

Afstudeercommissie:  
Ir. R.H. Krikke  
Prof. dr. ir. E.C. van Berkum  
Ing. K.M. van Zuilekom

Februari 2013

## Samenvatting

Ontwikkelingen in de ICT bieden nieuwe mogelijkheden voor sturing en informatievoorziening van weggebruikers, waardoor nieuwe toepassingen van dynamisch verkeersmanagement (DVM) mogelijk worden. In dit onderzoek is een nieuw DVM-concept onderzocht, waarbij specifiek wordt ingegaan op het herverdelen van verkeer door het sturen van verkeersrelaties.

### Aanleiding

Weggebruikers zoeken hun weg in het verkeersnetwerk en proberen daarbij de reistijd te minimaliseren. Daarom zoekt de weggebruiker de route die (naar verwachting) het snelste is. Naarmate verkeersintensiteiten toenemen kan de, naar verwachting, snelste route voor de weggebruiker veranderen. Uiteindelijk ontstaat het gebruikers evenwicht. In deze situatie geldt dat er voor geen enkele individuele weggebruiker een snellere route bestaat. In dit evenwicht kunnen situaties voorkomen die vanuit het oogpunt van de wegbeheerder ongewenst zijn. Voorbeelden zijn lange reistijden en wachtrijlengtes, overlast voor de omgeving of een afname van de verkeersveiligheid. Investeringen in infrastructuur kunnen deze problemen reduceren, maar dat is duur, vraagt extra ruimte die vooral in stedelijk gebied schaars is, heeft een lange planningshorizon en helpt niet bij tijdelijke problemen of omstandigheden. Een andere aanpak voor het reduceren van de problemen is het beter benutten van de bestaande infrastructuur. Hiervoor wordt dynamisch verkeersmanagement (DVM) ingezet. DVM zet op basis van de actuele verkeerssituatie tijdelijke maatregelen in om de verkeerssituatie te beïnvloeden. Hiervoor moet de wegbeheerder beschikken over een meetnetwerk om de actuele verkeerssituatie in beeld te krijgen, methoden om ingrepen in het verkeerssysteem te evalueren en instrumenten zoals dynamische reisinformatiepanelen (DRIP's) verkeersregelinstallaties of toeritdoseerinstallaties om ingrepen te realiseren. Nieuwe technieken maken het mogelijk om nog beter de actuele verkeerssituatie vast te stellen (bijvoorbeeld data collectie met behulp van geavanceerde camera's, mobiele telefoons en navigatie systemen). Ook wordt het mogelijk om veel specifiekere weggebruikers te informeren en te beïnvloeden, doordat met nieuwe informatietechnieken informatie kan worden gegeven die specifiek is toegespitst voor bepaalde (groepen) weggebruikers. Het project Sensorcity in Assen (waar dit onderzoek uit voort komt) resulteert in een uitgebreid meetnetwerk. In combinatie met nieuwe informatietechnieken biedt dit mogelijkheden voor het toepassen van nieuw DVM in een stedelijke omgeving.

### Route georiënteerd verkeersmanagement

Dit onderzoek richt zich op Route Oriented traffic management (ROTM), een nieuw DVM concept waarbij herkomst-bestemming relaties over routes in het netwerk worden verdeeld. Tegelijk wordt de benodigde capaciteit op deze routes gecreëerd met behulp van capaciteitsmaatregelen. ROTM is nog niet volledig uitontwikkeld. In dit onderzoek is een aantal aspecten van de aanpak nader onderzocht. Het gaat hierbij om de operationalisatie van verschillende mogelijkheden voor het herverdelen van verkeer en de effecten hiervan op de weggebruikers en het verkeersnetwerk. Het herverdelen van verkeer wordt ingezet wanneer een probleem optreedt in het netwerk. Een probleem treedt op wanneer een norm uit het referentiekader wordt overschreden. Door het herverdelen van verkeer wordt ruimte gecreëerd op die delen van het netwerk waar de overschrijding van de norm optreedt, waardoor deze overschrijding van de norm gereduceerd wordt. Het herverdelen van verkeer creëert ruimte door de routekeuze van weggebruikers te beïnvloeden. Daarvoor wordt een routeadvies gegeven aan weggebruikers, zodat zij de gewenste route gaan volgen. Bij ROTM wordt deze informatie aan specifieke relaties gegeven, zodat relaties over routes in het netwerk worden verdeeld. Hiervoor dient de wegbeheerder inzicht te hebben in de herkomst,

bestemming en de route van weggebruikers. Er zijn verschillende mogelijkheden voor de volgorde waarin relaties worden toegedeeld aan routes. Deze mogelijkheden voor het herverdelen en de effecten daarvan voor weggebruikers en de verkeerssituatie zijn met een verkeersmodel onderzocht.

### **Verdeelprincipes in ROTM**

Verdeelprincipes kunnen worden ingezet voor verschillende problemen in het netwerk. In dit onderzoek zijn verdeelprincipes onderzocht voor het inzetten voor 'het oplossen van een knelpunt' en 'het verbeteren van reistijden van relaties'. Een verdeelprincipe geeft aan in welke volgorde relaties worden toegedeeld aan routes in het netwerk. Omdat in de literatuur geen verdeelprincipes zijn beschreven, is een opsomming gemaakt van de verdeelmogelijkheden die gebruik maken van informatiemaatregelen. (Capaciteitsmaatregelen zijn in dit onderzoek door gebrek aan tijd buiten beschouwing gebleven). Voor dit onderzoek zijn hieruit drie verdeelprincipes geselecteerd. Leidende gedachte bij het maken van deze selectie is dat het verdeelprincipe bijdraagt aan het realiseren van de verkeersmanagement doelen en toepasbaar is in de huidige Nederlandse omstandigheden. Dit levert de volgende verdeelprincipes op die in dit onderzoek in een modelomgeving zijn getest:

- Verdeling van de relaties over routes vindt plaats op basis van de prioriteit van de relaties of van de prioriteit van gebruikersprofielen in een relatie. Prioriteit voor relaties kan volgen uit beleid van de gemeente of wegbeheerder en kan worden gegeven op basis van herkomst, bestemming, reismotief of intensiteit van de relatie. (In dit onderzoek is prioriteit gegeven aan relaties op basis van het aantal weggebruikers met het reismotief 'woon-werk' in een relatie.)
- Verdeling van de relaties over routes vindt plaats op basis van de intensiteit van relaties en de beschikbare capaciteit op het knelpunt. De capaciteit op het knelpunt wordt hierdoor maximaal benut, waardoor het aantal om te leiden weggebruikers wordt geminimaliseerd.
- Verdeling van de relaties over routes vindt plaats op basis van de extra reistijd die relaties krijgen als gevolg van het gebruik van een alternatieve route (op basis van de huidige verkeerssituatie).

### **Aanpassingsgedrag**

Het inzetten van de verdeelprincipes vindt plaats door het verstrekken van route-informatie via informatie-instrumenten, waardoor een gedeelte van de weggebruikers in een relatie de routekeuze aanpast. Zoals eerder aangegeven is de uitgangssituatie het gebruikersevenwicht. Het volgen van de omleiding levert voor de weggebruikers dan ook een langere reistijd op. Een gedeelte van de weggebruikers verwacht dat de gekozen route de snelste route is in de actuele verkeerssituatie. Een ander deel van de weggebruikers is er niet zeker van dat de gekozen route de snelste is en past wel de routekeuze aan. Omdat dus niet alle weggebruikers na het verkrijgen van het routeadvies de routekeuze aanpassen is onderzoek gedaan naar het aanpassingsgedrag. Op basis van literatuuronderzoek naar aanpassingsgedrag is gebruik gemaakt van sturende informatie in plaats van beschrijvende informatie, omdat uit het onderzoek volgt dat het aanpassingsgedrag van sturende informatie hoger is. De wegbeheerder heeft daardoor meer invloed op de sturing van het verkeer. Dit betekent in de praktijk dat niet een keuze voor verschillende routes wordt gegeven, maar dat alleen de te volgen route wordt aangegeven. Uit literatuuronderzoek blijkt ook dat het aanpassingsgedrag van weggebruikers afhankelijk is van de verkeerssituatie, de betrouwbaarheid van de informatie, het informatie instrument, de bekendheid met het netwerk en het reismotief. Op basis van de resultaten van het literatuuronderzoek is een schatting gemaakt van het aanpassingsgedrag voor verschillende reismotieven en met verschillende informatie-instrumenten, weergegeven in de tabel hieronder.

Reismotief	DRIP's zonder navigatie	DRIP's (met statische navigatie)	Dynamische navigatie	Totaal
<b>Woon-werk</b>	26%	1%	2%	<b>29%</b>
<b>Zakelijk</b>	28%	5%	6%	<b>39%</b>
<b>winkel</b>	4%	1%	6%	<b>11%</b>
<b>overig</b>	13%	2%	6%	<b>21%</b>

Tabel 1, percentage per profiel dat in een normale ochtend of avondspits de routekeuze aanpast. Opgedeeld in een groep die geïnformeerd wordt via DRIP's, een groep die via DRIP's wordt geïnformeerd terwijl gebruik gemaakt wordt van een statisch navigatiesysteem (informerend via statische navigatiesystemen is niet mogelijk, doordat deze geen actuele verkeersinformatie kunnen ontvangen) en een groep die via een dynamisch navigatiesysteem geïnformeerd wordt.

Dit aanpassingsgedrag is in dit onderzoek gebruikt voor het testen van de verdeelprincipes. Uit het literatuuronderzoek volgt dat het aanpassingsgedrag sterk kan afwijken van het gemiddelde, tot wel 50% van de waarden die in bovenstaande tabel is weergegeven. Daarom is ook getest met waarden die 50% hoger en lager zijn dan het gemiddelde aanpassingsgedrag, zodat een beeld wordt verkregen van het gevolg van onzekerheid over het aanpassingsgedrag op de werking van de verdeelprincipes.

### Operationalisatie

Voor het testen is gebruik gemaakt van Streamline. Dit macroscopisch verkeersmodel biedt de mogelijkheid DVM-maatregelen te simuleren. Doormiddel van het plaatsen van DRIP's in het netwerk wordt het herverdelen van verkeer gesimuleerd, doordat op de locatie van de DRIP een bepaald percentage van een relatie de opgegeven alternatieve route kiest. Dit percentage geeft het aanpassingsgedrag weer, zoals in de vorige paragraaf omschreven is. Doordat aan de DRIP routes zijn gekoppeld worden alleen die relaties beïnvloed die gebruik maken van de opgegeven routes, de overige relaties worden niet beïnvloed door de DRIP. De werking van dynamische navigatiesystemen kan niet worden gesimuleerd in het model. Daarom is aangenomen dat de gebruikers van een dynamisch navigatiesysteem op een vast keuzepunt worden geïnformeerd, hetzelfde punt als waar de DRIP is geplaatst. In Streamline is het wegennet van Assen gemodelleerd. In de herkomst bestemmingmatrix is onderscheid gemaakt naar de reismotieven 'woon-werk', 'zakelijk', 'recreatief' en 'overig'. De ochtendspits tussen 07.00 en 09.00 uur van 2010 is gebruikt als referentiesituatie.

Voor het testen van de verdeelprincipes voor het doel 'oplossen van een knelpunt' is eerst bekeken welke objecten het grootste probleem kennen op basis van de tijdsduur en de hoogte van de norm overschrijding. In dit onderzoek is sprake van een knelpunt wanneer de I/C-verhouding van 0,85 wordt overschreden. Op de twee grootste knelpunten zijn de verdeelprincipes in aparte simulaties getest. Op het knelpunt wordt iedere 15 minuten bepaald wat de I/C-verhouding is. Wanneer overschrijding van de norm optreedt wordt een verdeelprincipe ingezet. Op basis van het verdeelprincipe wordt bepaald welke relaties wel en niet worden omgeleid en in welke volgorde de om te leiden relaties worden toegedeeld aan alternatieve routes. Hierbij geldt dat de beschikbare capaciteit op het knelpunt bepaald hoeveel relaties omgeleid moeten worden om er voor te zorgen dat op dit knelpunt 15 minuten later weer aan de norm wordt voldaan. Daarvoor wordt van de relaties die gebruikmaken van het knelpunt geschat met de HB-matrix hoeveel verkeer de komende 15 minuten van het knelpunt gebruik zal maken (zonder ingreep) en wordt bepaald welke alternatieve routes voor deze relaties beschikbaar zijn. Alleen alternatieve routes waarop capaciteit beschikbaar is en die maximaal 1,4x de reistijd van de oorspronkelijke route hebben (bij langere routes zakt het aanpassingsgedrag naar 0%) kunnen hiervoor worden ingezet.

Het testen voor het doel 'verbeteren van reistijden' is toegepast op één relatie. Uit de set van tien relaties met de grootste intensiteit is de relatie genomen die op basis van de hoogte en tijdsduur van de overschrijding van de norm de grootste overschrijding kent. De reistijd voor de relatie wordt verbeterd door op een route de reistijd te verlagen door andere relaties van objecten op deze route om te leiden. Dit gebeurt door het inzetten van een verdeelprincipe op het object dat de grootste reistijdtoename kent. Wanneer op dit object niet voldoende reistijdwinst behaald kan worden, wordt op het volgende object dat de grootste reistijdtoename kent ook het verdeelprincipe ingezet. Ook hier geldt dat om de 15 minuten bepaald wordt of zich een probleem voordoet. Wanneer een probleem is geconstateerd wordt op basis van de verwachte reizigersstromen in de komende 15 minuten bepaald hoeveel verkeer omgeleid dient te worden.

### **Beoordeling van de resultaten**

De gevolgen van het herverdelen van verkeer voor weggebruikers zijn beoordeeld aan de hand van de reistijd van specifieke relaties, de verandering van de totale reistijd in het netwerk en het aantal omgeleide voertuigen. Het aantal omgeleide voertuigen geeft aan hoeveel weggebruikers een langere reistijd krijgen bij een toename van de totale reistijd in het netwerk. De verdeling van deze extra reistijd over de omgeleide weggebruikers kan echter niet worden afgeleid. De effecten op het netwerk zijn bepaald aan de hand van de veranderingen van de totale reistijd en de totale reisafstand in het netwerk. Voor het effect op het probleem waarvoor het verdeelprincipe wordt ingezet is gekeken naar de intensiteit/capaciteitverhouding op het knelpunt en naar de verandering van de reistijd van de relatie die een overschrijding van de norm kent.

### **Resultaten van het testen van verdeelprincipes**

De resultaten zijn uitgesplitst naar het doel van inzet van de verdeelprincipes. Bij deze tests is gebruik gemaakt van het gemiddelde aanpassingsgedrag. Opgemerkt moet worden dat de resultaten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd dienen te worden, omdat slechts in één netwerk is getest waarin slechts enkele situaties zijn gesimuleerd.

#### *Resultaten voor het doel 'verbeteren van reistijden van relaties'*

Uit de testresultaten voor het doel 'verbeteren van reistijden van relaties' blijkt dat het inzetten van verdeelprincipes voor dit doel niet mogelijk is, doordat er niet genoeg verkeer kan worden omgeleid. Dit wordt veroorzaakt door te laag aanpassingsgedrag in combinatie met de toegepaste werkwijze, waarbij pas wordt ingegrepen op het moment dat het probleem optreedt en waarbij zoveel mogelijk reistijdwinst op één object op een route behaald wordt om weer te voldoen aan de reistijdnorm. De normoverschrijding is in de testomstandigheden direct zo groot dat het met het geschatte aanpassingsgedrag niet mogelijk is om voldoende verkeer op een object om te leiden om terug te keren naar de norm. Omdat in dit netwerk voor alle relaties slechts één alternatieve route beschikbaar is, is ook een volgorde bepaling voor toedeling van relaties aan alternatieve routes niet mogelijk. Dit zorgt er voor dat toepassing van de verdeelprincipes in deze situatie niet mogelijk is.

#### *Resultaten voor het doel 'oplossen van een knelpunt'*

Uit de modelresultaten voor het doel 'oplossen van een knelpunt' volgt dat het inzetten van de drie verdeelprincipes een verbetering van de I/C- verhouding op het knelpunt oplevert in vergelijking met de referentiesituatie. Wel treedt deze verbetering pas drie kwartier na het inzetten van het verdeelprincipe op en is de verbetering te weinig om het knelpunt op te lossen. Dit wordt veroorzaakt door meerdere factoren. Verkeer dat op het moment van inzet het keuzepunt al gepasseerd is kan niet worden omgeleid. Daarnaast komen weggebruikers die niet worden omgeleid

sneller op de knelpuntlocatie. Hierdoor wordt het effect van het herverdelen vertraagd en deels teniet gedaan. Een andere oorzaak is dat er niet altijd genoeg verkeer omgeleid kan worden wanneer overschrijding van de norm optreedt, doordat het aanpassingsgedrag daarvoor te laag is en doordat de normoverschrijding in de testsituaties gelijk fors is. Doordat met de gekozen operationalisatie pas wordt ingegrepen wanneer het probleem optreedt, moet direct veel verkeer worden omgeleid terwijl het geringe aanpassingsgedrag dit soms onmogelijk maakt.

### *Verschillen tussen verdeelprincipes*

Uit de toepassing van de drie verdeelprincipes voor het doel 'oplossen van een knelpunt' volgt dat er verschillen zijn in de effecten van de drie verdeelprincipes. Het verdelen op basis van prioriteit levert voor de weggebruikers die deel uitmaken van de relaties die de hoogste prioriteit krijgen de kortste reistijd op in vergelijking met inzet van de overige verdeelprincipes en de referentiesituatie. Daar tegenover staat natuurlijk dat de laagste geprioriteerde relaties bij dit verdeelprincipe de slechtste reistijd krijgen. Het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op routes zorgt er meestal voor dat de minste weggebruikers omgeleid worden. Echter blijkt uit de resultaten dat dit niet altijd het geval is. Dit komt doordat minder verkeer wordt omgeleid in vergelijking met de andere verdeelprincipes door het kiezen van die combinatie van relaties die het best past bij de beschikbare capaciteit. Het gevolg is dat de I/C-verhouding minder omlaag gaat in vergelijking met de andere verdeelprincipes. Wanneer 15 minuten later weer overschrijding van de norm optreedt, is deze bij dit verdeelprincipe hoger waardoor het voor komt dat uiteindelijk meer verkeer moet worden omgeleid.

Het verdelen op basis van de extra reistijd levert meestal het beste netwerkresultaat op wanneer gekeken wordt naar de totale reistijd in het netwerk. Echter, in situaties waarbij door dit verdeelprincipe relaties worden omgeleid met een grote intensiteit, komt het voor dat hierdoor veel meer verkeer wordt omgeleid dan nodig is voor het oplossen van het knelpunt. In dat geval neemt de totale reistijd in het netwerk meer toe dan bij toepassing van een ander verdeelprincipe, waardoor een slechter netwerkresultaat ontstaat.

### **Resultaten van het testen met laag en hoog aanpassingsgedrag**

Uit de toepassing in het model volgt dat bij het optreden van het lage aanpassingsgedrag het inzetten van verdeelprincipes niet mogelijk is. Dit komt doordat meer verkeer omgeleid moet worden dan dat met dit aanpassingsgedrag mogelijk is, waardoor sowieso alle relaties omgeleid moeten worden. Dit betekent dat een volgorde bepaling voor toedeling van relaties aan het knelpunt niet relevant is. Omdat in dit netwerk voor alle relaties slechts één alternatieve route beschikbaar is, is ook een volgorde bepaling voor de alternatieve routes niet mogelijk. Dit zorgt er voor dat toepassing van de verdeelprincipes in deze situatie niet mogelijk is.

De resultaten met het hoge aanpassingsgedrag laten zien dat het effect op de I/C-verhouding op een knelpunt in vergelijking met het gemiddelde aanpassingsgedrag nagenoeg hetzelfde is. De effecten voor weggebruikers en het netwerk veranderen wel, doordat er minder verschillende relaties worden omgeleid. Dit komt doordat een groter deel van de weggebruikers in een relatie de routekeuze aanpast. Dat zorgt ervoor dat het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit met het hoger aanpassingsgedrag vaak betere netwerkresultaten laat zien in vergelijking met de andere twee verdeelprincipes. Doordat een groter



deel van een relatie de routekeuze aanpast wordt met de andere verdeelprincipes vaak (veel) meer verkeer omgeleid dan nodig is, waardoor de totale reistijd en reisafstand in het netwerk toenemen.

### **Conclusies & Aanbevelingen**

Uit de resultaten blijkt dat voor een keuze van een verdeelprincipe in de praktijk niet alleen het beleidsdoel van het verdeelprincipe (prioriteit geven aan bepaalde relaties, totale reistijd minimaliseren of het aantal weggebruikers minimaliseren dat een langere reistijd krijgt) van belang is. Ook specifieke netwerkomstandigheden, zoals de intensiteiten van relaties in het netwerk, zijn van belang. Daarom dient bij het kiezen van een verdeelprincipe de intensiteit van de om te leiden relaties in ogenschouw genomen te worden. Wanneer relaties met een grote intensiteit aanwezig zijn kan het verdelen op basis van de intensiteit in combinatie met de beschikbare capaciteit op het knelpunt een beter netwerkresultaat opleveren. Dit blijkt ook uit het eerder beschreven voorbeeld waarbij het verdelen op basis van de extra reistijd niet altijd de minste extra reistijd in het netwerk oplevert in vergelijking met de andere verdeelprincipes. Een ander verdeelprincipe kan dus door de specifieke netwerksituatie een beter resultaat opleveren voor een beleidsdoel dan het verdeelprincipe dat in theorie het beste aansluit op dit beleidsdoel.

Uit het testen in het model blijkt ook dat het aantal beschikbare (alternatieve) routes een belangrijke beperking vormt voor het toepassen van het herverdelen van verkeer. Het netwerk van Assen lijkt veel omleidingsmogelijkheden te bieden, maar uit de toepassing in het model volgt dat veel routes afvallen omdat de routes een te grote reistijd hebben of doordat er geen capaciteit beschikbaar is. Aanbevolen wordt daarom bij toepassing in de praktijk vooraf onderzoek naar de beschikbaarheid van alternatieve routes voor het herverdelen van verkeer te doen.

De resultaten laten zien dat toepassing van de verdeelprincipes voor het doel 'verbeteren van reistijden van relaties' niet mogelijk is en dat bij het doel 'oplossen van knelpunten' de gewenste verbeteringen van de I/C-verhouding pas veel later optreedt dan gewenst. Aanbevolen wordt te onderzoeken of een aanpassing van de operationalisatie, waarbij in plaats van op basis van de huidige situatie met voorspellingen gewerkt wordt, deze problemen kan verhelpen. Daarmee kunnen verdeelprincipes reeds ingezet worden wanneer overschrijding van de norm verwacht wordt. Door het eerder inzetten komt het effect van de verdeelprincipes op het juiste moment en wordt de norm minder overschreden waardoor verwacht wordt dat het voor beide doelen in meer situaties mogelijk is de verdeelprincipes in te zetten om terug te keren naar de norm.

Uit de resultaten is ook naar voren gekomen dat bij hoger aanpassingsgedrag en bij de aanwezigheid van veel relaties met een grote intensiteit vaak veel meer verkeer wordt omgeleid dan voor het oplossen van het knelpunt nodig is. Hierdoor krijgen meer weggebruikers een langere reistijd en neemt de totale reistijd en reisafstand in het netwerk toe. Aanbevolen wordt te onderzoeken welke mogelijkheden het verkleinen van de zonering biedt voor het voorkomen van deze problemen.

Tot slot wordt aanbevolen voor toepassing in de praktijk nader onderzoek te doen naar de wijze waarop capaciteitsmanagement de verdeelprincipes kan ondersteunen. Op termijn zal het aanpassingsgedrag van de informatiemaatregelen afnemen, doordat weggebruikers die ervaring krijgen met het netwerk en de informatiemaatregelen ervaren dat ze een langere reistijd krijgen. Uit de resultaten van het onderzoek volgt dat bij een laag aanpassingsgedrag met de verdeelprincipes niet het gewenste resultaat bereikt kan worden. Capaciteitsmaatregelen zijn daarom nodig om deze informatiemaatregelen te ondersteunen, zodat het aanpassingsgedrag op een hoger niveau blijft.

## Voorwoord

Dit rapport vormt het eindproduct van mijn afstudeeropdracht voor de master Civil Engineering and Management aan de universiteit Twente. Het onderzoek heeft een aantal tegenslagen gekend, maar uiteindelijk is er nu toch een goed eindresultaat bereikt. Aan dit onderzoek hebben een aantal mensen een belangrijke bijdrage geleverd, waarvoor ik ze graag wil bedanken.

Ten eerste wil ik Rolf Krikke bedanken. Ik heb veel gehad aan de gesprekken voor het uitvoeren en uitwerken van de opdracht. Wanneer ik vastliep hebben deze gesprekken en discussies ervoor gezorgd dat ik weer verder kon.

Kasper van Zuilekom wil ik ook bedanken. Vaak keek u met een kritische blik naar het onderzoek wat het onderzoeksresultaat en de verslaglegging ten goede is gekomen. Ook Eric van Berkum wil ik bedanken als lid van de afstudeercommissie voor zijn bijdrage aan deze opdracht.

Daarnaast wil ik graag Goudappel Coffeng bedanken voor het mogen gebruiken van het verkeersmodel en de geboden werkruimte op de vestiging in Deventer. In het bijzonder Klaas Friso en Kobus Zantema wil ik bedanken voor het meedenken en het helpen oplossen van de problemen die ik gedurende het uitvoeren van de opdracht tegen gekomen ben.

Winterswijk, 26 februari 2013  
Sander van Weperen

# Inhoudsopgave

<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>13</b>
1.1 AANLEIDING.....	13
1.2 CONTEXT VAN HET ONDERZOEK.....	13
1.3 DOELSTELLING.....	13
1.4 LEESWIJZER.....	13
<b>2. ONDERZOEKSKADER</b> .....	<b>14</b>
2.1 THEORETISCH KADER.....	14
2.1.1 <i>De weggebruiker</i> .....	14
2.1.2 <i>De wegbeheerder</i> .....	14
2.1.3 <i>DVM-systemen</i> .....	16
2.2 ONDERZOEKSVRAGEN.....	17
2.3 ONDERZOEKSOEZET.....	18
<b>3. VERDEELPRINCIPES</b> .....	<b>19</b>
3.1 DOELEN VOOR INZET VERDEELPRINCIPES.....	19
3.2 MOGELIJKHEDEN VOOR VERDELEN VERKEER.....	19
3.3 UITWERKING VERDEELPRINCIPES.....	20
<b>4. AANPASSINGSGEDRAG</b> .....	<b>23</b>
4.1 COMMUNICATIE NAAR DE WEGGEBRUIKER.....	23
4.2 BETROUWBAARHEID.....	24
4.3 AANPASSINGSGEDRAG PER GEBRUIKERSPROFIEL.....	25
4.4 SCHATTING AANPASSINGSGEDRAG.....	25
<b>5. OPERATIONALISATIE</b> .....	<b>27</b>
5.1 DOEL 'OPLOSSEN KNELPUNTEN'.....	30
5.2 DOEL 'VERBETEREN REISTIJDEN'.....	33
5.3 DOEL 'VERHOGEN VAN HET GEBRUIK VAN VOORKEURSRUTES'.....	35
<b>6. TESTCASE</b> .....	<b>37</b>
6.1 TOEPASSING IN HET VERKEERSMODEL.....	37
6.1.1 <i>Model en Data</i> .....	37
6.1.2 <i>Gesimuleerde scenario's</i> .....	38
6.2 RESULTATEN.....	38
6.2.1 <i>Doel 'oplossen knelpunten'</i> .....	38
6.2.2 <i>Doel 'verbeteren reistijden'</i> .....	46
6.2.3 <i>aanpassingsgedrag</i> .....	49
<b>7. CONCLUSIES &amp; AANBEVELINGEN</b> .....	<b>52</b>
7.1 CONCLUSIES.....	52
7.2 AANBEVELINGEN.....	55
<b>LITERATUURLIJST</b> .....	<b>58</b>
<b>BIJLAGE 1: INFORMATIE OVER BEPALING VERDEELPRINCIPES</b> .....	<b>60</b>
<b>BIJLAGE 2: SAMENVOEGEN VAN RELATIES</b> .....	<b>66</b>

<b>BIJLAGE 3: LITERATUURONDERZOEK AANPASSINGSGEDRAG .....</b>	<b>70</b>
<b>BIJLAGE 4: SCHATTING AANPASSINGSGEDRAG .....</b>	<b>78</b>
<b>BIJLAGE 5: STREAMLINE .....</b>	<b>81</b>
<b>BIJLAGE 6: STAPPENPLAN VOOR HET SIMULEREN .....</b>	<b>86</b>
<b>BIJLAGE 7: RESULTATEN I/C-VERHOUDING VARIABEL AANPASSINGSGEDRAG .....</b>	<b>93</b>

## 1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet wat de aanleiding vormt voor dit onderzoek en wat het doel van dit onderzoek is. In paragraaf 1.4 is een leeswijzer voor dit verslag toegevoegd.

### 1.1 Aanleiding

In Assen is in 2010 een project gestart met de naam 'Sensor City Assen'. Doel van het project is het realiseren van een uitgebreid meetnetwerk door het plaatsen van sensoren. Daarnaast wordt met dit project het ontwikkelen van technieken voor het gebruiken van de verzamelde informatie gestimuleerd. Dit moet resulteren in toepassingen die een bijdrage leveren aan het oplossen van maatschappelijke problemen op het gebied van mobiliteit, leefklimaat en geluid. Op het gebied van mobiliteit zijn het verbeteren van het inzicht in het verkeersgedrag en het nauwkeuriger ingrijpen in de verkeersafwikkeling doelen van dit project.

Door de ontwikkeling van het meetnetwerk in Assen en omgeving komt veel informatie over de actuele verkeerssituatie beschikbaar, waardoor het inzetten van een regelkring mogelijk wordt. Een regelkring bestaat uit het verzamelen en analyseren van de data en het basis van deze data inzetten van maatregelen. Vervolgens vindt een evaluatie plaats en start de regelkring opnieuw. Hierdoor wordt het mogelijk om dynamisch verkeersmanagement (DVM) toe te passen.

### 1.2 Context van het onderzoek

Een vorm van DVM is ROTM (route oriented traffic management). ROTM is een nieuw concept voor verkeersmanagement. Met ROTM worden relaties over routes in het netwerk verdeeld door weggebruikers van gerichte verkeersinformatie te voorzien en door de noodzakelijke capaciteit op routes te creëren. De volgorde waarin relaties worden toegedeeld aan routes heeft invloed op de (verkeers)situatie in het netwerk. Het is nog niet duidelijk welke mogelijkheden er zijn voor het herverdelen van verkeer en wat de effecten van deze mogelijkheden zijn. Daarom is onderzoek gedaan naar het herverdelen van verkeer.

### 1.3 Doelstelling

De doelstelling voor dit onderzoek is als volgt omschreven:

***Het doel van dit onderzoek is het uitwerken van het herverdelen van verkeer als onderdeel van 'route georiënteerd verkeersmanagement'***

Het uitwerken bestaat uit het bepalen en testen van verschillende methodes voor het herverdelen van verkeer.

### 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de onderzoeksopzet beschreven en wordt ingegaan op theorie die van belang is voor dit onderzoek. In hoofdstuk 3 is uiteengezet welke verdeelprincipes er mogelijk zijn en hoe deze werken. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op het aanpassingsgedrag van weggebruikers om het effect van verdeelprincipes te kunnen bepalen. In hoofdstuk 5 is uitgewerkt welke stappen nodig zijn en welke informatie nodig is voor het inzetten van de verdeelprincipes. In hoofdstuk 6 volgt het testen van de verdeelprincipes met een verkeersmodel. Tot slot worden in hoofdstuk 7 conclusies en aanbevelingen besproken.

## 2. Onderzoekskader

In dit hoofdstuk worden onderwerpen besproken die van belang zijn voor het onderzoek naar het herverdelen van verkeer. Op basis van deze informatie zijn in paragraaf 2.2 de onderzoeksvragen opgesteld. In paragraaf 2.3 is de onderzoeksopzet beschreven.

### 2.1 Theoretisch kader

In deze paragraaf wordt theorie besproken die van belang is voor dit onderzoek.

#### 2.1.1 De weggebruiker

In elke verkeerssituatie waarbij vraag en aanbod op elkaar ingrijpen, ontstaat een user equilibrium, doordat weggebruikers proberen de reistijd en kosten te minimaliseren en de infrastructuur een beperkt capaciteit heeft. Daarom kiest de weggebruiker de route waarvan hij/zij verwacht dat deze de minste reistijd heeft. Wanneer alle weggebruikers volledig bekend zijn met het verkeersnetwerk en de actuele verkeerssituatie ontstaat een perfect user equilibrium. In deze situatie is er geen verbetering mogelijk van reistijden van individuele weggebruikers door een andere routekeuze zonder dat andere weggebruikers een langere reistijd krijgen. Wanneer in deze situatie verkeer wordt omgeleid voor het oplossen van knelpunten zorgt dit dus voor een deel van de weggebruikers voor een langere reistijd, waardoor de weggebruikers niet uit zichzelf voor een omleidingsroute kiezen. Hiervoor zijn verkeersmaatregelen nodig. Een perfect user equilibrium komt in de praktijk bijna niet voor, doordat niet alle weggebruikers bekend zijn met de netwerksituatie. Er is dan ook vaak sprake van een 'verstoord' user equilibrium (Rouwette, 2008). Dit ontstaat doordat de niet geïnformeerde weggebruiker niet de voor hem/haar kortste route kiest

De wegbeheerder prefereert de verkeerssituatie met de kleinste totale reistijd in het netwerk, het system optimum. In deze situatie heeft een deel van de weggebruikers een langere reistijd dan in het user equilibrium, zodat andere weggebruikers een kortere reistijd krijgen. Weggebruikers kiezen echter de voor hun snelste route als ze goed geïnformeerd zijn, waardoor het system optimum niet ontstaat. Wanneer de wegbeheerder toch het system optimum wil creëren of benaderen dient daarvoor de routekeuze van de weggebruiker beïnvloed te worden. Daarvoor zijn verkeersmaatregelen nodig, bijvoorbeeld DVM-maatregelen.

Een 'verstoord' user equilibrium kan tussen het system optimum en het user equilibrium in liggen. Uit onderzoek blijkt dat dan het geven van route-informatie een negatief effect op de verkeerssituatie kan hebben (Ben-Akiva, Palma, & Kaysi, 1991). Zonder informatie is het verkeer beter verspreid over routes, doordat een deel van de weggebruikers niet weet dat er voor hen een snellere reismogelijkheid is. Wanneer de weggebruiker wel volledig wordt geïnformeerd kiest deze wel de snelste route, waardoor alsnog het user equilibrium ontstaat.

#### Focus van dit onderzoek

Uit bovenstaande blijkt in welke situaties verkeersmaatregelen gebruikt worden om de routekeuze van weggebruikers te beïnvloeden en wat het gevolg voor de weggebruiker is. Voor dit onderzoek is het van belang vast te stellen welke effecten het herverdelen van verkeer heeft voor de weggebruiker.

#### 2.1.2 De wegbeheerder

De wegbeheerder is verantwoordelijk voor de verkeersafwikkeling op het wegennet. De wegbeheerder wil graag een zo goed mogelijke verkeersafwikkeling, maar dient ook rekening te

houden met de gevolgen van het verkeer voor de omgeving. De wegbeheerder prefereert het system optimum. Om deze situatie te bereiken dient ingegrepen te worden in de verkeerssituatie met DVM-maatregelen. Daarnaast kan de wegbeheerder besluiten dat ingrijpen noodzakelijk is bij het user equilibrium wanneer zich knelpunten voordoen in het wegennet of problemen door het verkeer ontstaan voor de omgeving. Het ingrijpen moet zorgen voor minder overlast of voor een verbetering van de verkeerssituatie.

### *Wat is ROTM?*

In dit onderzoek wordt ROTM gebruikt wanneer een wegbeheerder een DVM-maatregel inzet. Een uiteenzetting van dit verkeersmanagement-concept wordt gedaan in 'Object model Route oriented traffic management' (Krikke, R., 2011b). Hierin wordt een aanpak omschreven die uitgaat van het managen van het verkeer waarbij het sturen op routes een belangrijke plek in neemt binnen het dynamisch verkeersmanagement.

De aanpak onderscheidt drie niveaus: Netwerkobjecten, DVM services en DVM systemen. De netwerkobjecten vormen het bovenste niveau dat bestaat uit vijf type objecten: regelpunten, routedelen, routes, relaties en keuzepunten. Deze vijf zijn op te delen in twee mechanismen: capaciteitsmanagement en informatiemanagement. De regelpunten en routedelen worden ingezet voor het capaciteitsmanagement zorgen en de andere objecten voor het informatiemanagement. Belangrijk is dat in deze opzet in principe elke netwerkobject zich zelf reguleert, dus zelf zorgt voor een goede verkeerssituatie op dat betreffende deel van het wegennet. Wel dient natuurlijk rekening gehouden te worden met de netwerkobjecten in de nabijheid, dus bijvoorbeeld een regelpunt houdt rekening met een routedeel dat daarmee in verbinding staat.

Elk object heeft een aantal DVM services, zoals instroom beperken, uitstroom vergroten of het herverdelen van verkeer of capaciteit. Elk object ontvangt informatie van zijn eigen deel van het wegennet en vergelijkt deze met het eigen referentiekader. Voor de uitvoering van de services maakt het object ook gebruik van informatie van objecten uit de omgeving om te controleren of de verkeerssituatie op de andere objecten het mogelijk maakt om een service uit te voeren.

Afhankelijk van de service wordt bepaald waar een DVM systeem in werking treedt. Een lokale service als 'instroom beperken' wordt bijvoorbeeld gewoon op VRI-niveau, is lokaal niveau, geïmplementeerd, terwijl voor de service 'omleiden van verkeer', of 'herverdelen van verkeer' systemen op een centraal niveau worden aangestuurd.

De netwerkobjecten worden hieronder verder toegelicht.

**Regelpunten:** Deze zijn gedefinieerd als een onderdeel van het netwerk waar de capaciteit van (een deel van) het netwerk wordt beïnvloed. Een regelpunt is bijvoorbeeld een kruispunt waar een VRI staat. Door het aanpassen van de regeling van een VRI of door het uit of aanzetten van een TDI of signaalgever wordt de capaciteit beïnvloed. Een regelpunt regelt zich zelf en zorgt voor een optimalisatie op dat lokale punt, gebruik makend van de informatie die het verzamelt, zolang een aansluitend routedeel niet ingrijpt. Wanneer een routedeel aangeeft de uitstroom te willen bevorderen dan zal de regeling aangepast moeten worden zodat die richtingen een langere groentijd krijgen.

**Routedelen:** is een gedeelte van het wegennet dat zich tussen twee regelpunten bevindt en bestaat uit wegvakken waarvan de prioriteit gelijk is. Ook hier geldt dat een routedeel zichzelf optimaliseert op basis van de informatie die het verzamelt, bijvoorbeeld door het verminderen van verkeer uit zijwegen of het vergroten van de uitstroom. Daarvoor wordt ingegrepen op het regelpunt. Bij een regelpunt beginnen en eindigen meestal meerdere routedelen. Deze kunnen daardoor conflicterende belangen hebben, bijvoorbeeld wanneer ze allemaal de uitstroom willen vergroten en de instroom willen beperken. In dat geval is de prioriteit van een routedeel doorslaggevend. Naast communicatie met regelpunten is er ook communicatie met routedelen die stroom opwaarts of stroom afwaarts liggen noodzakelijk om te bepalen of instroom /uitstroombeperking mogelijk is.

**Route:** Een route is opgebouwd uit verschillende gehele routedelen. Elke significante HB-relatie heeft een set van routes (voorkeursroutes en alternatieve routes). Het functioneren van een route wordt bepaald door het functioneren van de routedelen waar een route uit bestaat.

**Relatie:** Een relatie gebruik van een route, welke loopt vanaf het beginpunt tot het eindpunt. Een functie die op dit object kan worden toegepast is het herverdelen van verkeer, omdat er naast de voorkeursroutes ook alternatieve routes beschikbaar.

**Keuzepunt:** Keuzepunten zijn locaties in het netwerk waar door weggebruikers een routekeuze gemaakt moet worden.

#### Focus van dit onderzoek

De focus in dit onderzoek ligt op informatiemanagement en dus op de objecten 'route' en 'relatie'. Er is nog weinig onderzoek gedaan naar de verschillende mogelijkheden om verkeer over routes te verdelen. Er zijn verschillende mogelijkheden om de volgorde te bepalen waarin de relaties worden toegedeeld aan routes in het netwerk. Wat deze mogelijkheden zijn en wat de effecten op het verkeersnetwerk zijn van deze verschillende verdeel mogelijkheden is nog niet duidelijk.

#### *Voordelen ROTM*

Een voordeel van ROTM in vergelijking met de veel toegepaste GGB (gebiedsgericht benutten) aanpak voor DVM is het sturen op netwerkniveau. De GGB-aanpak zorgt in de praktijk voor een lokale aanpak (Kooten & Martens, 2011). ROTM zorgt voor een netwerkbrede aanpak, waardoor er meer locaties zijn om het verkeer te beïnvloeden en er meer relaties omgeleid kunnen worden.

In (Krikke, R., 2011b) wordt veronderstelt dat weggebruikers vragen om een route. Sturen op basis van de actuele weggebruikersvraag in plaats van het actuele verkeersaanbod sluit daarom beter aan op wat weggebruikers vragen. Ook is de aansluiting op de navigatiesector eenvoudiger, doordat ook daar gewerkt wordt met de route als uitgangspunt. Een nadeel is dat het netwerkbreed sturen zorgt voor een toename van de complexiteit, doordat naar de effecten op het gehele netwerken gekeken dient te worden. Hiervoor is veel meer informatie nodig, namelijk van het gehele netwerk in plaats van alleen maar van het knelpunt en de directe omgeving.

#### 2.1.3 DVM-systemen

Het herverdelen van verkeer vindt in dit onderzoek plaats door het geven van informatie aan weggebruikers via DVM-systemen. Capaciteitsmaatregelen vallen buiten dit onderzoek. Er zijn meerdere systemen mogelijk voor het communiceren van de informatie naar de weggebruiker. In een onderzoek naar reisinformatie (Dicke-Ogenia, M. & Jablonski, M.W., 2010) worden mogelijke systemen genoemd, opgedeeld naar internetapplicaties, mobiele telefonie, incar-systemen en



wegkant informatie. Alle systemen hebben beperkingen op het gebied van het geven van actuele reisinformatie en het bereiken van de gewenste doelgroep.

Het doel van de inzet van het DVM-systeem is het aanpassen van het routekeuzegedrag van de weggebruiker. Niet iedere gebruiker volgt de informatie op. Het effect van het herverdelen van verkeer is daardoor afhankelijk van het aanpassingsgedrag van de weggebruikers. Uit onderzoek blijkt dat het aanpassingsgedrag afhangt van het gebruikersprofiel, het DVM-systeem, de verkeerssituatie en de inhoud van de informatie (Dicke-Ogenia, M. & Jablonski, M.W., 2010) en (Chatterjee & McDonald, 2007). Om het effect van het herverdelen van verkeer van te voren te kunnen bepalen dient een schatting gemaakt te worden van het aanpassingsgedrag op basis van de genoemde factoren.

#### Focus voor dit onderzoek

Voor het herverdelen van verkeer dient bepaald te worden welke DVM-systemen het beste ingezet kunnen worden. Daarnaast dient een schatting gemaakt te worden van het aanpassingsgedrag van de weggebruikers om het effect van het herverdelen van verkeer te kunnen bepalen.

## 2.2 Onderzoeksvragen

Uit de doelstelling en het theoretisch kader is duidelijk geworden dat binnen ROTM nog onduidelijk is welke verdeelprincipes er mogelijk zijn, hoe deze ingezet worden en wat het effect van de verdeelprincipes op het verkeersnetwerk en de weggebruikers is. Aan de hand hiervan zijn hoofd en deelvragen opgesteld.

**Hoofdvraag:** Welke invloed hebben verschillende verkeers verdeelprincipes met ROTM op het verkeersnetwerk en de verkeerssituatie voor weggebruikers?

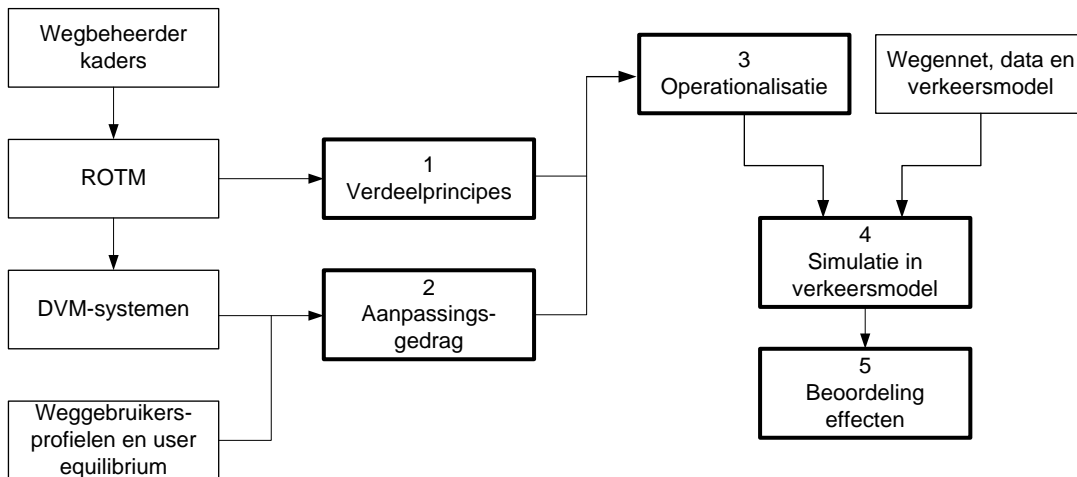
Voor het beantwoorden van de hoofdvraag is deze opgesplitst naar het aantal deelvragen. Deze zijn als volgt geformuleerd:

#### Deelvragen:

- Welke verdeelprincipes zijn er mogelijk en wat zijn de effecten?  
Met effecten wordt bedoeld op de invloed van de verdeelprincipes op de verkeerssituatie voor weggebruikers en de netwerksituatie.
- Wat is het aanpassingsgedrag van verschillende gebruikersprofielen en hoe beïnvloedt dit de werking van de verdeelprincipes?
- Hoe worden de verdeelprincipes operationeel gemaakt?

## 2.3 Onderzoeksopzet

Hieronder is het stappenschema weergegeven aan de hand waarvan tijdens het onderzoek is gewerkt om de onderzoeksvragen te beantwoorden. In de blokken met een dikgedrukte rand zijn de 5 hoofdstappen weergegeven. Deze vijf stappen worden hieronder toegelicht.



Figuur 1, onderzoeksopzet

- Stap 1: Voor het bepalen van de verdeelprincipes is onderzocht welke mogelijkheden er zijn om verkeer te verdelen, op basis van literatuur en brainstormen. Hierin zijn alleen verdeelprincipes opgenomen die werken met informatiemaatregelen. De bepaling van de verdeelprincipes is beschreven in hoofdstuk 3.
- Stap 2: Voor het schatten van het aanpassingsgedrag van de verkeersmaatregelen is een literatuurstudie gedaan. Het resultaat hiervan wordt beschreven in hoofdstuk 4. Op basis van deze resultaten wordt een schatting gemaakt van het aanpassingsgedrag door de verkeersmaatregelen per gebruikersprofiel voor verschillende verkeerssituaties. Deze schatting wordt gebruikt in de simulatie in het verkeersmodel.
- Stap 3: In hoofdstuk 5 is bepaald hoe deze verdeelprincipes ingezet worden. Hierin wordt beschreven welke normen er nodig zijn, welke informatie nodig is en welke stappen er nodig zijn om het herverdelen van verkeer in de praktijk toe te passen.
- Stap 4: Het testen van de verdeelprincipes vindt plaats met behulp van een verkeersmodel. Hiervoor is gebruik gemaakt van het Streamline framework van Goudappel Coffeng, omdat dit model de mogelijkheid biedt om DVM-maatregelen te implementeren. Hoe de verdeelprincipes zijn toegepast in deze testcase en wat de resultaten zijn van de testcase wordt beschreven in hoofdstuk 6.
- Stap 5: Op basis van de modeluitkomsten wordt bekeken wat het effect is van de verschillende verdeelprincipes en of er (duidelijke) verschillen zijn tussen de verdeelprincipes. Ook wordt de invloed van het aanpassingsgedrag op de werking van de verdeelprincipes en de operationalisatie beoordeeld. De conclusies en aanbevelingen die hier uit voortkomen zijn beschreven in hoofdstuk 7.

### 3. Verdeelprincipes

In dit hoofdstuk worden verdeelprincipes geselecteerd voor het herverdelen van verkeer. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillenden beleidsdoelen waar inzet van een verdeelprincipe invulling aan moet geven. De definitie van een verdeelprincipe is als volgt:

*Een verdeelprincipe is een methode op basis waarvan de volgorde wordt bepaald waarin relaties worden toegedeeld aan routes in het netwerk. Het verdeelprincipe dient bij te dragen aan het realiseren van een beleidsdoel.*

Doelen voor de inzet van verdeelprincipes zijn bepaald in paragraaf 3.1.1. De bepaling van de verdeelprincipes volgt in paragraaf 3.1.2. De werking van deze verdeelprincipes is beschreven in paragraaf 3.1.3.

#### 3.1 Doelen voor inzet verdeelprincipes

Voor het bepalen van de verdeelprincipes dient eerst bepaald te worden welke verstoringen in het netwerk opgelost dienen te worden, dus met welk beleidsdoel ze worden ingezet. Met ROTM worden de volgende doelen beoogd:

- Het voorkomen of oplossen van een knelpunt op kruispunt of wegvakniveau.
- Het verbeteren van reistijden van relaties.
- Het bevorderen van het gebruik van beleidsmatige voorkeursroutes.

De te bepalen verdeelprincipes moeten één of meerdere van deze doelen ondersteunen. Welk doel wordt nagestreefd dient bepaald te worden door de beleidsmaker.

#### 3.2 Mogelijkheden voor verdelen verkeer

In de literatuur zijn alleen voorbeelden van verdeelprincipes gevonden voor het toedelen van verkeer over parkeerplaatsen. Van het verdelen van relaties over routes zijn geen voorbeelden gevonden. Algemeen gebruikt principe is dat verkeer wordt toegedeeld aan een route op basis van de beschikbare ruimte op die route, indien het noodzakelijk is om de hoeveelheid verkeer op de voorkeursroute te verminderen. Hierbij wordt niet specifiek naar de relaties gekeken. Bij route georiënteerd verkeersmanagement wordt dat juist wel gedaan. Er wordt gestuurd op relaties, waardoor de verdeelprincipes ook betrekking dienen te hebben op het verdelen van relaties over het netwerk.

Voor het verdelen van relaties wordt onderscheid gemaakt tussen relaties. Dit kan op veel verschillende manieren. Hieronder zijn de mogelijkheden verdeeld in twee categorieën:

*Op basis van kenmerken van de relatie, de verkeersvraag:*

- onderscheid naar voertuigcategorie (bijvoorbeeld vrachtverkeer, autoverkeer)
- onderscheid naar intensiteit van relaties
- onderscheid naar prioriteit van relaties
- onderscheid op basis van de samenstelling van de relaties
- onderscheid op basis van de triplengte van relaties

*Op basis van de beschikbare infrastructuur, het aanbod van het verkeersnetwerk:*

- onderscheid wordt gemaakt naar de beschikbare ruimte op routes
- onderscheid wordt gemaakt naar de (extra) reistijd op alternatieve routes

- onderscheid wordt gemaakt naar de (extra) kosten voor het gebruik van routes, wanneer een tolsysteem of kilometerheffing aanwezig is.
- onderscheid wordt gemaakt naar de overlast door het gebruik van routes, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van drempels/rotondes op routes of de nabijheid van scholen en woonwijken langs de route.

Naast verdeelprincipes die aansluiten bij deze categorieën zijn er ook verdeelprincipes die onder beide categorieën vallen. Verdeling vindt in die gevallen plaats door naar de relaties en de beschikbare infrastructuur te kijken. Op basis van deze opties om onderscheid te maken is een lijst van alle mogelijkheden voor het verdelen van verkeer gemaakt. Deze is opgenomen in bijlage 1.

Bij verdere verdieping blijkt dat niet alle verdeelprincipes inpasbaar of onderscheidend zijn. Op basis van een afweging is een selectie gemaakt van de best toepasbare verdeelprincipes. De afweging is gemaakt op basis van de volgende punten:

- Toepasbaarheid in de huidige Nederlandse omstandigheden, waarbij wordt gedoeld op de beschikbaarheid van informatie en instrumenten voor het inzetten van het verdeelprincipe. Dit geeft aan of het inzetten van een verdeelprincipe mogelijk is en geeft informatie over de mate van complexiteit van het inzetten van het verdeelprincipe.
- Onderscheidendheid van verdeelprincipes ten opzichte van andere verdeelprincipes.
- Voor- en nadelen: wanneer een verdeelprincipe op voor hand duidelijke nadelen heeft ten opzichte van een ander verdeelprincipe dan wordt op basis daarvan besloten om een verdeelprincipe niet verder te onderzoeken.
- Ondersteuning van een ROTM doel: Het verdeelprincipe moet een bijdrage leveren aan één of meerdere doelen.

De afweging is uitgewerkt in bijlage 1. Hierin is per verdeelprincipe aangegeven of verder wordt gewerkt met een verdeelprincipe in dit onderzoek en waarom deze keuze is gemaakt.

Met behulp van de afweging zijn de volgende verdeelprincipes geselecteerd:

- Verdeling van de relaties over de routes vindt plaats op basis van prioriteit van de relaties of van de prioriteit van gebruikersprofielen in een relatie.
- Verdeling van de relaties over de routes vindt plaats op basis van de intensiteit van relaties en de beschikbare capaciteit op de knelpuntroute.
- Verdeling van de relaties over de routes vindt plaats op basis van de extra reistijd die relaties krijgen als gevolg van het gebruik van een alternatieve route.

Deze verdeelprincipes zijn in dit onderzoek verder uitgewerkt en getest.

### 3.3 Uitwerking verdeelprincipes

In deze paragraaf wordt de werking toegelicht van de geselecteerde verdeelprincipes. Ook wordt aangegeven op welke wijze deze verdeelprincipes bijdragen aan de beschreven doelen.

*Verdeelprincipe 1: Het verdelen van verkeer over de routes op basis van prioriteit van relaties of profielen in relaties.*

Werking: Op basis van de prioriteit is het mogelijk om een verdeling toe te passen. De hoeveelheid ruimte op de knelpuntroute is leidend. Dit betekent dat het aantal relaties dat omgeleid wordt

afhankelijk van de hoeveelheid verkeer dat over de knelpuntroute kan. Aan de beschikbare ruimte op de knelpuntroute worden de relaties met de hoogste prioriteit toegekend. De relaties met een lagere prioriteit worden in volgorde van prioriteit toegedeeld aan de beschikbare alternatieven voor deze relaties.

De bovenstaande aanpak is de algemene aanpak, hierop zijn een aantal uitzonderingen mogelijk:

- Bij een gehele stremming van het object (capaciteit is nul) wordt als eerste de relatie met de hoogste prioriteit omgeleid, gevolgd door de relaties met een lagere prioriteit.
- Gelijke prioriteit. Bij gelijke prioriteit van relaties wordt de volgorde van het omleiden van relaties bepaald door de benodigde hoeveelheid ruimte op een route. De relatie of de combinatie van relaties die qua intensiteit het best past bij de beschikbare ruimte op de knelpuntroute wordt aan deze route toegedeeld.
- Wanneer prioriteit wordt gegeven aan profielen in plaats van specifiek aan relaties, dan kan een relatie meerdere prioriteiten kennen. In dat geval wordt gestuurd op het profiel met de hoogste prioriteit, bijvoorbeeld specifiek op woon-werk verkeer. De relatie met de grootste hoeveelheid woon-werkverkeer wordt dan als eerste toegedeeld aan de voorkeursroute.

Dit verdeelprincipe draagt op de volgende wijze bij aan het bereiken van de doelen uit paragraaf 3.1:

- Doel 'oplossen knelpunten': door het prioriteren wordt bepaald welke relatie wel en welke relatie niet gebruik mag maken van de knelpuntroute. Hierdoor wordt de intensiteit op en nabij het knelpunt verlaagd, zodat het knelpunt opgelost wordt.
- Doel 'verbeteren reistijden': door het geven van prioriteit wordt de bereikbaarheid van bepaalde relaties verbeterd. De reistijd op één of meerdere routes van deze relaties wordt verbeterd door andere relaties met een lagere prioriteit van deze route om te leiden.
- Doel 'verhogen gebruik voorkeursroutes': door het geven van prioriteit aan relaties kan bepaald worden welke relatie aan de beleidsmatige voorkeursroute moet worden toegedeeld.

*Verdeelprincipe 2: Het verdelen van verkeer over routes vindt plaats op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op een (knelpunt)route.*

Werking: Op basis van de beschikbare capaciteit op een knelpuntroute wordt bekeken welke relaties aan de knelpuntroute worden toegedeeld (tenzij deze geheel gestremd is). Het doel van dit principe is om zoveel mogelijk deze beschikbare capaciteit op de knelpuntroute te benutten. Daarom wordt de relatie, of de combinatie van relaties, die de beschikbare capaciteit op die route het dichtst benaderen aan deze route toegekend. Alle relaties die over blijven dienen omgeleid te worden, waarbij de relatie of de combinatie van relaties die het beste past bij de beschikbare capaciteit op de eerste alternatieve route (dus de beste route, na de knelpuntroute) als eerste wordt omgeleid. Wanneer de knelpuntroute volledig gestremd is vindt de verdeling ook op deze manier plaats, dus op basis van de beschikbare capaciteit op de alternatieve routes.

Uitzondering: Er is een hele kleine kans dat relaties qua intensiteit exact gelijk zijn. In het geval dat slechts één van beide over de knelpuntroute gestuurd kan worden, wordt de relatie die de minste extra reistijd krijgt door het omleiden omgeleid.

Dit verdeelprincipe draagt op de volgende wijze bij aan het bereiken van de doelen uit paragraaf 3.1:

- Doel 'oplossen knelpunten': Er worden relaties aan de knelpuntroute toegekend op basis van de beschikbare capaciteit. Dat betekent dat de intensiteit wordt aangepast op en nabij het knelpunt waardoor het knelpunt op de route wordt opgelost.
- Doel 'verbeteren reistijden': Dit doel kan met dit verdeelprincipe bereikt worden doordat verkeer wordt omgeleid als er geen ruimte is voor dat verkeer op de knelpuntroute. Dit zorgt er voor dat de relaties die wel gebruik blijven maken van de knelpuntroute een betere reistijd krijgen.
- Doel 'verhogen gebruik voorkeursroutes': Door dit verdeelprincipe toe te passen op de beschikbare ruimte op voorkeursroutes wordt het gebruik van voorkeursroutes geoptimaliseerd.

*Verdeelprincipe 3: Het verdelen van verkeer over routes vindt plaats op basis van de extra reistijd die relaties krijgen wanneer deze worden omgeleid.*

Werking: De volgorde wordt bepaald op basis van de extra reistijd die een relatie krijgt wanneer deze wordt omgeleid over een alternatieve route in de huidige verkeerssituatie. Dit betekent dat als eerste de relatie wordt omgeleid die de minste extra reistijd krijgt als deze wordt omgeleid. Wanneer er nog meer relaties omgeleid moeten worden (wat afhankelijk is van de beschikbare ruimte op de knelpuntroute), wordt op basis van de nieuwe situatie weer bekeken wat de relatie is met de minste extra reistijd. Dit gaat door tot er genoeg verkeer is omgeleid zodat de intensiteit op de knelpuntroute voldoende is afgenomen.

Uitzondering: De kans is erg klein, maar wanneer twee relaties exact dezelfde reistijd krijgen wanneer deze omgeleid worden, dan wordt als eerste de relatie omgeleid die het beste past bij de beschikbare capaciteit op de alternatieve route. Hierdoor wordt de alternatieve route dan het effectiefst benut.

Dit verdeelprincipe draagt op de volgende wijze bij aan het bereiken van de doelen uit paragraaf 3.1:

- Doel 'oplossen knelpunten': Met behulp van dit principe wordt verkeer omgeleid totdat de knelpuntroute weer voldoet aan de norm. Dit principe zorgt daardoor voor het oplossen van het knelpunt.
- Doel 'verbeteren reistijden': Dit verdeelprincipe zorgt er voor dat de extra reistijd voor de relaties die omgeleid moeten worden geminimaliseerd wordt, terwijl ook de reistijd van de niet om te leiden relaties wordt verbeterd. Het draagt dus bij aan het verbeteren van de reistijden van relaties.
- Doel 'verhogen gebruik voorkeursroutes': Wanneer een keuze gemaakt moet worden tussen relaties die in aanmerking komen voor het toedelen aan een beleidsmatige voorkeursroute, dan is met dit verdeelprincipe te bepalen welke relatie die voorkeursroute krijgt toebedeeld. Dit verdeelprincipe kan daardoor bijdragen aan het verhogen van het gebruik van voorkeursroutes.

## 4. Aanpassingsgedrag

Doel van dit hoofdstuk is het onderzoeken van het aanpassingsgedrag van weggebruikers. Met het aanpassingsgedrag kan geschat worden hoeveel weggebruikers daadwerkelijk de maatregelen die onderdeel zijn van een verdeelprincipe opvolgen.

Voor het bepalen van het aanpassingsgedrag worden een aantal invloedsfactoren in beschouwing genomen:

- De wijze van communicatie naar de weggebruiker
- De betrouwbaarheid van de informatie
- Het verschil in het aanpassingsgedrag tussen profielen

Hiervoor is een literatuurstudie gedaan. De gevonden informatie in de literatuur is beschreven in bijlage 3. In de paragrafen hieronder volgen de belangrijkste conclusies.

### 4.1 Communicatie naar de weggebruiker

**Informatiesystemen:**

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat DRIP's en navigatiesystemen voor dit verkeersmanagement het effectiefst zijn voor het communiceren van de informatie naar de weggebruiker. Het bereik van de doelgroep van de informatie via radio of smartphone / mobiele telefoon in een specifieke regio is te laag of de informatie bereikt de gebruiker niet snel genoeg. Een combinatie van DRIP's en navigatiesystemen biedt wel de mogelijkheden om snel regionaal bepaalde gebruikers groepen te bereiken.

DRIP's of navigatiesystemen kunnen nu nog niet afzonderlijk van elkaar worden ingezet. DRIP's zijn nodig omdat nu nog lang niet alle weggebruikers een dynamisch navigatiesysteem gebruiken, terwijl deze meer mogelijkheden biedt voor persoonlijk routeadvies. Alleen dynamische navigatiesystemen kunnen gebruikt worden voor het doorgeven van de informatie. Statische navigatiesystemen hebben deze mogelijkheid niet. Uit de conclusies in bijlage 3 blijkt dat 60% van de huishoudens 1 of meerdere navigatiesystemen bezit, maar slechts 20% daarvan ontvangt dynamische reisinformatie. Zonder het gebruik van DRIP's wordt daarmee het bereik van de doelgroep erg klein. De verwachting is dat het gebruik van dynamische navigatiesystemen toe gaat nemen. Dit is de reden om naast DRIP's ook dit instrument te gebruiken in dit onderzoek voor het communiceren van de informatie naar de weggebruiker.

Voor het doorgeven van de informatie via dynamische navigatiesystemen is samenwerking nodig tussen de wegbeheerder en de navigatie-provider. Deze samenwerking is nu nog zeer beperkt door verschillende belangen. De wegbeheerder wil een zo goed mogelijke verkeerssituatie creëren, waarbij de totale situatie in het netwerk geoptimaliseerd wordt. De navigatieprovider wil een zo goed mogelijk product aan de klant leveren, of te wel de kortste route in tijd of afstand voor iedere klant. De verwachting is dat de samenwerking tussen navigatie-providers en wegbeheerders toeneemt. Er zijn een aantal redenen voor deze aanname. Ten eerste doordat de invloed van wegbeheerders afneemt, doordat zij door de opkomst van navigatiesystemen minder invloed hebben op de sturing van verkeer. Ook heeft de wegbeheerder belang bij de data die door de navigatieprovider wordt verzameld. Bijvoorbeeld wordt door TomTom in samenwerking met Vodafone met behulp van mobiele telefoongegevens de verkeerssituatie bepaald. Niet alleen van het

hoofdwegennet, maar ook van het onderliggende wegennet. Van het onderliggende wegennet hebben wegbeheerders op dit moment weinig actuele data. Hierdoor hebben zij baat bij samenwerking met de navigatie-providers. Ten tweede hebben ook navigatiesysteem providers belang bij samenwerking, omdat de wegbeheerder informatie kan leveren over de (verwachte) netwerksituatie en over de maatregelen die de wegbeheerder gaat nemen. Daarnaast is voor beide partijen de penetratiegraad van navigatiesystemen van belang. De netwerksituatie is optimaal wanneer 15% van de weggebruikers een navigatiesysteem gebruikt (en opvolgt), blijkt uit onderzoek (Veluwen, 2009). Voor zowel de gebruikers van de navigatiesystemen en de niet gebruikers levert dit de beste netwerksituatie op, dus de minste reistijd. Bij een stijging van het aantal gebruikers van een navigatiesysteem neemt deze winst af. Vanaf 40% wordt de verkeerssituatie zelfs slechter dan wanneer er helemaal niemand gebruik maakt van een navigatiesysteem. Dit komt door de instabiliteit die ontstaat doordat al het verkeer continu de snelste route wordt aanbevolen door het navigatiesysteem, terwijl die route niet genoeg capaciteit heeft om voor al dat verkeer ook de snelste route te zijn. Daardoor ontstaat weer een nieuwe snelste route, enzovoort, en dus een grote instabiliteit van het netwerk. Hieruit blijkt dat op de langere termijn het belang van navigatiesystemen verschuift van een individueel belang naar een algemeen belang. Daardoor hebben de navigatieprovider en de wegbeheerder belang bij een samenwerking, doordat anders een situatie ontstaat die voor beide onwenselijk is.

In dit onderzoek zal dus via DRIP's en dynamische navigatie systemen getracht worden de routekeuze van weggebruikers te veranderen. Dit wordt geïmplementeerd door het percentage weggebruikers te schatten dat de routekeuze aanpast door informatie op DRIP's en dynamische navigatiesystemen.

#### Informatieboodschappen:

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat het opvolggedrag van sturende informatie groter is dan van geleidende informatie. Om het effect van de maatregelen te vergroten wordt daarom van sturende informatie gebruik gemaakt. Bij navigatiesystemen is dit mogelijk door de weggebruiker het gewenste routeadvies aan te bieden. Via DRIP's is sturende informatie mogelijk door alleen de gewenste route voor een relatie te tonen. Bijvoorbeeld op een DRIP langs een route van een relatie naar het ziekenhuis: 'verkeer naar ziekenhuis, ga linksaf', of 'verkeer naar ziekenhuis, volg A'.

## 4.2 Betrouwbaarheid

Met betrouwbaarheid wordt bedoeld op in hoeverre de ontvangen informatie door de weggebruiker overeenkomt met de situatie zoals de weggebruiker deze ervaart. Uit de literatuur blijkt dat de gebruikers de informatie van navigatiesystemen betrouwbaarder vinden dan de informatie op DRIP's, doordat ze betaald hebben voor de informatie en deze persoonlijk is. Bij DRIP's geeft 2% van de gebruikers aan niet tevreden te zijn over de betrouwbaarheid van de informatie op DRIP's; 50% geeft aan dat de informatie niet altijd betrouwbaar is. Het effect op het aanpassingsgedrag wordt meegenomen in de bepaling van het aanpassingsgedrag per profiel, doordat dit verschillend is per profiel. Een directe relatie tussen het aanpassingsgedrag door informatie en DRIP's wordt hier dus niet gegeven. Het aanpassingsgedrag wordt bepaald aan de hand van evaluaties van huidige toepassingen van DRIP's. Wanneer het verzamelen en verwerken van de data en het verstrekken van de informatie nauwkeurig en tijdig plaats vindt, op een niveau dat vergelijkbaar of beter is dan de huidige werkwijze bij toepassingen van DRIP's, dan veroorzaakt de betrouwbaarheid geen lager aanpassingsgedrag. In het geval van Sensorcity Assen mag verwacht worden dat de data collectie niet minder nauwkeurig is dan de huidige toepassingen in Nederland.



### 4.3 Aanpassingsgedrag per gebruikersprofiel

Het aanpassingsgedrag per profiel hangt af van het informatiemiddel en de verkeerssituatie. Hieronder is voor DRIP's en navigatiesystemen het aanpassingsgedrag weergegeven dat in bijlage 3 als conclusie naar voren is gekomen uit het literatuuronderzoek.

#### Aanpassingsgedrag van DRIP's:

- Aanpassingsgedrag van informatie op DRIP's door woon-werkverkeer ligt rond de 30% met afwijkingen tot 20 en 50%.
- Woon-werkverkeer hecht de meeste waarde aan het op tijd arriveren op de bestemming bij routekeuzes, gevolgd door het minimaliseren van de reistijd en het minimaliseren van routeveranderingen.
- Zakelijkverkeer hecht de meeste waarde aan het minimaliseren van de reistijd bij routekeuzes, gevolgd door eerdere reiservaringen met routes en het op tijd arriveren op de bestemming.
- Recreatieverkeer hecht de meeste waarde bij routekeuzes aan het minimaliseren van routeveranderingen, gevolgd door het minimaliseren van de reistijd en het minimaliseren van het aantal verkeerslichten op een route.
- Opvolggedrag van informatie op DRIP's door recreatief verkeer is ongeveer 6%.
- In het geval van een stremming (door werkzaamheden of een ongeluk) ligt het opvolggedrag van informatie op DRIP's tussen de 30 en 40%, maar dit kan sterk afwijken in bepaalde verkeerssituaties.
- Bij evenementen ligt het opvolggedrag van informatie op DRIP's gemiddeld rond de 50%, maar dit kan sterk afwijken in bepaalde verkeerssituaties.

#### Aanpassingsgedrag van navigatiesystemen:

- Naar een nagenoeg onbekende bestemming gebruikt 95% van de weggebruikers die beschikken over een navigatiesysteem daadwerkelijk het navigatiesysteem.
- Naar een enigszins bekende bestemming gebruikt 50% van de weggebruikers die beschikken over een navigatiesysteem daadwerkelijk het navigatiesysteem.
- Naar een bekende bestemming gebruikt 20% van de weggebruikers die beschikken over een navigatiesysteem daadwerkelijk het navigatiesysteem.
- 6% van de gebruikers van een dynamisch navigatiesysteem negeert een door het navigatiesysteem gegeven route(verandering) en vervolgt de oorspronkelijke route.

Opgemerkt moet worden dat uit de literatuur blijkt dat het moeilijk is om goed vast te stellen wat het opvolggedrag van de informatiemaatregelen is. De gevonden resultaten in de literatuur laten dan ook grote afwijkingen zien. Daardoor is het noodzakelijk uit te gaan van een ruime marge rond de gevonden waarden voor het aanpassingsgedrag. Wel geldt dat bij praktijktoepassing het aanpassingsgedrag geëvalueerd kan worden, zodat betere schattingen van het aanpassingsgedrag voor nieuwe simulaties beschikbaar komen.

### 4.4 Schatting aanpassingsgedrag

In dit onderzoek is een schatting gemaakt van het aanpassingsgedrag voor de ochtendspits. (De situaties 'stremming' en 'evenement' worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten, door gebrek aan tijd en beperkte data.) Op basis van de beschikbare data is in dit onderzoek onderscheid gemaakt in profielen op basis van het reismotief. Van de reismotieven 'woon-werk', 'zakelijk',

'winkel', en 'overig' is het aanpassingsgedrag geschat. Dit is gedaan met de conclusies uit de vorige paragraaf. Hoe de schattingen gemaakt zijn is beschreven in bijlage 4. In de tabel hieronder is het geschatte aanpassingsgedrag weergegeven.

Het aanpassingsgedrag, dus hoeveel procent de routekeuze aanpast naar aanleiding van informatie op DRIP's of dynamische navigatie, per gebruikersprofielen:

	Woon-werk		Zakelijk		Winkel		Overig	
	% profiel	Opvolg %	% profiel	Opvolg %	% profiel	Opvolg %	% profiel	Opvolg %
DRIP's	88%	30 %	70%	40%	70%	6%	70%	18%
DRIP's (met statische navigatie)	10%	15%	24%	20%	24%	3%	24%	9%
Dynamische navigatie	2%	94%	6%	94%	6%	94%	6%	94%
<b>Totaal</b>	<b>100%</b>	<b>29%</b>	<b>100%</b>	<b>39%</b>	<b>100%</b>	<b>11%</b>	<b>100%</b>	<b>21%</b>

Tabel 1, opvolgpercentages per profiel in een gewone verkeerssituatie. Opgedeeld in een groep die geïnformeerd wordt via DRIP's, een groep die via DRIP's wordt geïnformeerd terwijl gebruik gemaakt wordt van een statisch navigatiesysteem en een groep die via een dynamisch navigatiesysteem geïnformeerd wordt.

### Bandbreedtes

De bepaalde waarden voor het aanpassingsgedrag zijn ruwe schattingen. Daarom wordt gewerkt met bandbreedtes rond deze waarden. Er is gekozen om de waarden met 50% toe en af te laten nemen, zodat een brede bandbreedte wordt gecreëerd die de onzekerheid over het aanpassingsgedrag weergeeft. Er is gekozen voor 50% omdat bij dit percentage een bandbreedte ontstaat waarbinnen de meeste waarden uit de literatuur vallen die afwijken van het gemiddelde. Hierdoor wordt de onzekerheid over het aanpassingsgedrag zo goed mogelijk meegenomen in dit onderzoek.

Dit geeft de volgende waarden voor het aanpassingsgedrag van de gebruikersprofielen.

Gewone verkeerssituatie			
gebruikersprofiel	Geschatte waarde	50% afname	50% toename
Woon-werk	29%	15%	44%
Zakelijk	39%	20%	59%
winkel	11%	6%	17%
overig	21%	11%	32%

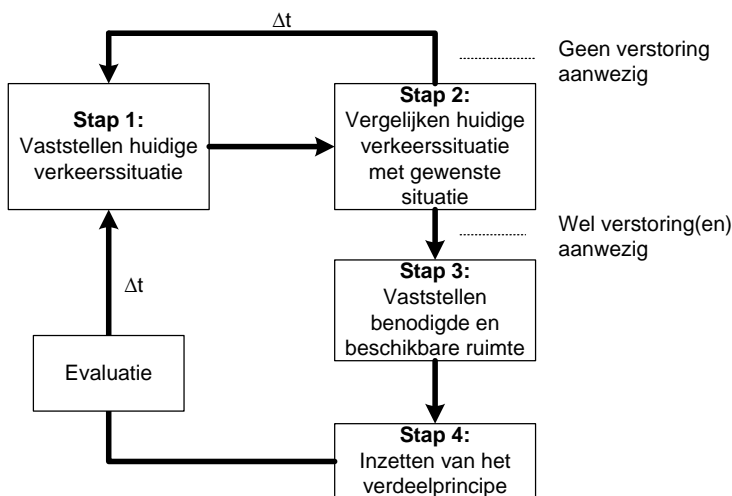
Tabel 2, bandbreedtes rond de geschatte waarde voor het aanpassingsgedrag per profiel

Deze waarden worden gebruikt voor het testen van de verdeelprincipes.

## 5. Operationalisatie

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke stappen er gezet moeten worden voor het inzetten van de verdeelprincipes. Het beschrijft daarmee wat de trigger-momenten zijn, welke informatie nodig is en welke keuzes gemaakt moeten worden.

De operationele fase bestaat uit vier stappen. Uit deze stappen volgt of het noodzakelijk is om een verdeelprincipe in te zetten en welke informatie nodig is voor het inzetten van een verdeelprincipe. Na de stappen wordt het schema weer opnieuw doorlopen op het volgende tijdstip. Door het steeds opnieuw bepalen van de situatie wordt ook het effect van het ingezette verdeelprincipe geëvalueerd en wordt bepaald of aanpassing of continuering van het verdeelprincipe nodig is. Het vormt hierdoor een continu proces. Het stappenschema is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2, stappen in de operationele fase

De stappen uit de operationele fase worden hieronder nader toegelicht. Een aantal stappen is afhankelijk van het doel waarvoor een verdeelprincipe wordt ingezet. De betreffende stappen zijn in paragraaf 5.1 tot en met 5.3 per doel nader uitgewerkt.

### Stap 1: Bepaling huidige verkeerssituatie

Voor het managen van het verkeer is het noodzakelijk dat er een beeld is van de huidige verkeerssituatie. In dit onderzoek is informatie nodig van de huidige intensiteit, snelheid en dichtheid op de objecten in het netwerk.

Op de methodes voor het verzamelen, verwerken, corrigeren en samenvoegen van data wordt hier niet verder ingegaan. Er wordt aangenomen dat er genoeg informatie beschikbaar is om te bepalen wat de huidige verkeerssituatie is.

### Stap 2: Vergelijken huidige met gewenste verkeerssituatie

Door het vergelijken van de huidige verkeerssituatie met de gewenste situatie wordt bepaald of zich problemen voordoen. Hiervoor worden de actuele waarden vergeleken met de normen. Een probleem treedt op wanneer een norm wordt overschreden. De norm geeft de door de beleidsmaker maximaal gewenste waarde aan voor een criterium. Wat de norm is en wanneer deze wordt overschreden is afhankelijk van het doel. Dit wordt daarom in de volgende paragrafen per doel besproken.

Indien er geen verstoring is geconstateerd: ingrijpen in de verkeerssituatie is niet nodig. Daarom wordt na een tijdsinterval opnieuw het schema doorlopen vanaf stap 1.

Indien er wel een verstoring is geconstateerd: In het geval er meerdere problemen worden geconstateerd, dient eerst met één probleem gestart te worden. De keuze voor een probleem wordt gemaakt op basis van de mate van overschrijding van de norm(en) in combinatie met de intensiteit van de verkeersstromen die geconfronteerd worden met de verstoring. Wanneer duidelijk is welk probleem wordt aangepakt volgt stap 3.

#### *Meerdere knelpunten:*

Uit stap 2 blijkt dat er met één verstoring wordt gewerkt. Wanneer er veel verstoringen in het netwerk zijn worden deze niet tegelijk aangepakt, omdat dit (veel) te complex is. Hiervoor zijn meerdere redenen. Ten eerste zijn er meerdere wegbeheerders bij betrokken, waardoor het niet eenvoudig is meerdere verstoringen met verschillende beheerders in één keer op te lossen. Ten tweede is het praktisch niet mogelijk, doordat er in dat geval erg veel DRIP's nodig zijn. Hierdoor is het voor de weggebruiker niet meer duidelijk welke informatie voor hem/haar van toepassing is. Daarnaast is de aanschaf en het gebruik van DRIP's niet goedkoop. Een ander probleem is dat voor het oplossen van meerdere knelpunten tegelijkertijd dezelfde beschikbare ruimte op alternatieve routes kan worden geclaimd voor het herverdelen van verkeer. Dat resulteert in nieuw problemen. Afstemming/communicatie tussen de knelpunten is daardoor noodzakelijk. Dit valt buiten dit onderzoek en is een punt voor nader onderzoek.

#### **Stap 3: Vaststellen benodigde en beschikbare ruimte**

Voor die objecten waarop zich een verstoring voordoet dient nu bepaald te worden hoeveel verkeer omgeleid moet worden, welke relaties omgeleid kunnen worden en hoeveel ruimte er is op alternatieve routes van deze relaties. Hiervoor dient de hoeveelheid benodigde en beschikbare ruimte bepaald te worden. Daarvoor dient het object of de route die het probleem veroorzaakt nader bekeken te worden. De werkwijze is afhankelijk van het gekozen doel en is ook in de volgende paragrafen per doel toegelicht. Het resultaat van deze stap moet zijn dat bekend is:

- Op welke objecten of routes in het netwerk verkeer omgeleid moet worden om weer te voldoen aan de norm.
- Welke relaties er in aanmerking komen om omgeleid te worden.
- Hoeveel ruimte er beschikbaar is op routes waar de relaties naar toe omgeleid kunnen worden.

#### *Uitgangspunten/randvoorwaarden*

- Randvoorwaarde voor het inzetten van verdeelprincipes is dat er alternatieve routes beschikbaar zijn en dat er ruimte op deze routes is om een relatie om te leiden. Als er dus geen ruimte op alternatieve routes beschikbaar is, is het herverdelen van verkeer niet mogelijk.
- Een randvoorwaarde, voor het bepalen van relaties die omgeleid kunnen worden, is dat de wegbeheerder de routekeuze van alle herkomst-bestemming relaties weet.
- Relaties dienen samengevoegd te worden. In principe vormt iedere weggebruiker een unieke relatie, doordat deze een specifieke herkomst en bestemming heeft en een specifieke vertrektijd. Voor ROTM is echter samenvoeging nodig om het verkeer te sturen, doordat groepen van weggebruikers worden aangestuurd. Daarnaast is het aansturen van individuele weggebruikers niet mogelijk via DRIP's. Naar de mogelijkheden om relaties samen te voegen is onderzoek

gedaan. De resultaten hiervan zijn beschreven in bijlage 2. Hieruit komt naar voren dat de volgende wijzen van samenvoeging mogelijk zijn:

- Op basis van nabijheid van herkomst en of bestemming worden relaties samengenomen. Buiten het afgebakende gebied, het gebied waarbinnen ROTM wordt toegepast, dient hiervoor ook naar de verplaatsingsrichting gekeken te worden of naar de aanwezige hoofdinfrastructuur die door het afbakenen van het gebied wordt doorsneden. Binnen het afgebakende gebied moet bij het samenvoegen op basis van nabijheid ook naar geografische barrières (spoorlijnen, kanalen) en de eigenschappen van het gebied (woningen of kantoren) gekeken worden.
- Op basis van de intensiteit worden relaties samengenomen. Kleine relaties dienen samengenomen te worden, hele grote relaties kunnen worden uitgesplitst.
- Relaties worden samengenomen als deze een overeenkomstige set van omleidingsroutes hebben en op een zelfde keuzepunt geïnformeerd kunnen worden.

Uiteindelijk moet dit leiden tot een werkbare set van relaties. Hoe groot deze set van relaties dient te zijn is niet vast te leggen, omdat dit zeer afhankelijk is van het netwerk dat op dat moment onderzocht wordt en de beschikbare middelen/data die beperkend kunnen zijn voor de complexiteit waarmee gewerkt kan worden.

#### **Stap 4: Inzetten van het verdeelprincipe**

Nu bekend is uit stap 3 hoeveel verkeer omgeleid moet worden en hoeveel ruimte er beschikbaar is op andere routes, wordt bekeken welke van de alternatieve routes voor een relatie worden ingezet en welke relaties worden omgeleid. Op welke manier het omleiden van relaties plaats vindt hangt af van de keuze voor een verdeelprincipe.

##### *Keuze voor verdeelprincipe:*

Zoals bepaald in hoofdstuk 3 zijn er meerdere verdeelprincipes mogelijk, ongeacht de keuze voor een doel. Het verdeelprincipe dat het beste het gewenste effect benaderd wordt gekozen. De keuze voor een verdeelprincipe is mogelijk op basis van beleid wanneer beleid aansluit op een verdeelprincipe (bijvoorbeeld het minimaliseren van het aantal om te leiden voertuigen, extra reistijd in het netwerk of het prioriteren van bepaalde relaties). Daarnaast kunnen specifieke netwerkfactoren, zoals beschikbare routes, (de intensiteit van) aanwezige relaties en beschikbare DVM-systemen invloed hebben op de keuze. Een keuze is uiteindelijk afhankelijk van het verwachte effect van een verdeelprincipe. Om hier meer informatie over te krijgen is in dit onderzoek de inzet van verdeelprincipes gesimuleerd in hoofdstuk 6.

Voor de keuze en het inzetten van de verdeelprincipes is nog de volgende informatie nodig uit het verkeersnetwerk:

- De intensiteiten van de verschillende relaties die gebruik maken van de probleemroute. Deze informatie is nodig om te bepalen welke relatie(s) aanwezig zijn op probleemroute en dus omgeleid kunnen worden. Afhankelijk van het te kiezen verdeelprincipe kan de intensiteit van relaties van belang zijn voor het bepalen van de volgorde van omleiden.
- De intensiteit van de aanwezige profielen in de relaties op de probleemroute. Dit is bepalend voor hoeveel verkeer er omgeleid wordt doordat het aanpassingsgedrag van profielen verschillend is. Het procentuele aanpassingsgedrag per profiel is reeds bepaald in hoofdstuk 4. In deze stap wordt vervolgens de intensiteit van een profiel in een relatie

vermenigvuldigd met dit percentage om te schatten hoeveel verkeer de routekeuze door de informatiemaatregel aanpast. Deze informatie wordt gebruikt voor het bepalen van het effect van een verdeelprincipe en daarmee voor de keuze van een verdeelprincipe.

### Uitgangspunt

Er wordt in dit onderzoek pas een verdeelprincipe ingezet wanneer er daadwerkelijk een probleem optreedt. Door beperkte tijd en middelen valt het ingrijpen op basis van voorspellingen buiten dit onderzoek.

### Evaluatie

Het evalueren is van belang om te bepalen of het inzetten van een verdeelprincipe gecontinueerd moet worden en of het verdeelprincipe de gewenste werking heeft. Uit de evaluatie volgt ook wat de neveneffecten zijn van een verdeelprincipe, of te wel de effecten die optreden op andere locaties in het netwerk dan de knelpuntlocatie waarvoor het verdeelprincipe is ingezet. De volgende neveneffecten dienen in het bijzonder in beschouwing te worden genomen:

- Het ontstaan van nieuwe verstoringen in het wegennet als gevolg van het inzetten van het verdeelprincipe. Er dient gekeken te worden naar de gevolgen van een verdeelprincipe op de alternatieve routes die worden gebruikt voor het omleiden van relaties.
- De totale effecten op het netwerk en de omgeving: totale reistijd en het totaal aantal afgelegde kilometers in het netwerk (per wegtype), zodat ook de gevolgen op het gebied van milieu en verkeersveiligheid meegenomen worden.

## 5.1 Doel 'oplossen knelpunten'

Bepaling of er een knelpunt aanwezig is:

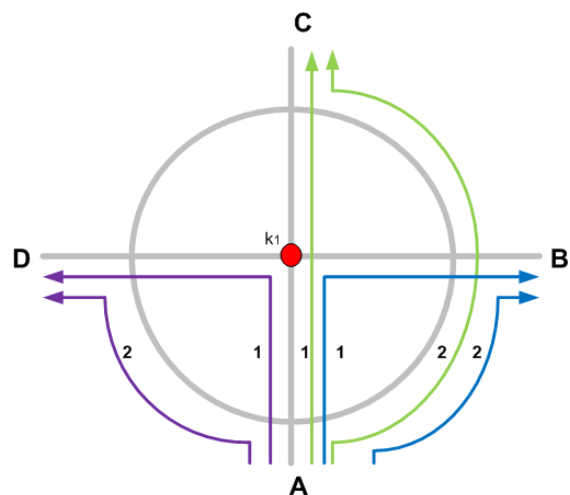
Een knelpunt doet zich voor wanneer de intensiteit, dichtheid, of snelheid zodanig verslechtert dat deze een norm overschrijdt. Deze norm is opgesteld voor ieder routedeel en ieder kruispunt.

I = intensiteit  
 S = snelheid  
 D = dichtheid  
 k = kruispunt  
 w = routedeel

Het netwerk bestaat uit kruispunten k (1 tot en met n) en routedelen w (1 tot en met m). (n is het aantal kruispunten in het netwerk, m het aantal routedelen)

Er treedt een knelpunt op als:

$I_{k_1} > I_n_{k_1}$ , of  $D_{k_1} > D_n_{k_1}$ , of  $S_{k_1} < S_n_{k_1}$ , of  
 $I_{w_1} > I_n_{w_1}$ , of  $D_{w_1} > D_n_{w_1}$ , of  $S_{w_1} < S_n_{w_1}$ , of  
 .....



Figuur 3, gegevens voorbeeld. In grijs is de infrastructuur weergegeven. De blauwe pijlen zijn de beschikbare routes voor relatie AB, de groene pijlen voor relatie AC en de paarse pijlen voor relatie AD. Met rood k1, het kruispunt dat een knelpunt vormt.

$I_{k_n} > I_{n_{k_n}}$  of  $D_{k_n} > D_{n_{k_n}}$  of  $S_{k_n} < S_{n_{k_n}}$  of  
 $I_{w_m} > I_{n_{w_m}}$  of  $D_{w_m} > D_{n_{w_m}}$  of  $S_{w_m} < S_{n_{w_m}}$  of een combinatie van meerdere overschrijdingen

Waarbij:

$I_{n_k}$ : intensiteitsnorm voor kruispunt k

$D_{n_k}$ : dichtheidsnorm voor kruispunt k

$S_{n_k}$ : snelheidsnorm voor kruispunt k

$I_{n_w}$ : intensiteitsnorm voor routedeel w

$D_{n_w}$ : dichtheidsnorm voor routedeel w

$S_{n_w}$ : snelheidsnorm voor routedeel w

Op basis van de grootte van de overschrijding en de intensiteit op het knelpunt wordt bepaald welk kruispunt als eerste wordt aangepakt. Wanneer een overschrijding van de norm is geconstateerd wordt bekeken van welke routes het betreffende kruispunt of routedeel onderdeel uitmaakt. Op basis van de overschrijding wordt bepaald hoeveel verkeer omgeleid dient te worden om weer aan de norm te voldoen.

Stel dat in het voorbeeld op k1 een overschrijding van de norm is geconstateerd, oftewel:

$I_{k_1} > I_{n_{k_1}}$ , of  $D_{k_1} > D_{n_{k_1}}$ , of  $S_{k_1} < S_{n_{k_1}}$ .

Er wordt bekeken welke routes (en dus relaties) gebruik maken van dit kruispunt:

q1\_AB (= route 1 voor relatie AB)

q1\_AC (= route 1 voor relatie AC)

q1\_AD (= route 1 voor relatie AD)

R= relatie

Q = set van routes

q = route, onderdeel van Q

Relaties AB, AC en AD maken dus gebruik van dit kruispunt. Deze komen dus in aanmerking om omgeleid te worden.

**Om te leiden hoeveelheid verkeer:**

Door het bepalen van de ruimte die gecreëerd moet worden op het knelpunt is te bepalen hoeveel verkeer omgeleid moet worden. De bepaling is verschillend voor de norm die overschreden wordt en wordt hieronder toegelicht.

*Intensiteit:*

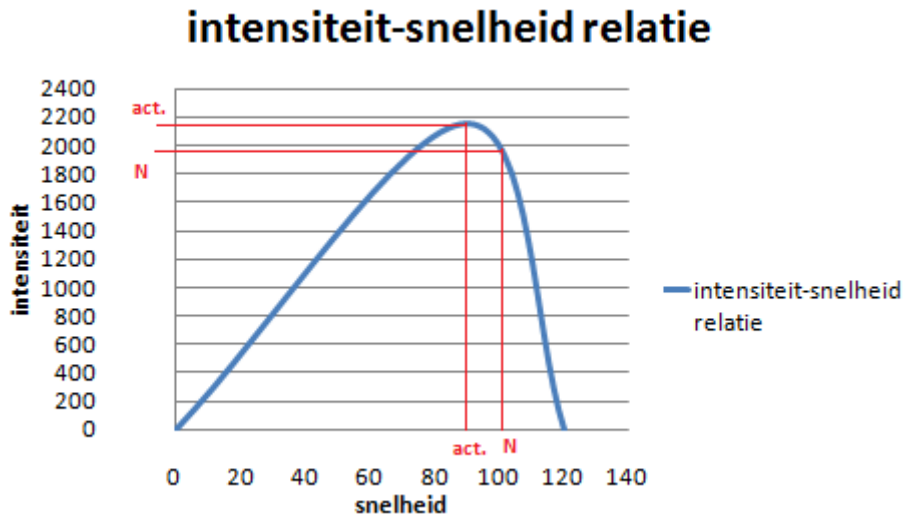
Door de overschrijding van de I/C-norm te vermenigvuldigen met de capaciteit van de link wordt de intensiteit bepaald die omgeleid dient te worden. Oftewel,

$$I_{overschrijding} = \left( \frac{I}{C_{huidig}} - \frac{I}{C_{norm}} \right) * C_{link}$$

*Snelheid/dichtheid:*

Op basis van de huidige snelheid of dichtheid wordt bepaald hoeveel verkeer er omgeleid dient te worden met behulp van de intensiteit-snelheidsrelatie of intensiteit-dichtheidsrelatie. Hieronder is een voorbeeld gegeven voor de snelheid met een 120 km/uur link. De norm voor deze link is in het voorbeeld 100 km/uur. De actuele snelheid (act. in de figuur 4) is 90 km/uur. De intensiteit moet in

dat geval omlaag met het verschil tussen de intensiteit die optreedt bij de norm en de actuele intensiteit. In het voorbeeld bedraagt deze ongeveer 200 PAE/uur (personenauto equivalent/uur).



Figuur 4, bepaling van de om te leiden hoeveelheid verkeer op basis van overschrijding van de snelheidsnorm

Als de huidige snelheid lager is dan de snelheid bij het capaciteitsoptimum (in het figuur hierboven ligt dat rond de 90 km/h), dan werkt deze aanpak niet, met name wanneer de snelheid verder afneemt. Wanneer de actuele snelheid bijvoorbeeld 40 km/h is, dan ligt de intensiteit op ongeveer 1000 pae/uur. Om terug te keren naar de norm moeten dan ongeveer  $1000 - 2000 = -1000$  voertuigen worden omgeleid. Het min teken geeft aan dat er juist meer verkeer over de route geleid moet worden. Dit klopt natuurlijk niet. Daarom geldt, wanneer de snelheid lager is dan de snelheid waarbij het capaciteitsoptimum optreedt:

$$\text{Om te leiden hoeveelheid} = \max C - \sum_R I$$

$\max C$  is de maximale capaciteit van het object en  $I$  de intensiteit van de aanwezige relaties  $R$ . Op deze manier wordt het verschil tussen de intensiteit die optreedt bij de maximale capaciteit en de huidige intensiteit omgeleid. Opgemerkt moet worden dat de juiste intensiteit om de gewenste snelheid te behalen hiermee niet bepaald wordt. Dit is niet mogelijk wanneer de snelheid het capaciteitsoptimum gepasseerd is. Toepassing van deze formule zorgt ervoor dat er meer verkeer omgeleid wordt wanneer de snelheid verder van het capaciteitsoptimum af komt te liggen. Door meer verkeer om te leiden wordt een grotere verbetering in snelheid bereikt.

Wanneer overschrijding optreedt van meerdere normen (snelheid, dichtheid en  $I/C$  norm) dan is die norm maatgevend waarvoor de grootste intensiteit afname op het object noodzakelijk is.

#### Ruimte op alternatieve routes:

Voor de relaties die aanwezig zijn op de knelpuntroute wordt gekeken hoeveel ruimte er op alternatieve routes beschikbaar is. Er worden alleen alternatieve routes bekeken die deel uitmaken van het beschikbaar wegennet (Rijkswaterstaat, 2007) en maximaal 1,4 keer de reistijd van de oorspronkelijke route hebben. Bij langere routes zakt het aanpassingsgedrag van weggebruikers naar nul (Baets, Lauwers, & Allaert, 2010). Van deze routes wordt bepaald hoeveel verkeer er nog over de route geleid kan worden voordat de norm wordt overschreden:



Een route bestaat uit:  $k_1 + w_1 + k_2 + w_2 + \dots + k_i + w_j$   
 waarbij i het aantal kruispunten (k) in een route is en j het aantal routedelen (w).

*Als  $I_{k_i} < I_{n_{k_i}}$  en  $D_{k_i} < D_{n_{k_i}}$  en  $S_{k_i} > S_{n_{k_i}}$ , dan is er ruimte beschikbaar op het kruispunt.  
 Als  $I_{w_j} < I_{n_{w_j}}$  en  $D_{w_j} < D_{n_{w_j}}$  en  $S_{w_j} > S_{n_{w_j}}$ , dan is er ruimte beschikbaar op het routedeel.*

Het kruispunt of het routedeel waarop de minste toename van verkeer mogelijk is, is maatgevend voor de gehele route. Het resultaat is dus de ruimte in intensiteit ( $I_{ruimte}$ ) die beschikbaar is op een route.

Vervolgens kan met deze informatie een verdeelprincipe worden ingezet.

## 5.2 Doel 'verbeteren reistijden'

Bepaling of er een probleem aanwezig is:

Er is een probleem als de reistijd (T) voor een relatie groter is dan de reistijdnorm voor een relatie:

$$T_{HB} > T_{n_{HB}}$$

$T_{HB}$ , oftewel de gemiddelde reistijd voor een relatie, wordt bepaald van de volgende formule:

$$T_{HB} = \sum_Q (HB_{ij,fr} * T_q),$$

waarbij  $HB_{ij,fr}$  de fractie van de relatie i naar j uit de HB (herkomst-bestemming matrix) is die via route q gaat en  $T_q$  de reistijd op route q is. De sommatie over de verschillende routes (Q) die een relatie gebruikt levert de gemiddelde reistijd voor de relatie op.

De reistijdnorm ( $T_{n_{HB}}$ ) vormt de gewenste maximale reistijd voor een relatie. Deze wordt opgesteld voor verschillende situaties (bijv. spits, buiten de spits). Een norm voor een relatie wordt bepaald door de freeflow-reistijd op de route te nemen vermenigvuldigd met een beleidsnorm die de geaccepteerde stijging van de freeflow-reistijd weergeeft (reistijdnorm = freeflow-reistijd \* beleidsnorm). De norm wordt gevormd op basis van de reistijd van de snelste route, omdat al het verkeer in de freeflow situatie de snelste route kiest.

Wanneer er meerdere relaties in het netwerk aanwezig zijn die de norm overschrijden, dan wordt eerst de relatie die de grootste overschrijding van de norm kent aangepakt of de relatie die de hoogste prioriteit kent. Dit is afhankelijk van een beleidskeuze.

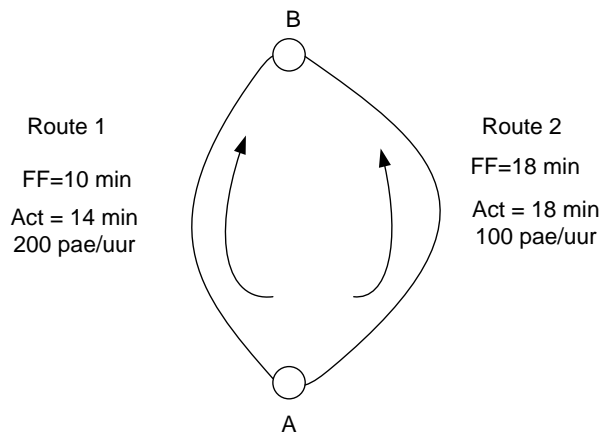
### Aanpak probleem en bepaling benodigde ruimte

Als blijkt dat de reistijdnorm voor een relatie wordt overschreden, wordt naar de routes van deze relatie gekeken. Eerst wordt bekeken of het mogelijk is om een relatie anders over de beschikbare routes te verdelen, zodat wel de reistijdnorm wordt gehaald. Dit betekent dat een snellere route niet optimaal wordt gebruikt. In de meeste gevallen is dit niet mogelijk, doordat de snelste route vaak volledig benut wordt voordat andere routes gebruikt worden.

Vervolgens wordt specifiek naar de verkeerssituatie op de routes gekeken. Eerst wordt naar één route van de relatie gekeken. Wanneer nodig worden later alsnog de andere routes ook één voor één bekeken. Op basis van de stijging van de reistijd op de routes ten opzichte van de reistijd in de norm situatie en de intensiteit van de relatie op de routes wordt bepaald welke route als eerste wordt beschouwd. Mocht een route gestremd zijn dan wordt deze dus, ondanks de grote reistijdtoename niet gekozen, doordat de intensiteit van de relatie op deze route erg klein is.

De bepaling van de norm, of een probleem optreedt en hoe het probleem wordt aangepakt is hieronder nader uitgelegd met een voorbeeld.

Voorbeeld:



**Figuur 5, schematisch voorbeeld met relatie AB. Er zijn twee routes beschikbaar met een verschillende freeflow reistijd (FF), actuele reistijd (Act) en actuele intensiteit in pae/uur.**

Bepaling van de norm: snelste route is route 1 in de free-flow (FF) situatie

Reistijdnorm voor relatie AB (uitgaande van 50% stijging als beleidsnorm) =  $10 * 1,5 = 15$  minuten

Actueel:

Toetsen of voldaan wordt aan norm:

gem. reistijd volgens formule  $\sum_Q (HB_{ij,fr} * T_q)$ , geeft:

$$200 / 300 * 14 + 100 / 300 * 18 = 15,333$$

$15,33 > 15$ , dus er wordt niet voldaan aan de norm.

Bepalen welke route aangepakt moet worden:

route 1 kent de hoogste intensiteit van deze relatie en de grootste reistijd stijging. Dus route 1.

Bepalen hoeveel reistijd verminderd moet worden om terug te keren naar de norm:

$15 * 300 = 4500$  (totaal aanvaarde reistijd om te voldoen aan de norm)

$4500 - 1800 = 2700$  (totale reistijd verminderd met reistijd over route 2, aangenomen dat de fracties gelijk blijven)

$2700 / 200 = 13,5$  minuut (totale reistijd op route 1 om terug te keren naar norm gedeeld door aantal voertuigen op die route. Geeft de reistijd die op route 1 moet ontstaan.)

$14 - 13,5 = 0,5$  minuut = 30 seconden (huidige reistijd - gewenste reistijd, levert de tijd op die op route 1 verminderd moet worden.)

Wanneer de hoeveelheid tijd die op een route bespaard moet worden bekend is, wordt bekeken op welk object op de route de grootste absolute reistijd stijging heeft plaatsgevonden ten opzichte van de norm situatie. Bij dit object wordt bekeken of de gewenste reistijd winst gerealiseerd kan worden door andere relaties om te leiden. De om te leiden hoeveelheid verkeer volgt uit de relatie tussen de reistijd op het object en de intensiteit. Als de gewenste reistijdwinst niet mogelijk is op dat object, wordt zoveel mogelijk de reistijd verminderd. In de volgende stap wordt dan bekeken of op een ander object, dat de op één na grootste reistijd stijging kent, genoeg reistijdwinst gerealiseerd kan worden zodat de reistijd voor de relatie onder de reistijdnorm komt.

### Bepaling ruimte op alternatieve routes

Voor het verlagen van de reistijd op een object wordt verkeer van andere relaties omgeleid naar alternatieve routes. Welke relaties omgeleid kunnen worden en hoeveel ruimte op routes beschikbaar is gebeurd op dezelfde wijze als in paragraaf 5.1 is beschreven.

### Inzetten van een verdeelprincipe

Alle informatie voor het inzetten van een verdeelprincipe is nu beschikbaar. De relatie die het probleem vormt wordt zelf niet omgeleid, behalve wanneer er een stremming is ontstaan. Het doel is immers om de bereikbaarheid van deze relatie onder de norm te krijgen door de route te verbeteren. Het omleiden van deze relatie zelf is dan niet logisch. Op de overige relaties die gebruikmaken van het betreffende object worden de verdeelprincipes toegepast. Hierbij dient wel getoetst te worden dat deze relaties niet boven de reistijdnorm komen.

N.B.: in geval van een stremming is het mogelijk dat de reistijdnorm voor een relatie niet meer bereikbaar is. In dat geval wordt de norm zoveel mogelijk benaderd.

## 5.3 Doel 'verhogen van het gebruik van voorkeursroutes'

Bepaling of er een probleem aanwezig is:

Er treedt een probleem op als een alternatieve route gebruikt wordt terwijl de beleidsvoorkeursroute nog niet volledig benut wordt.

Een route bestaat uit:  $k_1 + w_1 + k_2 + w_2 + \dots + k_i + w_j$

waarbij  $i$  het aantal kruispunten ( $k$ ) in een route is en  $j$  het aantal routedelen ( $w$ ).

*Als  $I_{k_i} < I_{n_{k_i}}$  en  $D_{k_i} < D_{n_{k_i}}$  en  $S_{k_i} > S_{n_{k_i}}$ , dan is er ruimte beschikbaar op het kruispunt.*

*Als  $I_{w_j} < I_{n_{w_j}}$  en  $D_{w_j} < D_{n_{w_j}}$  en  $S_{w_j} > S_{n_{w_j}}$ , dan is er ruimte beschikbaar op het routedeel.*

Als voor alle kruispunten ( $k$ ) en routedelen ( $w$ ) van een route geldt dat ze onder de norm zitten dan is deze nog niet volledig benut.

Stel nu dat in het voorbeeld in figuur 3:

- de voorkeursroute voor AB is  $q_2$
- de voorkeursroute voor AC is  $q_2$
- de voorkeursroute voor AD is  $q_2$

Er is in dit geval een probleem aanwezig als:

$I_{q_1, AB} > 0$ , en (de intensiteit op route 1 van relatie AB is groter dan 0)

voor alle kruispunten (1 t/m  $i$ ) en routedelen (1 t/m  $j$ ) van  $q_2_{AB}$  geldt:

$I_{k_1} < I_{n_{k_1}} \dots I_{k_i} < I_{n_{k_i}}$ , en  $D_{k_1} < D_{n_{k_1}} \dots D_{k_i} < D_{n_{k_i}}$ , en  $S_{k_1} > S_{n_{k_1}} \dots S_{k_i} > S_{n_{k_i}}$

$I_{w_1} < I_{n_{w_1}} \dots I_{w_j} < I_{n_{w_j}}$ , en  $D_{w_1} < D_{n_{w_1}} \dots D_{w_j} < D_{n_{w_j}}$ , en  $S_{w_1} > S_{n_{w_1}} \dots S_{w_j} > S_{n_{w_j}}$ ,

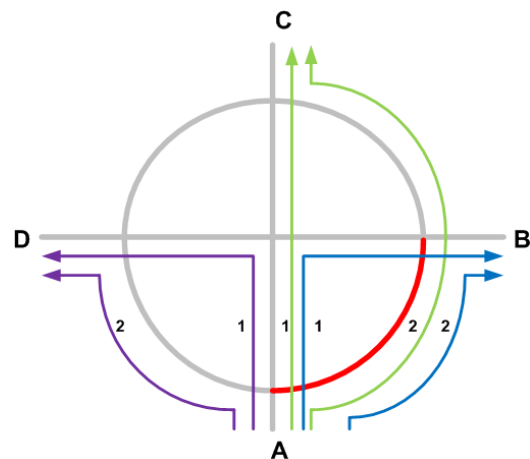
of te wel: er is nog ruimte beschikbaar op route  $q_2$ .

Route 1 wordt gebruikt door relatie AB, terwijl route 2 niet volledig benut wordt. Er is dus sprake van een probleem.

**Aanpak van het probleem:**

Het maatgevend object op de voorkeursroute bepaald hoeveel verkeer omgeleid kan worden naar deze voorkeursroute. De aanpak voor de bepaling van de beschikbare ruimte is al beschreven in paragraaf 5.1. Als de ruimte alleen door de beschouwde relatie als voorkeursroute gebruikt kan worden, dan wordt verkeer van deze relatie toegedeeld aan deze route tot dat het maatgevend object maximaal benut wordt. Als de ruimte op de objecten van de route onderdeel vormen van voorkeursroutes van andere relaties is het mogelijk om op basis van de verdeelprincipes een afweging te maken welke relaties aan deze ruimte worden toegedeeld.

Stel dat in het voorbeeld het rode routedeel maatgevend is voor de ruimte op de voorkeursroute van AB. Het rode deel is ook onderdeel van de voorkeursroute van relatie AC. Als op de route voor AC ook nog ruimte beschikbaar is, kan ook relatie AC worden omgeleid naar de voorkeursroute. In dat geval wordt een verdeelprincipe ingezet, omdat zowel relatie AB als AC gebruik dienen te maken van de voorkeursroute, waar het rode gedeelte deel van uit maakt. Door het inzetten van een verdeelprincipe wordt bepaald welke relatie wordt toegedeeld aan de voorkeursroute.



Figuur 6, waarbij het rode gedeelte onderdeel is van de voorkeursroute voor relaties AB en AC

## 6. Testcase

In dit hoofdstuk worden de verdeelprincipes getest om te bepalen of de aanpak voor het inzetten van de verdeelprincipes werkt en om te bepalen wat de effecten van de verschillende verdeelprincipes zijn. In paragraaf 6.1 wordt beschreven hoe de verdeelprincipes getest worden en in welke situaties deze gesimuleerd zijn. In paragraaf 6.2 volgen de resultaten van het simuleren.

### 6.1 Toepassing in het verkeersmodel

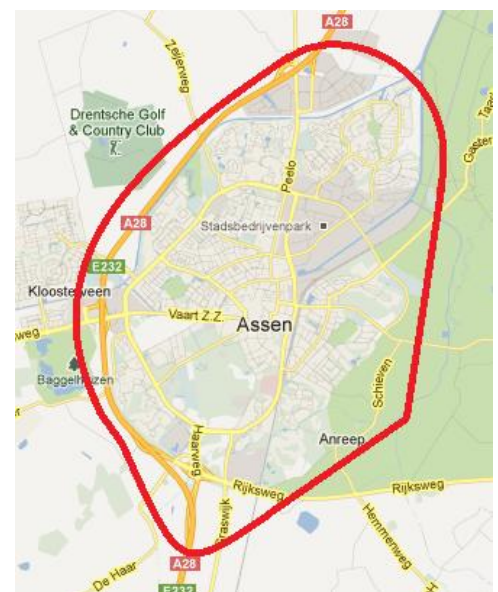
In deze paragraaf is kort beschreven op welke manier de werking van de verdeelprincipes is getest en met welke scenario's de werking is gesimuleerd.

#### 6.1.1 Model en Data

In dit project wordt voor het testen gebruik gemaakt van Streamline, een macroscopisch verkeersmodel. Een beschrijving van de werking van Streamline wordt gegeven in bijlage 5. Dit model biedt mogelijkheden voor het implementeren van DVM-maatregelen, waardoor het model geschikt is voor het testen van het herverdelen van verkeer. In het verkeersnetwerk worden DRIP's geplaatst op locaties waar door weggebruikers een keuze gemaakt moet worden of ze de routekeuze aanpassen of de oorspronkelijke route blijven volgen. Aan de DRIP wordt een percentage gekoppeld dat aangeeft welk deel van de relatie de routekeuze aanpast. Dit percentage is bepaald met de resultaten uit hoofdstuk 4. Doordat aan de DRIP routes zijn gekoppeld wordt alleen de HB-relatie beïnvloed die deze route volgt, alle overige weggebruikers worden niet beïnvloed. Op deze wijze kan de werking van DRIP's gesimuleerd worden. De werking van dynamische navigatiesystemen kan door technische beperking in het model niet gesimuleerd worden. Daarom is aangenomen dat de gebruikers van een dynamisch navigatiesysteem op een vast keuzepunt, hetzelfde punt als de locatie van de DRIP, geïnformeerd worden. Daardoor kunnen ook deze gebruikers over dezelfde routes worden omgeleid.

In het model is Assen als testsituatie gebruikt. Deze testcase heeft de volgende kenmerken:

- Het omvat het verkeersnetwerk in en rond Assen. Dit geeft het gebied weer dat binnen een straal van 15 minuten reistijd (met de auto) rond Assen ligt. Dit gebied is onderverdeeld naar 214 zones. Er is een verkleining van het gebied toegepast zodat het aantal relaties beperkt wordt. Dit is noodzakelijk om de rekentijd en de complexiteit te beperken. Globaal blijft het netwerk over dat in het figuur hiernaast met rood omlijnd is.
- Er is een herkomst-bestemming (HB)-matrix beschikbaar voor een 2-uurs ochtendspits. Er zijn aparte HB-matrices voor autoverkeer en vrachtverkeer, waarbij de HB-matrix voor autoverkeer opgesplitst is naar de reismotieven 'woon-werk', 'zakelijk', 'winkelen' en 'overig'.
- In deze toepassing is aangenomen dat de wegbeheerder kennis heeft over de exacte situatie in het wegennet, de route die weggebruikers gaan volgen en welk reismotief weggebruikers in een relatie hebben.



figuur 7, testnetwerk Assen

### 6.1.2 Gesimuleerde scenario's

De verdeelprincipes zijn met de doelen 'oplossen knelpunten' en 'verbeteren van reistijden van relaties' gesimuleerd. Het doel 'verhogen van gebruik voorkeursroutes' is door beperkte tijd niet getest. Voor het testen van 'oplossen knelpunten' zijn op twee knelpunten de verdeelprincipes toegepast. Dit zijn de twee knelpunten in het netwerk die gedurende de ochtendspits de grootste I/C-overschrijding kennen. Naast het gemiddelde aanpassingsgedrag zijn de verdeelprincipes op beide knelpunten ook getest met een laag en hoog aanpassingsgedrag, zoals dit in hoofdstuk 4 is bepaald. Voor het testen van de verdeelprincipes in combinatie met 'het verbeteren van reistijden van relaties' is bepaald wat de tien HB-relaties zijn met de meeste verplaatsingen. De verdeelprincipes zijn vervolgens toegepast op de relatie uit deze set van tien die de grootste reistijdoverschrijding van de norm kent. Voor het simuleren van de verdeelprincipes zijn de stappen uit hoofdstuk 5 doorlopen. In bijlage 6 is stap voor stap beschreven welke toepassingen in het model gebruikt zijn, welke aannames gedaan zijn en welke normen er gebruikt worden om het stappenplan naar deze modelomgeving te vertalen. Hierin is ook de prioriteitsverdeling beschreven voor het verdelen op basis van prioriteit. In dit onderzoek is de hoogste prioriteit gegeven aan relaties die de grootste intensiteit van het reisdoel 'woon-werk' bevatten.

Door het bepalen van de I/C verhouding op knelpunten bij 'oplossen knelpunten' en de reistijd van de relatie die het knelpunt vormt bij 'verbeteren reistijden' zijn de effecten op de verstoringen bepaald. De netwerkeffecten worden bepaald door het aantal gereisde kilometers en de totale reistijd in het netwerk te bepalen. De gevolgen van het herverdelen van verkeer voor weggebruikers is beoordeeld aan de hand van de reistijd van specifieke relaties, de verandering van de totale reistijd in het netwerk en het aantal omgeleide voertuigen. Het aantal omgeleide voertuigen geeft aan hoeveel weggebruikers een langere reistijd krijgen bij een toename van de totale reistijd in het netwerk. De verdeling van deze extra reistijd over de omgeleide weggebruikers kan echter niet worden afgeleid. Wel is de verdeling van extra reistijd/kilometers over de profielen bepaald. Hiermee kan bepaald worden of het geven van prioriteit aan een gebruikersprofiel ook daadwerkelijk voordeel voor dat profiel oplevert.

## 6.2 Resultaten

### 6.2.1 Doel 'oplossen knelpunten'

De drie verdeelprincipes zijn getest met dit doel op twee verschillende knelpunten. De resultaten zijn per knelpunt weergegeven.

De verdeelprincipes zijn in dit hoofdstuk in de figuren als volgt weergegeven:

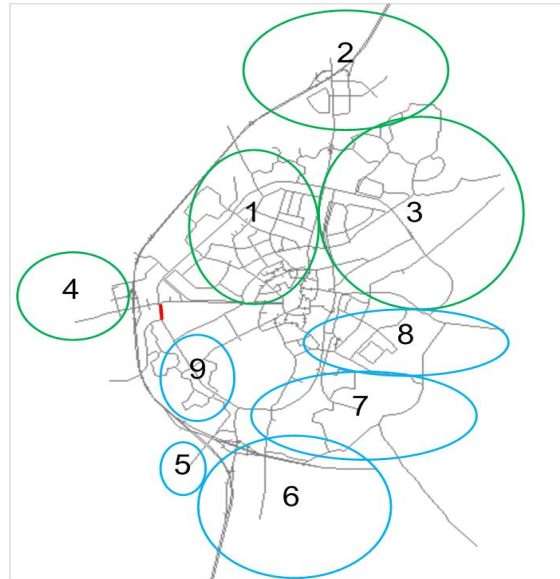
- $v_r$  = verdelen op basis van extra reistijd
- $v_p$  = verdelen op basis van prioriteit, in dit geval woon-werk verkeer
- $v_c$  = verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op routes

#### *Knelpunt 1:*

Er treedt een overschrijding van de norm op in de noord-zuid richting op de link die in het figuur hieronder rood omcirkeld is.



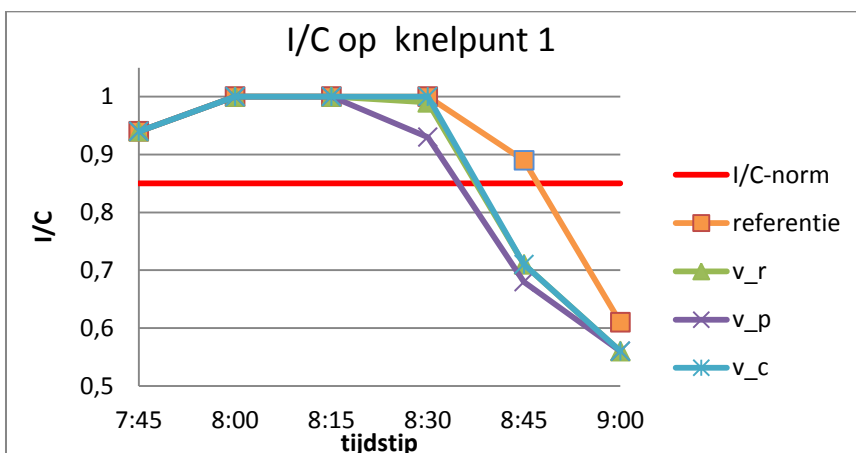
**Figuur 8, locatie knelpunt 1**



**Figuur 9, herkomst en bestemming gebieden**

In figuur 9 is een gebiedsindeling weergegeven. De groene gebieden (1 t/m 4) vormen herkomstzones, de blauwe gebieden (5 t/m 9) vormen bestemmingszones. Verkeer dat van de herkomstzones via het knelpunt naar één van de bestemmingszones rijdt kan omgeleid worden. Dit levert 20 relaties op. 8 relaties zijn qua intensiteit nul of heel erg klein, waardoor het omleiden van deze relaties niet is toegepast. Daarnaast vallen nog 4 relaties af doordat voor deze relaties geen alternatieve route beschikbaar is die voldoet aan de eis dat deze maximaal 1,4 keer de reistijd van de originele route mag hebben. Het niet beschikbaar zijn van een alternatieve route komt door het beperkte aantal wegen dat gebruikt kan worden voor het omleiden van verkeer en de hoeveelheid al aanwezige verkeer op deze routes. Uiteindelijk blijven er dus 8 relaties over die omgeleid kunnen worden. Door de beperkte hoeveelheid relaties wordt niet altijd de gewenste hoeveelheid verkeer omgeleid. Dit is het geval op de volgende tijdstippen: v\_r: tussen 8.15 - 8.45; v\_p: tussen 8.15 - 8.30; v\_c: tussen 8.30 - 8.45. Op die momenten worden alle mogelijke relaties omgeleid terwijl er eigenlijk nog meer verkeer omgeleid dient te worden om (theoretisch) weer aan de I/C-norm te voldoen.

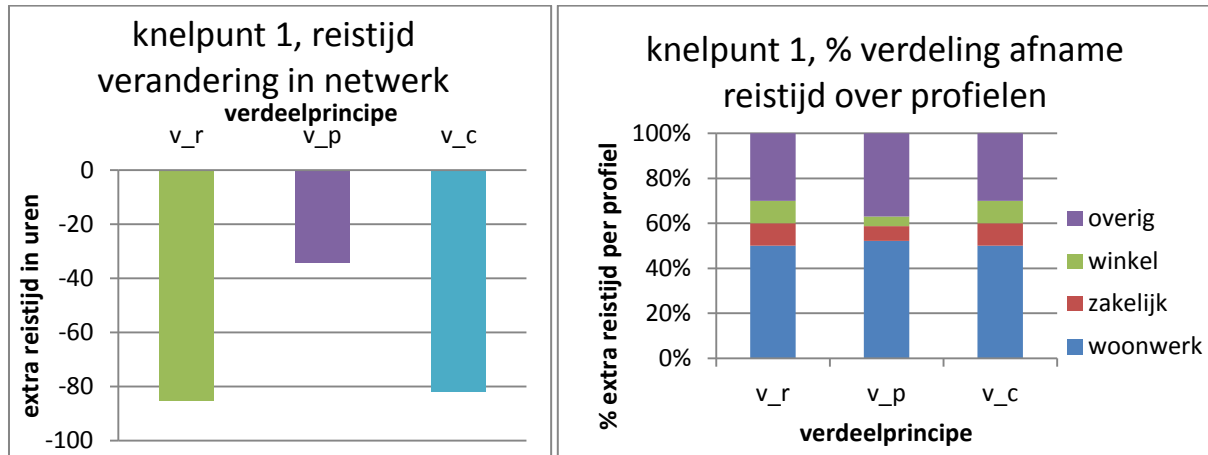
Het inzetten van de verdeelprincipes levert de volgende resultaten op:



**Figuur 10, I/C op knelpunt 1 met verdeelprincipes**

Bovenstaande grafiek geeft de I/C op de betreffende link weer in de noord-zuid richting tussen 7.45 en 9.00 uur. De rode lijn geeft de normwaarde weer (I/C van 0,85). De oranje lijn geeft de I/C-waarde weer zonder dat er ingegrepen wordt. In de referentiesituatie is vanaf 7.45 uur een te hoge I/C-waarde geconstateerd (0,94). Vanaf dat moment is verkeer omgeleid volgens de verschillende verdeelprincipes. Uit de grafiek blijkt dat de verdeelprincipes weinig verschillen en dat pas veel later verandering van de I/C optreedt. Pas drie kwartier na inzet is een duidelijke daling van de I/C-verhouding zichtbaar.

Reistijd:

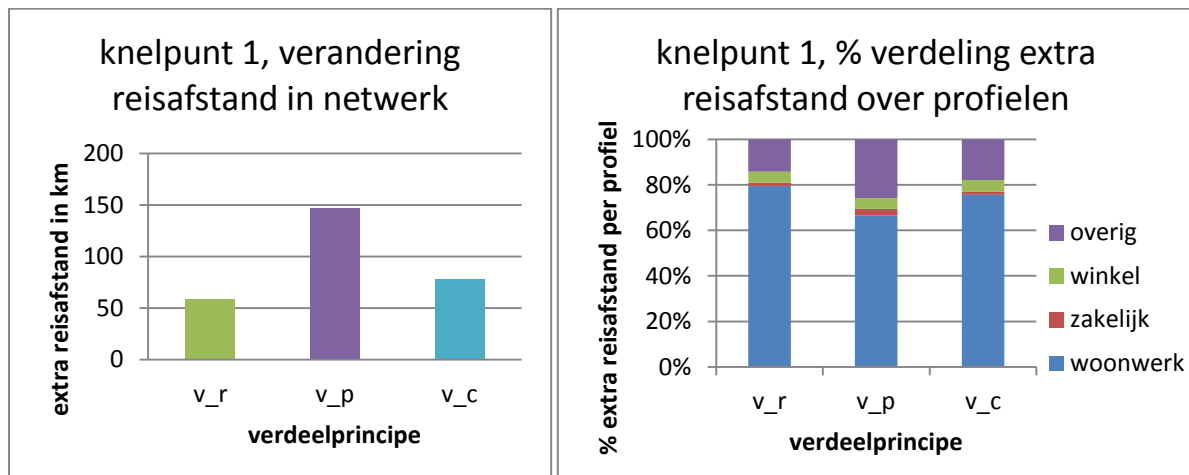


Figuur 11, reistijdverandering per verdeelprincipe

Figuur 12, verdeling extra reistijd over de profielen per verdeelprincipe

Bovenstaande grafiek laat de verandering van het aantal reistijduren in het netwerk zien per verdeelprincipe voor de gehele ochtendspits. In de referentiesituatie is het aantal reistijduren 5802. Het inzetten van de verdeelprincipes heeft gezorgd voor een daling van het aantal reistijduren met minimaal 34 uur bij het inzetten van verdelen op basis van prioriteit en maximaal 85 uren bij het verdelen op basis van extra reistijd. In de rechter grafiek is de verdeling van de afname in de reistijd over de profielen te zien. Hieruit blijkt dat er nauwelijks verschil zit tussen de verdeelprincipes in de procentuele afname van de reistijd over de profielen.

Reisafstand:



Figuur 13, extra reiskilometers per verdeelprincipe

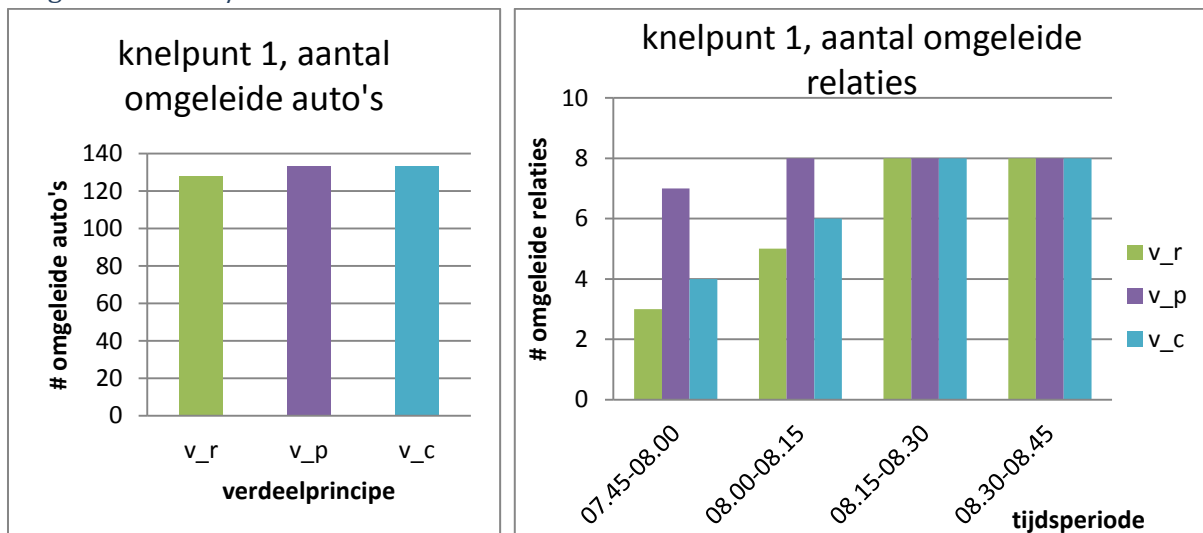
Figuur 14, verdeling extra reiskilometers over de profielen per verdeelprincipe



Figuur 13 laat de verandering zien in het totaal aantal gereisde kilometers tijdens de ochtendspits. In de referentiesituatie bedraagt dit aantal 385908 kilometers. Alle verdeelprincipes laten een stijging zien. De verdeling van deze extra kilometers over de profielen is in figuur 14 weergegeven. V\_p, waarbij het woon-werk verkeer wordt geprioriteerd, resulteert in procentueel de minste extra reiskilometers voor dit profiel. In figuur 13 is echter te zien dat de extra reisafstand bij dit verdeelprincipe veel sterker toeneemt, waardoor de keuze voor dit verdeelprincipe ook voor het woon-werkverkeer nadelig is door de extra reisafstand in het netwerk.

Opgemerkt met worden dat de toename/afname van het aantal reistijduren of reiskilometers beperkt is ten opzichte van het totaal aantal reisure/kilometers. Dit komt doordat slechts een klein deel van het verkeer wordt beïnvloed door de maatregelen, waardoor ook slechts een beperkte verandering in reistijd en reiskilometers optreedt. Bijvoorbeeld al het verkeer dat over de snelweg langs Assen rijdt wordt niet of nauwelijks beïnvloed door de maatregelen. De reistijd/reiskilometers van deze relaties veranderen dus niet of nauwelijks, maar de reistijd en kilometers worden wel meegenomen in de bepaling voor de totale netwerksituatie. Dit zorgt er voor dat de toe- of afname in reistijd en reiskilometers voor het totale netwerk relatief klein zijn.

Omgeleide auto's / relaties:



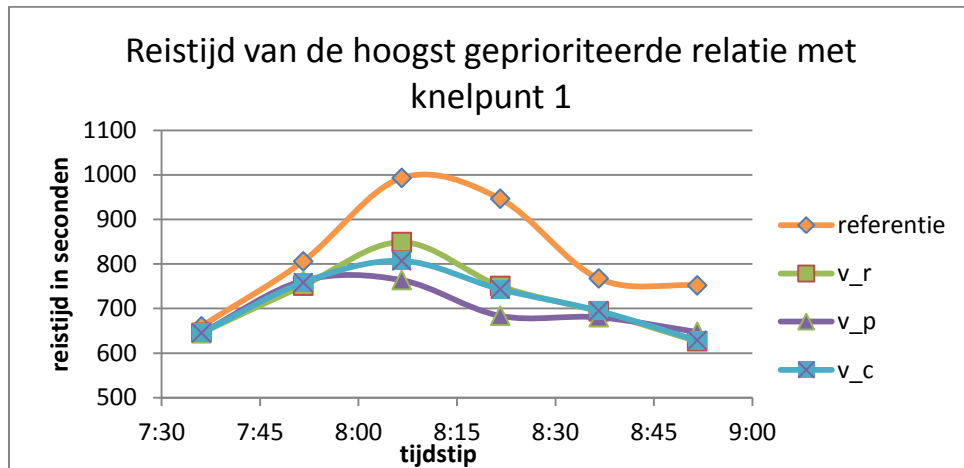
Figuur 15, aantal omgeleide auto's per verdeelprincipe    Figuur 16, aantal omgeleide relaties per verdeelprincipe

Figuur 15 laat het aantal auto's zien dat omgeleid wordt. Het betreft hier het aantal auto's dat tussen 7.45 en 8.45 is omgeleid per verdeelprincipe. Deze grafiek laat zien dat er kleine verschillen zijn tussen het totaal aantal auto's dat wordt omgeleid bij het inzetten van verdeelprincipes.

In het figuur ernaast is het aantal relaties dat is omgeleid per kwartier weergegeven voor ieder verdeelprincipe. Het maximale aantal relaties dat omgeleid kan worden is acht. Zoals eerder is aangegeven dient er bij een aantal verdeelprincipes met name tussen 8.15 en 8.45 meer verkeer omgeleid te worden dan maximaal mogelijk is. Dit zorgt er voor dat het aantal omgeleide relaties tussen deze tijdstippen gelijk is, doordat 8 het maximum is.

**Geprioriteerde relaties:**

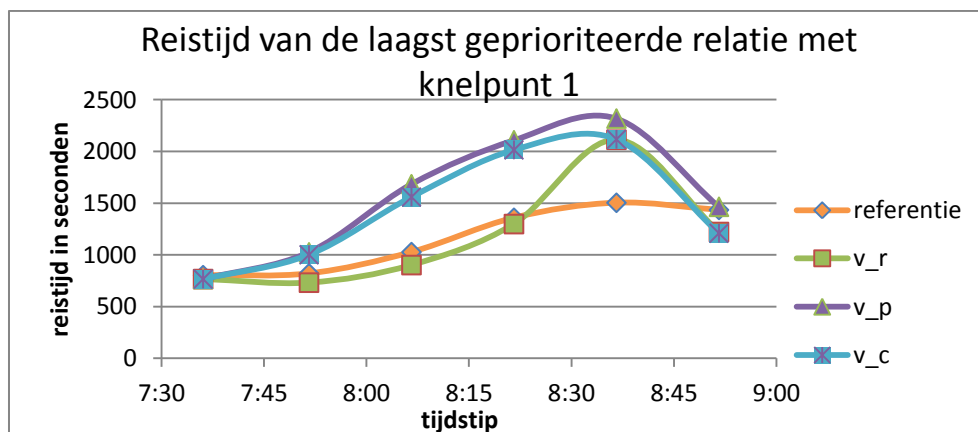
De relatie die op basis van het verdelen naar prioriteit de hoogste prioriteit krijgt is de relatie van gebied 1 naar gebied 6 in figuur 9. In de grafiek hieronder is weergegeven wat het effect op de reistijd is voor deze relatie van de verschillende verdeelprincipes. Opgemerkt moet worden dat hierbij een hoger aanpassingsgedrag is gehanteerd. Met het gemiddelde aanpassingsgedrag blijkt dat in dit geval de relatie met de hoogste prioriteit ook omgeleid moet worden bij het verdelen op basis van prioriteit. Daardoor is het niet mogelijk om het effect van dit verdeelprincipe te laten zien voor dit geval. Met het hoger aanpassingsgedrag is dat wel mogelijk. Het resultaat daarvan is hieronder weergegeven.



**Figuur 17, reistijd van de relatie van gebied 1 naar gebied 6 per verdeelprincipe**

Hieruit blijkt dat de geprioriteerde relatie bij het verdelen op basis van prioriteit daadwerkelijk een betere reistijd krijgt dan bij inzet van de andere twee verdeelprincipes. Wel geldt dat ook bij inzet van de andere twee verdeelprincipes de reistijd voor de relatie verbeterd ten opzichte van de referentiesituatie.

In onderstaand figuur is hetzelfde weergegeven voor de laagst geprioriteerde relatie. Dit is de relatie van gebied 4 naar gebied 5 uit figuur 9. Hieronder is te zien dat het omleiden van deze relatie zorgt voor een forse toename van de reistijd voor deze relatie en dat deze relatie de grootste reistijd krijgt bij het verdelen op basis van prioriteit.



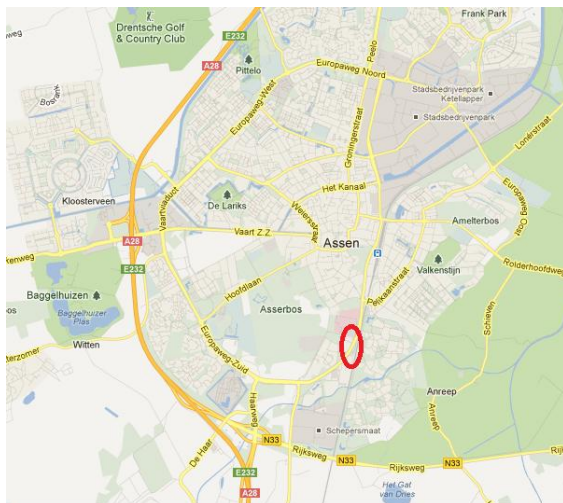
**Figuur 18, reistijd van de relatie van gebied 4 naar gebied 5 per verdeelprincipe**

### Conclusies knelpunt 1

De drie verdeelprincipes laten alle drie een verbetering zien van de I/C-verhouding, maar deze verbetering treedt bij alle drie pas drie kwartier na de start van de inzet duidelijk op. Het verschil in I/C verbetering tussen de verdeelprincipes is erg klein. Het verdelen op basis van extra reistijd levert de minste reistijd en de minste extra reisafstand op in het netwerk. Het verdelen op basis van prioriteit zorgt voor de meeste reistijd en extra reisafstand, terwijl voor het geprioriteerde profiel (woon-werkverkeer) de reistijd niet afneemt. Wel krijgt de relatie met de hoogste prioriteit de beste reistijd bij toepassing van dit verdeelprincipe. Het verdelen op basis van prioriteit zorgt ook voor de meest om te leiden weggebruikers en relaties. De overige verdeelprincipes scoren op dit gebied iets beter. Tot slot blijkt uit de toepassing dat met het gemiddeld aanpassingsgedrag niet altijd voldoende verkeer kan worden omgeleid om terug te keren naar de norm.

### Knelpunt 2:

Locatie knelpunt 2

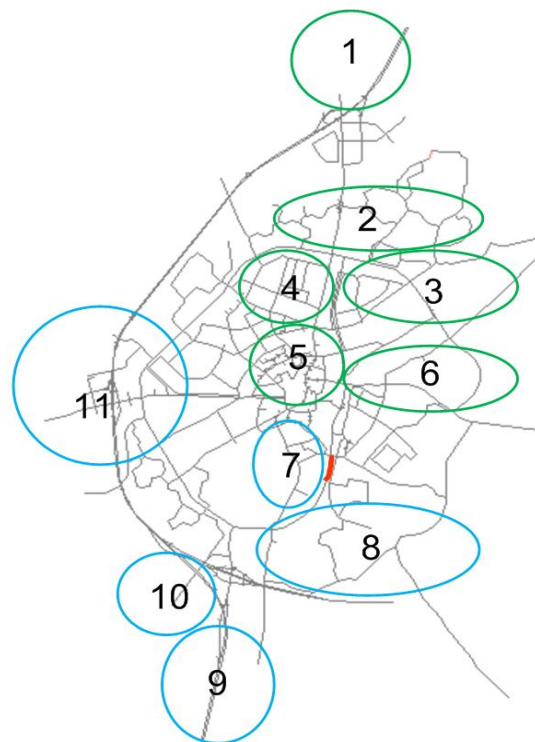


Figuur 19, locatie knelpunt 2

Knelpunt 2 bevindt zich op bovenstaande locatie en treedt op in de noord-zuid richting.

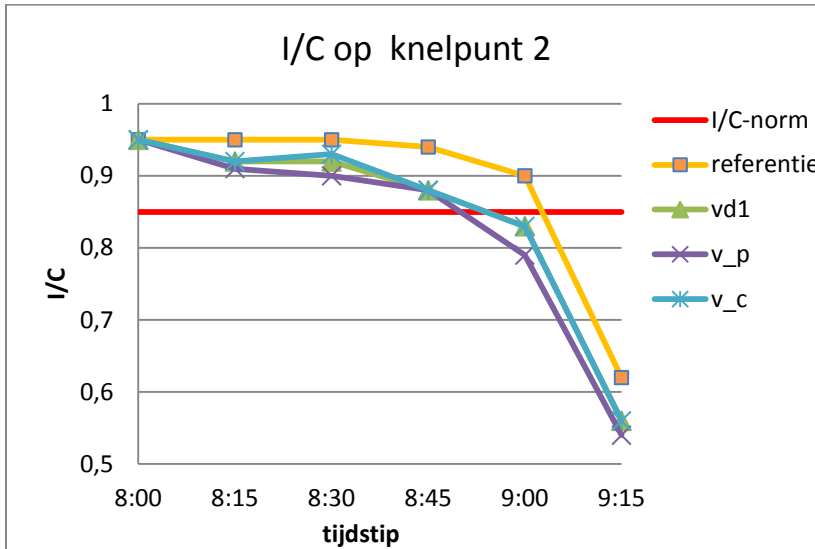
In dit geval zijn er in theorie 30 relaties aanwezig. Om dezelfde redenen als bij knelpunt 1 vallen er 19 relaties af.

Er kunnen dus 11 relaties omgeleid worden. Door technische beperkingen in het model voor het plaatsen van DRIP's is het echter slechts mogelijk om 9 relaties tegelijk om te leiden.



Figuur 20, herkomst en bestemmingsgebieden knelpunt 2

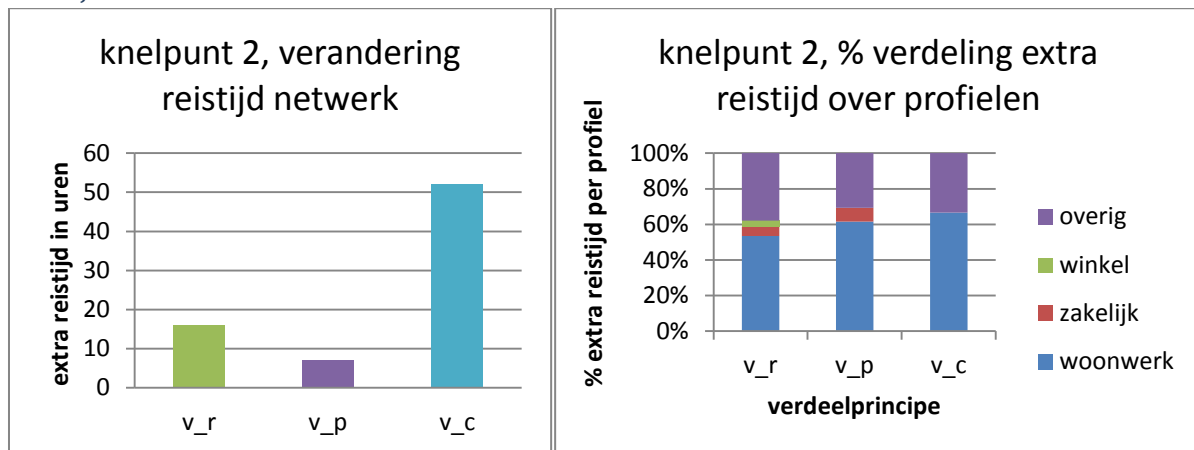
I/C-verhouding:



Figuur 21, I/C-verhouding op knelpunt 2 met en zonder verdeelprincipes

Bovenstaande grafiek geeft de I/C op het knelpunt weer in de noord-zuid richting tussen 8.00 en 9.15 uur. De rode lijn geeft de normwaarde weer. De oranje lijn geeft de I/C-waarde weer zonder dat er ingegrepen wordt. In de referentiesituatie is vanaf 8.00 uur een te hoge I/C-waarde geconstateerd (0,95). Vanaf dat moment is er verkeer omgeleid volgens de verschillende verdeelprincipes. Net als bij knelpunt 1 is ook hier zichtbaar dat er een periode (ongeveer 45 minuten) zit tussen het inzetten van de verdeelprincipes en het moment waarop de I/C tot onder de norm daalt.

Reistijd:

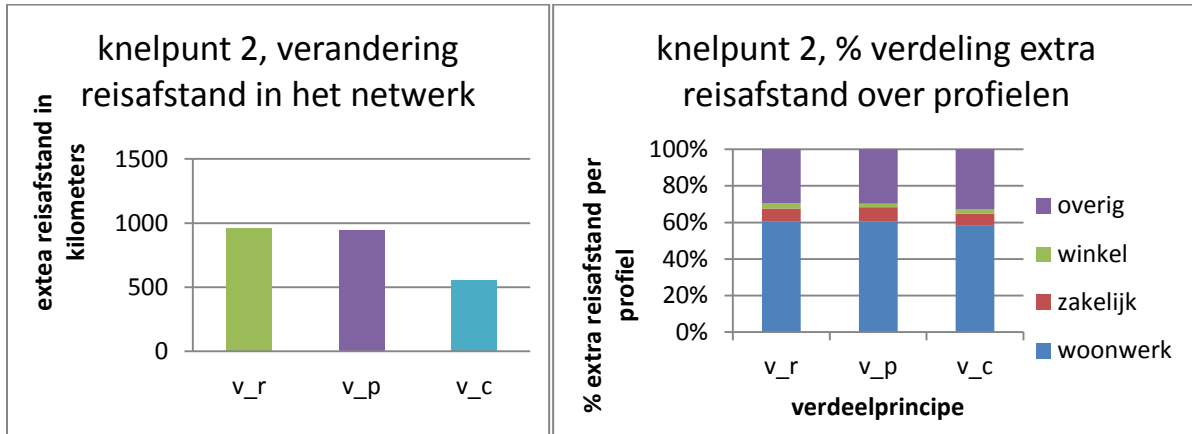


Figuur 22, extra reistijd in het netwerk

Figuur 23, verdeling extra reistijd over profielen

Bovenstaande grafiek laat de extra reistijd zijn als gevolg van het omleiden van het verkeer. In tegenstelling tot knelpunt 1 is er in dit geval sprake van een toename van de totale reistijd, ongeacht de keuze voor een verdeelprincipe. Wel is de toename bij het verdelen op basis van beschikbare capaciteit (v\_c) duidelijk groter. In figuur 23 is de verdeling van deze extra reistijd over de profielen weergegeven.

Reisafstand:



Figuur 24, extra reiskilometers per verdeelprincipe

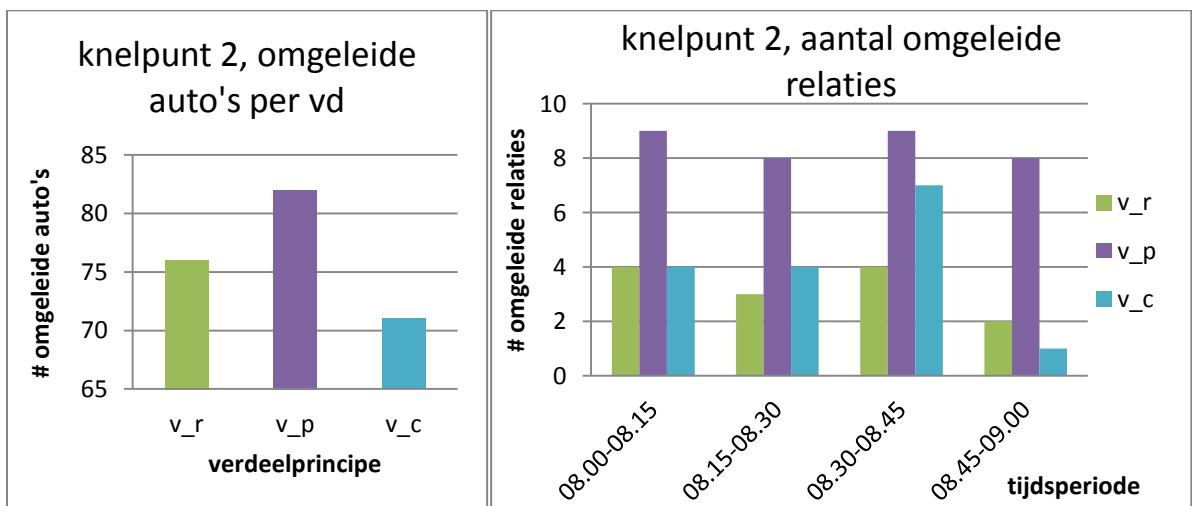
Figuur 25, verdeling van extra reiskilometers over de profielen

Figuur 24 laat de toename van het aantal reiskilometers zien ten opzichte van de referentiesituatie. In de referentiesituatie is 386136 het totaal aantal kilometers. Ondanks de grotere reistijdtoename bij v\_c is het aantal reiskilometers veel lager dan bij inzet van de andere twee verdeelprincipes. Dit komt doordat in dit netwerk bij het toepassen van v\_c relaties worden omgeleid over relatief korte routes, maar dit zijn wel routes met een relatief grote reistijd.

In de grafiek ernaast is de verdeling van de extra reiskilometers over de profielen te zien. Ook hier geldt dat de verschillen van de verdeling over de profielen heel erg klein is.

Omgeleide auto's/relaties:

Onderstaande grafieken geven het aantal auto's en relaties weer dat is omgeleid per verdeelprincipe. Daaruit blijkt dat bij het verdelen op basis van prioriteit veel meer auto's en relaties omgeleid dienen te worden.

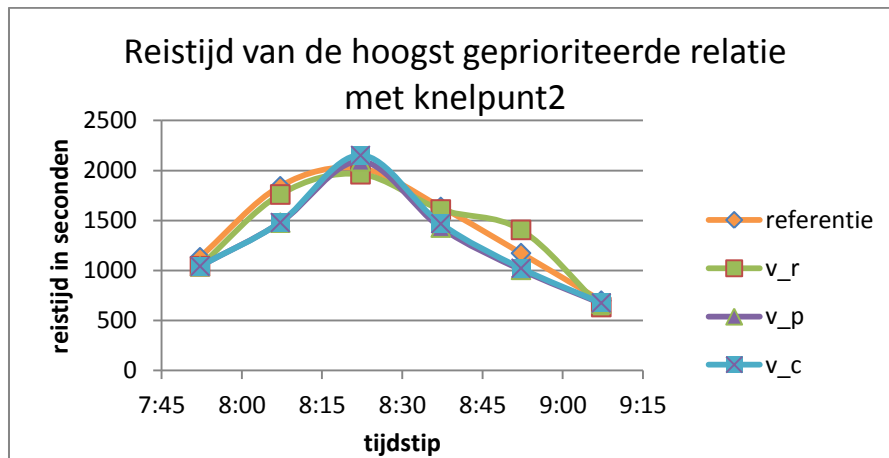


Figuur 26, aantal omgeleide auto's per verdeelprincipe

Figuur 27, aantal omgeleide relaties per verdeelprincipe per kwartier

**Geprioriteerde relaties:**

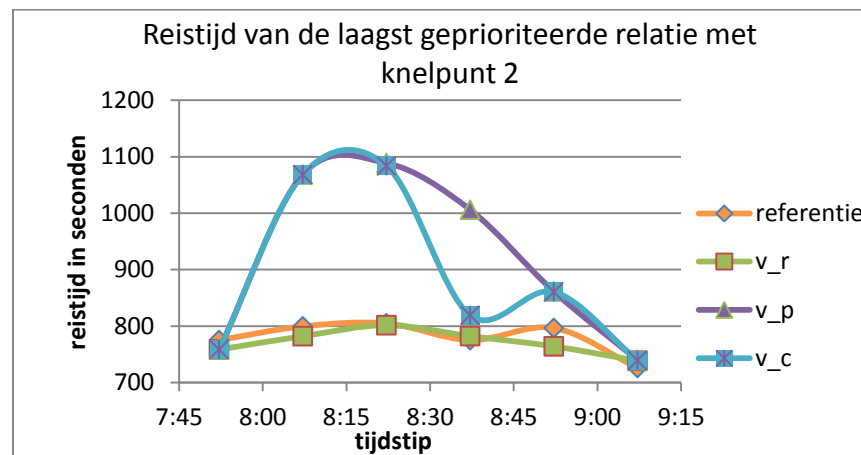
De relatie die bij het verdelen op basis van prioriteit de hoogste prioriteit krijgt is de relatie van gebied 6 naar gebied 9 in figuur 20. In de grafiek hieronder is weergegeven wat het effect op de reistijd is voor deze relatie van de verschillende verdeelprincipes.



**Figuur 28, reistijd van de relatie van gebied 1 naar gebied 6 per verdeelprincipe**

Het verschil tussen v\_p en v\_c voor deze relatie is klein, doordat bij beide verdeelprincipes deze relatie niet wordt omgeleid.

In onderstaand figuur is hetzelfde weergegeven voor de laagst geprioriteerde relatie. Dit is de relatie van gebied 3 naar gebied 10 uit figuur 20. Hieronder is te zien dat het omleiden van deze relatie, wat in dit geval plaats vindt bij het verdelen op basis van prioriteit en het verdelen op basis van capaciteit, zorgt voor een forse toename van de reistijd voor deze relatie.



**Figuur 29, reistijd van de relatie van gebied 3 naar gebied 10 per verdeelprincipe**

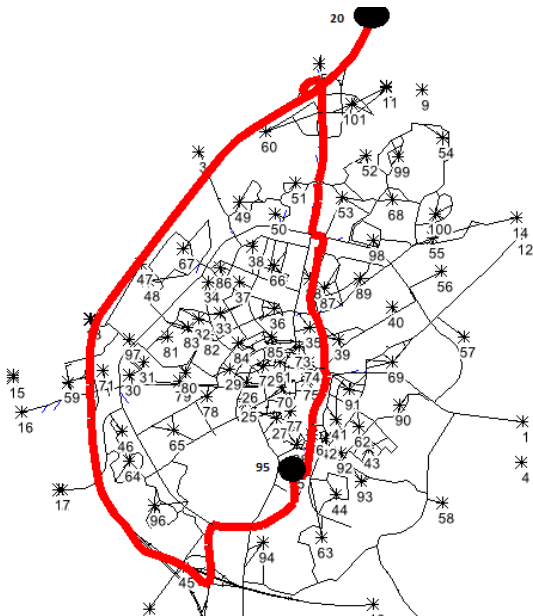
**Conclusies knelpunt 2**

De verbetering van de I/C is bij alle drie verdeelprincipes aanwezig. Met name vanaf drie kwartier na inzet treedt een duidelijke verbetering op, daarvoor is de verbetering van de I/C minimaal en te weinig om te voldoen aan de norm. In tegenstelling tot knelpunt 1 is het bij dit knelpunt wel mogelijk om (theoretisch) voldoende verkeer om te leiden met het gemiddeld aanpassingsgedrag. Het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op routes zorgt bij dit knelpunt voor de meeste reistijd in het netwerk. Wel is de reisafstand toename

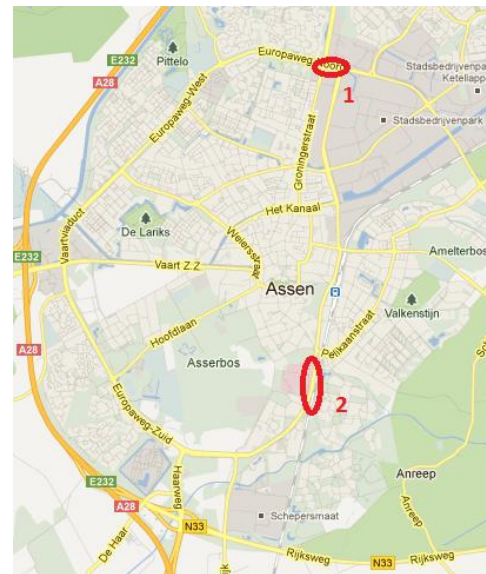
minder dan bij inzet van een ander verdeelprincipe en wordt er bij dit verdeelprincipe het kleinst aantal weggebruikers omgeleid. Het verdelen op basis van prioriteit zorgt voor de minste extra reistijd in het netwerk, maar het verschil met het verdelen op basis van reistijd is klein. Bij het verdelen op basis van prioriteit worden de meeste weggebruikers en relaties omgeleid. Voor het geprioriteerde profiel is geen verbetering van reistijd/reisafstand zichtbaar. Wel krijgt de relatie met de hoogste prioriteit de beste reistijd in vergelijking met inzet van een ander verdeelprincipe.

### 6.2.2 Doel 'verbeteren reistijden'

De verdeelprincipes zijn getest op de relatie van zone 20 naar zone 95. Deze relatie maakt gebruik van twee routes. In de afbeelding hieronder is te zien dat er een route linksom over de snelweg is en een route rechtsom door de stad.



Figuur 30, routes van relatie 20 naar 95



Figuur 31, locatie van de 2 objecten met de grootste reistijdtoename

De norm voor deze relatie is 1036 seconden. (Dit is de free-flow reistijd van de snelste route vermenigvuldigd met een beleidsnorm die de geaccepteerde reistijdtoename weergeeft, hier 1,5. Voor uitleg en bepaling van de norm wordt verwezen naar bijlage 6). Om 8.00 uur blijkt dat deze norm wordt overschreden, de gemiddelde reistijd is dan 1087 seconden. Op dat moment maakt 0,08% van deze relatie gebruik van de route linksom; 99,92% maakt gebruik van de route rechtsom. Daarom wordt ingegrepen op de route rechtsom. Op deze route is op twee locaties bekeken hoeveel verkeer omgeleid kan worden om de gewenste reistijdwinst te behalen. (meer locaties is door een beperking in tijd en mogelijkheden niet toegepast). Voor de twee objecten met de grootste toename in reistijd ten opzichte van de normsituatie is bepaald hoeveel verkeer omgeleid kan en dient te worden om terug te keren naar de gewenste reistijd.

Per object is hieronder weergegeven hoeveel verkeer is omgeleid en wat het effect op dat object is.

#### Object 1:

In de freeflow-situatie is de reistijd op deze link 10 seconden, de norm is daardoor 15 seconden. Bij een intensiteit van ongeveer 750 pae/uur wordt deze reistijd nog behaald. Doel is daarom om terug te keren naar deze intensiteit.

De intensiteit en reistijd op deze link met en zonder omleiden van verkeer is hieronder weergegeven.

omleiden	tijdperiode	7.45- 8.00	8.00- 8.15	8.15- 8.30	8.30- 8.45	8.45- 9.00
<b>zonder</b>	reistijd (sec)	39	56	74	46	17
<b>met</b>	reistijd (sec)	39	41	39	26	17
<b>zonder</b>	intensiteit (pae)	1334	1352	1373	1302	943
<b>met</b>	intensiteit (pae)	1334	1270	1260	1133	949

Tabel 3, reistijd en intensiteit op object 1 zonder en met het omleiden van verkeer

Op  $t = 8.00$  is de waargenomen intensiteit 1334. Dit betekent dat er ongeveer 580 auto's omgeleid moeten worden om terug te keren naar de gewenste intensiteit. Dit is meer dan maximaal omgeleid kan worden. Daarom is zoveel mogelijk verkeer omgeleid, weergegeven in onderstaande tabel.

	8.00-8.15	8.15-8.30	8.30-8.45
<b>intensiteit</b>	35	31	23
<b>uur intensiteit</b>	140	124	92

Tabel 4, omgeleide hoeveelheid auto's op object 1 per kwartier

Het omleiden van verkeer op alleen object 1 levert onvoldoende reistijdwinst op. Daarom wordt ook op object 2, waar de op 1 na grootste overschrijding van de norm optreedt, verkeer omgeleid.

### Object 2:

In de norm situatie bedraagt de reistijd op dit object 16 seconden. Bij een intensiteit van ongeveer 500 pae/uur wordt deze reistijd nog behaald. Het doel is dus om de intensiteit te verlagen naar 500 of minder. Ook hier geldt dat deze waarde niet bereikt wordt, doordat er niet genoeg verkeer omgeleid kan worden.

	reistijdperiode	7.45- 8.00	8.00- 8.15	8.15- 8.30	8.30- 8.45	8.45- 9.00
<b>geheel zonder omleiden</b>	reistijd (sec)	31	41	44	33	18
<b>met omleiden object 1</b>	reistijd (sec)	31	37	35	60	19
<b>met omleiden object 1 en 2</b>	reistijd (sec)	31	30	28	49	18
<b>geheel zonder omleiden</b>	intensiteit	826	888	906	829	590
<b>met omleiden object 1</b>	intensiteit	826	864	854	752	609
<b>met omleiden object 1 en 2</b>	intensiteit	826	820	807	703	592

Tabel 5, reistijd en intensiteit op object 2 zonder en met het omleiden van verkeer

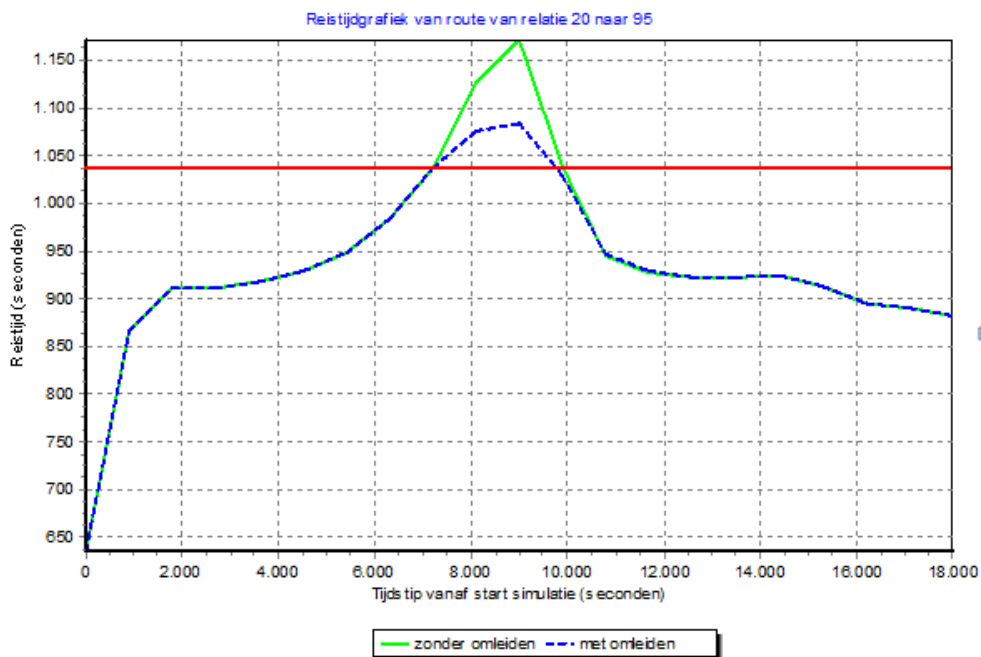
In de tabel hieronder is weergegeven hoeveel verkeer per kwartier is omgeleid.

	8.00-8.15	8.15-8.30	8.30-8.45
<b>intensiteit</b>	16	15	11
<b>uur intensiteit</b>	64	60	44

Tabel 6 omgeleide hoeveelheid auto's op object 2 per kwartier



In de tabellen 3 en 5 is alleen de reistijdwinst op die twee objecten weergegeven. Het omleiden van verkeer op die objecten zorgt ook voor verandering in de reistijd op de andere objecten. De totale reistijd op deze route voor de gehele ochtendspits is hieronder weergegeven.



Figuur 12, reistijd op de rechter route van relatie 20 naar 95 gedurende de ochtendspits, met en zonder omleiden van verkeer

In bovenstaand figuur is te zien dat het omleiden van het verkeer wel heeft gezorgd voor een kleinere overschrijding van de norm, maar de norm wordt nog steeds gedurende drie kwartier overschreden (tussen 7200 en 9900 seconden, of te wel tussen 08.00 en 8.45 uur).

### Conclusie

Zoals beschreven wordt op beide objecten al het verkeer omgeleid dat omgeleid kan worden. Dit betekent dat een volgorde bepaling op basis waarvan relaties aan het object worden toegekend niet mogelijk is. Omdat voor alle relaties slechts één alternatieve omleidingsroute beschikbaar is, is het verdelen naar ruimte op alternatieve routes ook niet mogelijk. Daarom is het inzetten van de verdeelprincipes voor dit doel in deze situatie niet mogelijk gebleken. Dit betekent dat wel relaties omgeleid worden, maar toedeling op basis van een volgorde is niet mogelijk en er wordt minder verkeer omgeleid dan noodzakelijk is. Uit het resultaat blijkt ook dat het omleiden wel verbetering op levert van de reistijd van de relatie, maar doordat er niet genoeg verkeer omgeleid kan worden is deze verbetering te klein om te voldoen aan de reistijdnorm.

### 6.2.3 aanpassingsgedrag

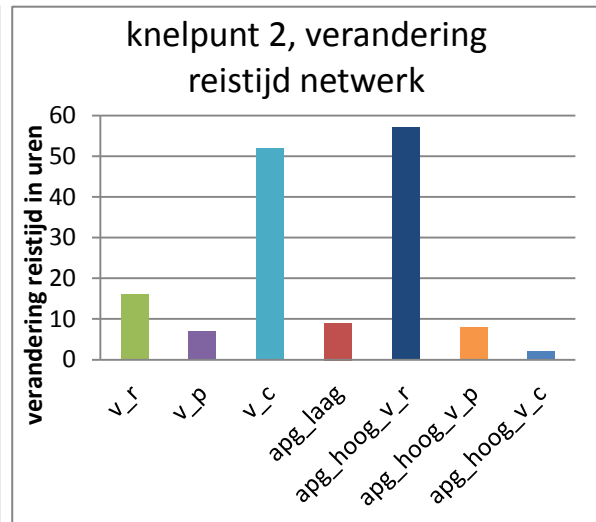
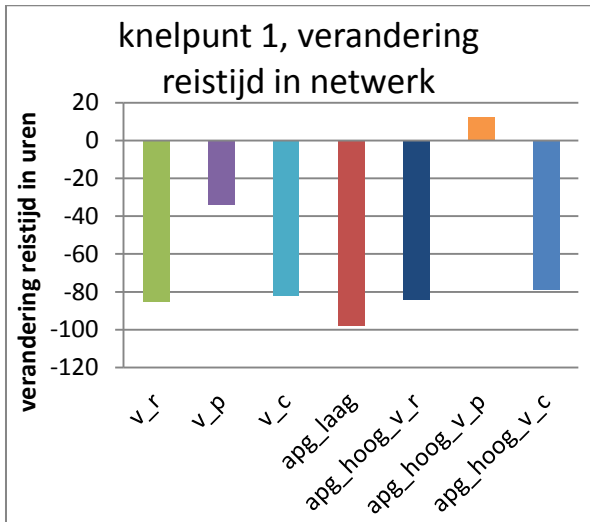
Het variëren van het aanpassingsgedrag is toegepast in knelpunt 1 en 2. In de vorige paragrafen is gewerkt met een gemiddeld aanpassingsgedrag. In deze paragraaf worden die resultaten vergeleken met de uitkomsten met een hoog of laag aanpassingsgedrag.

De situatie waarbij het aanpassingsgedrag laag is, is niet met een specifiek verdeelprincipe getest, omdat vanaf begin tot het eind van het optreden van een knelpunt minder dan de minimaal benodigde hoeveelheid verkeer omgeleid kan worden. Dit maakt dat het effect van het inzetten van

ieder verdeelprincipe hetzelfde is, doordat er geen bepaling mogelijk is welke relatie wel of niet omgeleid wordt. Ook inzet van verdeelprincipes op basis van toedeling van relaties aan alternatieve routes is niet mogelijk, doordat voor iedere relatie slechts één alternatieve route beschikbaar is in dit netwerk.

In de volgende grafieken is naast de drie verdeelprincipes het resultaat met een laag aanpassingsgedrag (apg\_laag) te zien, dat voor alle verdeelprincipes gelijk is. Voor het hogere aanpassingsgedrag (apg\_hoog) is voor ieder verdeelprincipe apart het resultaat weergegeven.

Reistijd:

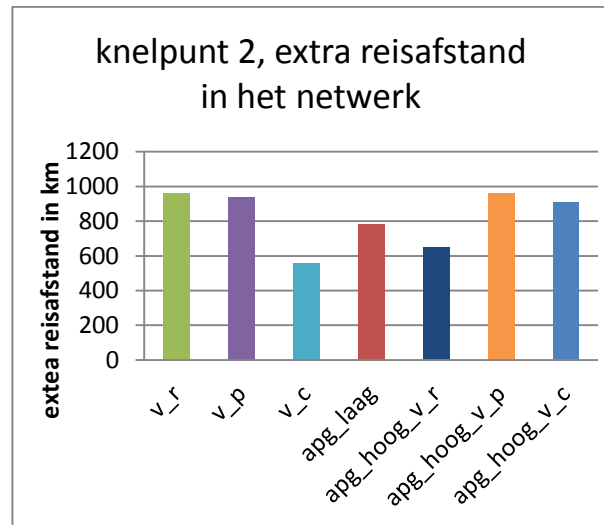
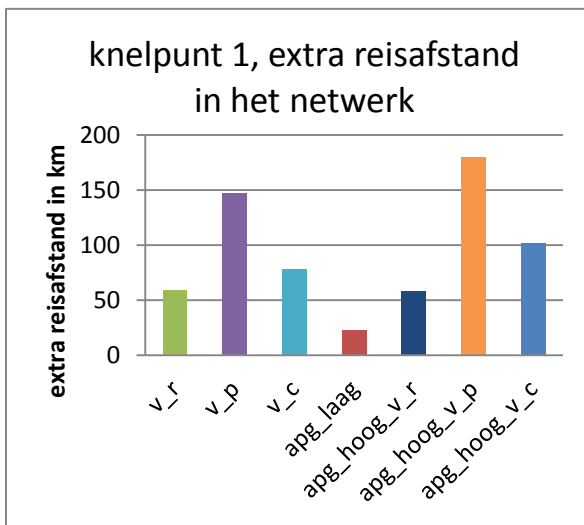


Figuur 33, per verdeelprincipe de extra reistijd in het netwerk met knelpunt 1 en variabel aanpassingsgedrag

Figuur 34, per verdeelprincipe de extra reistijd in het met netwerk met knelpunt 2 en variabel aanpassingsgedrag

Knelpunt 1 laat zien dat bij een hoger aanpassingsgedrag de totale reistijd in het netwerk minder afneemt en bij het verdelen op basis van prioriteit zelfs toeneemt. Knelpunt 2 laat bij verdeelprincipes v\_r en v\_p ook een stijging zien. Bij het verdelen op basis van beschikbare capaciteit (v\_c) daalt de extra reistijd in het netwerk juist bij een hoger aanpassingsgedrag.

Reisafstand:

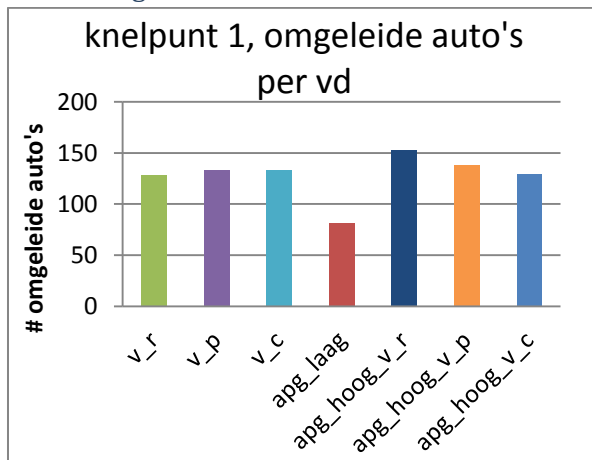


Figuur 35, extra reisafstand in het netwerk met knelpunt 1 en gevarieerd aanpassingsgedrag

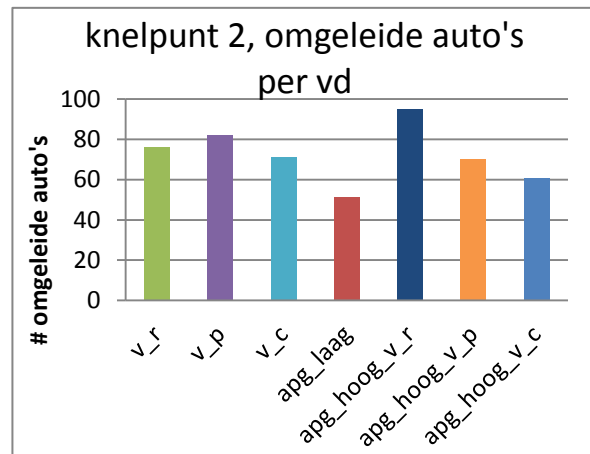
Figuur 36, extra reisafstand in het netwerk met knelpunt 2 en gevarieerd aanpassingsgedrag

De verschillen in reisafstand tussen het gemiddelde en het hoge aanpassingsgedrag zijn klein bij beide knelpunten. Wel is over het algemeen de totale reisafstand bij het hoger aanpassingsgedrag wat hoger.

Aantal omgeleide auto's:



Figuur 37, aantal omgeleide auto's per verdeelprincipe met gevarieerd aanpassingsgedrag en knelpunt 1



Figuur 38, aantal omgeleide auto's per verdeelprincipe met gevarieerd aanpassingsgedrag en knelpunt 2

Bij het verdelen op basis van de extra reistijd voor relaties wordt bij beide knelpunten meer verkeer omgeleid bij het hogere aanpassingsgedrag. Bij de overige verdeelprincipes zijn er geen duidelijke verschillen.

De resultaten van de I/C-verhoudingen van ieder verdeelprincipe met laag, gemiddeld en hoog aanpassingsgedrag en de knelpunten 1 en 2 zijn weergegeven in bijlage 7.

### Conclusie

Uit de grafieken blijkt dat de verschillen klein zijn. Bij alle drie verdeelprincipes geldt dat bij het lage percentage aanpassingsgedrag de I/C-verhouding het minst afneemt, doordat er onvoldoende verkeer omgeleid wordt bij dit lage aanpassingspercentage. Het hogere aanpassingsgedrag laat nagenoeg dezelfde I/C resultaten zien als de situatie met gemiddeld aanpassingsgedrag. Wel veranderen de netwerkeffecten. Bij het verdelen op basis van prioriteit en het verdelen op basis van extra reistijd is het aantal voertuigen dat omgeleid wordt groter dan bij het gemiddeld aanpassingsgedrag. Door de toegenomen grootte van het deel van een relatie dat omgeleid kan worden, wordt er met een hoog aanpassingspercentage vaak meer verkeer omgeleid dan nodig, wat resulteert in extra reistijd in het netwerk en extra reisafstand. Met name wanneer relaties met een grote intensiteit worden omgeleid resulteert dit in veel meer omgeleide auto's. Het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op routes laat bij beide knelpunten met het hoge aanpassingsgedrag dan ook het minst aantal om te leiden weggebruikers zien. Bij knelpunt 2 levert dit verdeelprincipe ook de minste reistijd op in het netwerk, in tegenstelling tot de situatie met het gemiddelde aanpassingsgedrag waar dit verdeelprincipe juist de meeste extra reistijd opleverde. Het verdeelprincipe levert bij knelpunt 1 net iets meer reistijd op dan het verdelen op basis van de extra reistijd. Dit was ook het geval bij het gemiddeld aanpassingsgedrag.

## 7. Conclusies & Aanbevelingen

Op basis van de resultaten uit de vorige hoofdstukken worden in paragraaf 7.1 conclusies beschreven. In paragraaf 7.2 volgen aanbeveling voor nader onderzoek.

### 7.1 Conclusies

Uit het onderzoek naar de mogelijkheden voor het herverdelen van verkeer met ROTM door het inzetten van informatiemaatregelen zijn drie verdeelprincipes naar voren gekomen. Dit zijn onderstaande verdeelprincipes:

- Verdeling van de relaties over routes vindt plaats op basis van prioriteit van relaties of van de prioriteit van gebruikersprofielen in relaties.
- Verdeling van de relaties over routes vindt plaats op basis van de intensiteit van relaties en de beschikbare capaciteit op de knelpuntroute.
- Verdeling van de relaties over routes vindt plaats op basis van de extra reistijd die relaties krijgen als gevolg van het gebruik van een alternatieve route.

Op basis van de resultaten van het testen van deze verdeelprincipes in het verkeersmodel voor de doelen 'oplossen van knelpunten' en 'het verbeteren van reistijden' kunnen de onderstaande conclusies getrokken worden. Opgemerkt moet worden dat slechts is getest in één netwerk waarin slechts enkele situaties zijn gesimuleerd. Dit betekent voor het trekken van conclusies dat de resultaten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd dienen te worden.

#### Doel 'oplossen van knelpunten'

Uit de resultaten blijkt dat alle drie verdeelprincipes een verbetering van de verkeerssituatie opleveren, doordat de overschrijding van de norm wordt teruggedrongen. Wel blijkt dat de verbetering veel kleiner is dan gewenst, omdat de I/C- verhouding niet daalt tot onder de norm en er pas drie kwartier na inzet een duidelijke daling van de I/C optreedt. Een oorzaak van het vertraagde effect is dat verkeer dat reeds het keuzepunt gepasseerd is niet meer omgeleid wordt. De afstand tussen het keuzepunt en het knelpunt heeft daardoor invloed op het resultaat. Daarnaast komt verkeer van niet omgeleide relaties eerder aan op de knelpuntlocatie door de gecreëerde ruimte op wegen rond het knelpunt. Het effect van het omleiden van het verkeer wordt daardoor deels te niet gedaan. Ook wordt niet altijd genoeg verkeer omgeleid om terug te keren naar de norm doordat het gemiddelde aanpassingsgedrag daarvoor te laag is en doordat de normoverschrijding in de testsituaties gelijk fors is. Doordat met de gekozen operationalisatie pas wordt ingegrepen wanneer het probleem optreedt, moet direct veel verkeer worden omgeleid terwijl het geringe aanpassingsgedrag dit soms onmogelijk maakt.

De verschillen tussen verdeelprincipes in het effect op de I/C-verhouding op de knelpunten is erg klein. Het verdelen op basis van prioriteit en op basis van extra reistijd scoren vaak net iets beter doordat bij deze verdeelprincipes vaak meer verkeer wordt omgeleid dan bij het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op routes.

#### Doel 'verbeteren van reistijden'

Uit de resultaten volgt dat het inzetten van de verdeelprincipes voor dit doel niet mogelijk is. Dit komt doordat er niet genoeg verkeer van het object kan worden omgeleid, waardoor al het verkeer dat omgeleid kan worden omgeleid dient te worden. Omdat tevens in deze situatie voor alle relaties slechts één alternatieve route beschikbaar is, is ook een volgorde bepaling voor het toedelen van

relaties aan alternatieve routes niet mogelijk. Hierdoor kunnen de verdeelprincipes niet toegepast worden. Wel wordt verkeer herverdeeld, maar toedeling van relaties aan routes op basis van een volgorde is dus niet mogelijk en er wordt minder verkeer omgeleid dan noodzakelijk is om terug te keren naar de reistijdnorm voor de relatie. Ook hier moet in gedachten gehouden worden dat dit doel is getest in één specifieke situatie, maar aangezien de normoverschrijding van de geteste relatie beperkt was (in hoogte van overschrijding, in vergelijking met vele relaties die ook een overschrijding kennen maar niet deel uitmaakten van de set van relaties die voor het testen van dit doel gebruikt is), is het waarschijnlijk dat het inzetten van de verdeelprincipes vaak niet mogelijk is. Een oorzaak hiervan is het geringe aanpassingsgedrag, waardoor te weinig verkeer kan worden omgeleid. Een andere oorzaak is de operationalisatie. Ook hier geldt dat pas is ingegrepen wanneer de overschrijding van de norm daadwerkelijk optreedt. Bovendien wordt getracht zoveel mogelijk reistijdwinst te behalen op één object alvorens naar een volgend object wordt gekeken op de route. Doordat de tijds winst die behaald moet worden op het object bij overschrijding van de norm direct erg hoog is, blijkt het niet mogelijk voldoende verkeer om te leiden. Daarnaast blijkt dat het moeilijk is om te bepalen hoeveel verkeer omgeleid dient te worden, doordat het omleiden van verkeer op een object om de gewenste reistijdwinst te behalen ook effect heeft op de reistijd op vele andere objecten op de route. Dit zorgt er voor dat vele simulaties nodig zijn om de juiste hoeveelheid om te leiden hoeveelheid verkeer vast te stellen.

#### Verschillen tussen verdeelprincipes

Het gaat hier om de verschillen tussen de verdeelprincipes die optreden bij het toepassen van de verdeelprincipes voor het doel 'oplossen van een knelpunt' met het gemiddeld aanpassingsgedrag.

Het verdelen op basis van prioriteit levert voor de weggebruikers die deel uitmaken van de relaties die de hoogste prioriteit krijgen de kortste reistijd op in vergelijking met inzet van de overige verdeelprincipes en de referentiesituatie. Daar tegenover staat natuurlijk dat de laagst geprioriteerde relaties bij dit verdeelprincipe de slechtste reistijd krijgen. Daarnaast is er voor het profiel waaraan de hoogste prioriteit is toegekend geen verbetering zichtbaar in vergelijking met de inzet van een ander verdeelprincipe. Dit komt doordat alleen gehele relaties aangestuurd worden, niet de profielen afzonderlijk in een relatie. Doordat de samenstelling van de profielen in de relaties maar weinig verschilt in dit netwerk, levert het omleiden van relaties op basis van profielsamenstelling nauwelijks of geen verbetering op voor het geprioriteerde profiel.

Het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit op routes zorgt er meestal voor dat de minste weggebruikers omgeleid hoeven te worden. Echter blijkt uit de resultaten dat dit niet altijd het geval is. Dit komt doordat in eerste instantie minder verkeer wordt omgeleid in vergelijking met de andere verdeelprincipes, door het kiezen van die combinatie van relaties die het best past bij de beschikbare capaciteit. Het gevolg is dat de I/C-verhouding minder omlaag gaat in vergelijking met de andere verdeelprincipes. Wanneer 15 minuten later weer overschrijding van de norm optreedt, is deze bij dit verdeelprincipe hoger waardoor het mogelijk is dat uiteindelijk meer verkeer moet worden omgeleid.

Het verdelen op basis van de extra reistijd levert meestal het beste netwerkresultaat op wanneer gekeken wordt naar de totale reistijd in het netwerk. Echter, in situaties waarbij door dit verdeelprincipe relaties worden omgeleid met een grote intensiteit, komt het voor dat hierdoor veel meer verkeer wordt omgeleid dan nodig is voor het oplossen van het knelpunt. In dat geval neemt de

totale reistijd in het netwerk meer toe dan bij toepassing van een ander verdeelprincipe, waardoor een slechter netwerkresultaat ontstaat.

Uit deze conclusies blijkt dat voor een keuze van een verdeelprincipe in de praktijk niet alleen het beleidsdoel van het verdeelprincipe (prioriteit geven aan bepaalde relaties, totale reistijd minimaliseren of het aantal weggebruikers minimaliseren dat een langere reistijd krijgt) van belang is. Ook specifieke netwerkomstandigheden, zoals de intensiteit van relaties in het netwerk, zijn van belang. Daarom dient bij het kiezen van een verdeelprincipe de intensiteit van de om te leiden relaties in ogenschouw genomen te worden. Wanneer relaties met een grote intensiteit aanwezig zijn, kan het verdelen op basis van de intensiteit in combinatie met de beschikbare capaciteit op het knelpunt een beter netwerkresultaat opleveren. Dit blijkt uit het eerder beschreven voorbeeld waarbij het verdelen op basis van de extra reistijd niet altijd de minste extra reistijd in het netwerk oplevert in vergelijking met de andere verdeelprincipes. Een ander verdeelprincipe kan dus door de specifieke netwerksituatie een beter resultaat opleveren voor een beleidsdoel dan het verdeelprincipe dat in theorie het beste aansluit op dit beleidsdoel.

#### Invloed van de hoogte van het aanpassingsgedrag op de werking van verdeelprincipes

Uit de toepassing in het model volgt dat bij het optreden van het lage aanpassingsgedrag het inzetten van verdeelprincipes niet mogelijk is. Dit komt doordat meer verkeer omgeleid moet worden dan dat met dit aanpassingsgedrag mogelijk is, waardoor sowieso alle relaties omgeleid moeten worden. Dit betekent dat een volgorde bepaling voor toedeling van relaties aan het knelpunt niet relevant is. Omdat in dit netwerk voor alle relaties slechts één alternatieve route beschikbaar is, is ook een volgorde bepaling voor de alternatieve routes niet mogelijk. Dit zorgt er voor dat toepassing van de verdeelprincipes in deze situatie niet mogelijk is.

De resultaten van de tests met het hoge aanpassingsgedrag laten zien dat het effect op de I/C-verhouding op een knelpunt in vergelijking met het gemiddelde aanpassingsgedrag nagenoeg hetzelfde is. De effecten voor weggebruikers en het netwerk veranderen wel, doordat er minder verschillende relaties worden omgeleid. Dit komt doordat een groter deel van de weggebruikers in een relatie de routekeuze aanpast. Dat zorgt ervoor dat het verdelen op basis van de intensiteit van relaties in combinatie met de beschikbare capaciteit met het hoger aanpassingsgedrag vaak betere netwerkresultaten laat zien in vergelijking met de andere twee verdeelprincipes. Doordat een groter deel van een relatie de routekeuze aanpast wordt met de andere verdeelprincipes vaak (veel) meer verkeer omgeleid dan nodig is, waardoor de totale reistijd en reisafstand in het netwerk toenemen.

#### Invloed van netwerkomstandigheden

Uit de toepassing in het model blijkt dat het aantal beschikbare omleidingsroutes een belangrijke beperking vormt voor het toepassen van de verdeelprincipes. Veel routes vallen af doordat ze niet geschikt zijn op basis van de karakteristieken van de wegen, de extra reistijd te groot is of doordat er geen capaciteit beschikbaar is. Voor veel relaties blijft daardoor maar één omleidingsroute over en voor enkele zelfs geen. Dit beperkt de mogelijkheden voor het verdelen van verkeer in grote mate. Het gevolg is dat het in volgorde toedelen van relaties aan alternatieve routes, zoals in de theorie in hoofdstuk 3 is aangegeven, hier niet mogelijk is gebleken. Enkel het in volgorde toedelen van relaties aan de knelpuntroute is mogelijk gebleken. Dit betekent dat bij een volledige stremming in een vergelijkbaar netwerk de verdeelprincipes niet of nauwelijks gebruikt kunnen worden.

### Verkeersmodel

Het onderzoek heeft laten zien dat het met Streamline mogelijk is de werking van verdeelprincipes te testen. Wel kent het model een aantal beperkingen. Door het plaatsen van DRIP's in het netwerk wordt een vooraf bepaald percentage van relaties omgeleid. Dit omleiden vindt plaats over vaste routes, waarbij weggebruikers de gehele route blijven volgen. De weggebruiker kiest dus maar één keer en blijft vervolgens 'netjes' de omleidingsroute volgen. In de praktijk is het goed mogelijk dat de weggebruiker na het eerste keuzepunt bij een volgend kruispunt opnieuw een beslissing neemt voor de te volgen route en dus niet de gewenste omleidingsroute blijft volgen. Dit zorgt mogelijk voor andere effecten op het knelpunt en het netwerk. Daarnaast is door het gebruik van DRIP's sprake van vaste keuzepunten in het netwerk. De mogelijkheid voor het modelleren van het gebruik van dynamische navigatiesystemen is daardoor beperkt. In dit onderzoek is daarom aangenomen dat de gebruiker van een dynamisch navigatiesysteem op hetzelfde punt als de locatie van de DRIP geïnformeerd wordt en daardoor dezelfde omleidingsroutes heeft. In de praktijk is er voor een dynamisch navigatiesysteem geen vast keuzepunt, waardoor er meer mogelijkheden zijn voor het omleiden van deze weggebruikers. Dit is in het huidige model niet te implementeren.

Een andere beperking is de hoeveelheid handmatige berekeningen die nodig zijn met dit model om de verdeelprincipes te testen. Dit heeft veel tijd gekost waardoor de verdeelprincipes slechts in een zeer beperkt aantal situaties zijn getest. Voor het inzetten in de praktijk is dit niet mogelijk, doordat dit te veel tijd kost. Daarom zullen meer stappen geautomatiseerd moeten worden. Het verkeersmodel biedt hier wel mogelijkheden voor, doordat de benodigde data wel wordt gegeneerd. Het ontwikkelen van tools die gebruik maken van deze data is nodig om de effecten van het herverdelen van verkeer sneller te kunnen simuleren.

## 7.2 Aanbevelingen

Aan de hand van de hoofdvraag en de deelvragen is bekeken op welke punten nader onderzoek gewenst is.

**Hoofdvraag: Welke invloed hebben verschillende verkeers verdeelprincipes met ROTM op het verkeersnetwerk en de verkeerssituatie voor weggebruikers?**

Het onderzoek heeft laten zien welke veranderingen in reistijd en reisafstand optreden voor weggebruikers in het verkeersnetwerk, en welke verbetering van de verkeerssituatie op het knelpunt mogelijk is door het inzetten van de verdeelprincipes. Uit de conclusies volgt dat de invloed van verdeelprincipes afhankelijk is van het netwerk, door de invloed van de intensiteit van relaties en de beschikbaarheid van routes. Omdat in dit onderzoek slechts in één netwerk is getest, wordt aanbevolen om deze verdeelprincipes ook in andere netwerken te testen, zodat meer kennis beschikbaar komt over de invloed van de netwerksituatie op de werking van de verdeelprincipes.

**Deelvraag: Welke verdeelprincipes zijn er mogelijk en wat zijn de effecten?**

In dit onderzoek is van drie verdeelprincipes bepaald wat de invloed is op de verkeerssituatie voor weggebruikers en het verkeersnetwerk. Het betreft hier verdeelprincipes die worden ingezet met behulp van DRIP's en dynamisch navigatiesystemen. Tijdens het onderzoek is gebleken dat het model beperkingen heeft voor het modelleren van de werking van dynamische navigatiesystemen. Daarom is in dit onderzoek gebruik gemaakt van vaste keuzepunten voor de dynamische navigatiesystemen. Dit zijn de locaties waar DRIP's zijn geplaatst. In de praktijk zijn er voor dynamische navigatiesystemen geen vaste keuzepunten nodig. Dit heeft als voordeel dat relaties op veel meer

locaties omgeleid kunnen worden, waardoor het mogelijk wordt meer verschillende relaties om te leiden en komen er meer routes beschikbaar voor het omleiden van relaties. Dit vergroot de mogelijkheden voor het inzetten van de verdeelprincipes. Ook omdat uit het literatuuronderzoek volgt dat de verwachting is dat het gebruik van dynamische navigatiesystemen toe gaat nemen, is het aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de effecten voor weggebruikers en het verkeersnetwerk wanneer verkeer via dynamische navigatiesystemen aangestuurd kan worden zonder het gebruik van vaste keuzepunten.

**Deelvraag: Wat is het aanpassingsgedrag van verschillende gebruikersprofielen en hoe beïnvloedt dit de werking van de verdeelprincipes?**

Uit het onderzoek volgt dat er veel onzekerheid is over de hoogte van het aanpassingsgedrag en dat de hoogte van het aanpassingsgedrag grote invloed heeft op het effect van het verdelen van verkeer. Bij het optreden van het lage aanpassingsgedrag is gebleken dat er niet genoeg verkeer kan worden omgeleid en dat het inzetten van de verdeelprincipes niet mogelijk is. Daarom is onderzoek nodig naar de wijze waarop capaciteitsmaatregelen de verdeelprincipes kunnen ondersteunen, zodat het aanpassingsgedrag verhoogd wordt, waardoor het inzetten van verdeelprincipes wel mogelijk is. Deze maatregelen zijn ook nodig voor de langere termijn wanneer verdeelprincipes worden toegepast in de praktijk, omdat het aanpassingsgedrag van de informatiemaatregelen afneemt. Dit komt doordat weggebruikers die ervaring krijgen met het netwerk en de informatiemaatregelen ervaren dat ze een langere reistijd krijgen bij het aanpassen van de routekeuze aan de informatie. Daardoor daalt het aanpassingsgedrag naar een lager niveau, waardoor het inzetten van de verdeelprincipes minder effect heeft. Ook daarom wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe capaciteitsmaatregelen de verdeelprincipes kunnen ondersteunen om er voor te zorgen dat het aanpassingsgedrag op een hoger niveau komt en of blijft.

Uit de resultaten is ook naar voren gekomen dat bij hoger aanpassingsgedrag en bij de aanwezigheid van veel relaties met een grote intensiteit vaak veel meer verkeer wordt omgeleid dan voor het oplossen van het knelpunt nodig is. Hierdoor krijgen meer weggebruikers een langere reistijd en neemt de totale reistijd en reisafstand in het netwerk toe. Aanbevolen wordt te onderzoeken welke mogelijkheden het verkleinen van de zonerings biedt. Hierdoor ontstaan meer en vooral kleinere relaties, waardoor genoemde problemen voorkomen kunnen worden. Wel neemt de complexiteit toe, doordat met veel meer relaties gewerkt dient te worden.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van star aanpassingsgedrag. Zolang de extra reistijd van een omleidingsroute minder is dan 1,4 keer de reistijd van de oorspronkelijke route, past een vast gedeelte van de weggebruikers de routekeuze aan en volgt de omleidingsroute. In de praktijk zal dit percentage veranderlijk zijn, waarbij het percentage afneemt als de extra reistijd toeneemt. Dit heeft gevolgen voor het omleiden van verkeer, doordat meer of minder dan het verwachte aantal weggebruikers de routekeuze aanpast. Een goede inschatting van het aanpassingsgedrag is belangrijk omdat het onderzoek laat zien dat het aanpassingsgedrag een belangrijke invloed heeft op het effect van de verdeelprincipes. Daarom is nader onderzoek naar de invloed van extra reistijd van een omleidingsroute op het aanpassingsgedrag noodzakelijk.

**Deelvraag: Hoe worden de verdeelprincipes operationeel gemaakt?**

De conclusies tonen aan dat de in dit onderzoek toegepaste operationalisatie een aantal problemen oplevert. Het blijkt dat toepassing van de verdeelprincipes voor het doel 'verbeteren van reistijden van relaties' niet mogelijk is en dat bij het doel 'oplossen van knelpunten' de gewenste verbetering



van de I/C-verhouding pas veel later optreedt dan gewenst. Onderzocht dient te worden of een aanpassing van de operationalisatie deze problemen kan verhelpen. Aanbevolen wordt te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om in te grijpen op basis van voorspellingen, in plaats van het pas ingrijpen wanneer een probleem daadwerkelijk optreedt, zoals dat in dit onderzoek is toegepast. Door het werken met voorspellingen kunnen verdeelprincipes reeds ingezet worden wanneer overschrijding van de norm verwacht wordt. Door het eerder inzetten komt het effect van de verdeelprincipes op het juiste moment en wordt de norm minder overschreden waardoor verwacht wordt dat het voor beide doelen in meer situaties mogelijk is de verdeelprincipes in te zetten om terug te keren naar de norm.

Een ander probleem dat naar voren is gekomen en samenhangt met de operationalisatie is het gebrek aan routes voor het omleiden van het verkeer. In dit onderzoek is gewerkt met starre normen, waardoor routes waarop een overschrijding van de norm optreedt niet gebruikt kunnen worden voor het omleiden van het verkeer, ongeacht de situatie in het netwerk. Een mogelijkheid is het toepassen van flexibele normen. Bijvoorbeeld wanneer de I/C-verhouding op een knelpunt 0,95 is, dan wordt een I/C van 0,90 op een alternatieve route als gevolg van het omleiden van verkeer geaccepteerd. Terwijl wanneer de I/C op een knelpunt 0,88 is, kan geen gebruik gemaakt worden van de alternatieve route als op die route de I/C daardoor boven de 0,85 uit komt. Door het flexibel maken van de normen zijn er meer alternatieve routes beschikbaar waardoor de keuze in relaties die omgeleid kunnen worden groter wordt. Er ontstaan hierdoor meer mogelijkheden voor het herverdelen van verkeer. Aanbevolen wordt te onderzoeken of deze aanpassing in de operationalisatie mogelijk is en wat het effect is op de toepassing van de verdeelprincipes.

Tot slot wordt aanbevolen te onderzoeken hoe het oplossen van meerdere knelpunten tegelijk opgenomen kan worden in de operationalisatie. Tijdens dit onderzoek is het niet mogelijk gebleken het oplossen van meerdere knelpunten uit te werken door beperkingen in tijd en het verkeersmodel. Om de aanpak van meerdere knelpunten tegelijk mogelijk te maken dient de operationalisatie aangepast te worden, doordat mogelijk door verdeelprincipes dezelfde ruimte op alternatieve routes meerdere keren geclaimd wordt. Een mogelijkheid is om eerst het knelpunt met de hoogste prioriteit te optimaliseren en vervolgens het volgende knelpunt. Maar het is bij deze werkwijze mogelijk dat sommige knelpunten niet opgelost kunnen worden of dat verkeer over veel langere routes moet worden omgeleid dan nodig is. Nader onderzoek naar een aanpak voor het tegelijk oplossen van meerdere knelpunten is daarom noodzakelijk.

## Literatuurlijst

Baets, K. d., Lauwers, D., & Allaert, G. (2010). Op weg naar/met duurzame navigatie: Is er een harmonie tussen routeplanners en de beleidsprincipes van wegencategorisering? *Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Roermond: Universiteit Gent.

Ben-Akiva, M., Palma, A. d., & Kaysi, I. (1991). *Dynamic network models and driver information systems*. Evanston, U.S.A.: Departement of Civil Engineering, Northwestern University.

Blauw Research. (2009, september 08). Navigatie Monitor 2009. Autonavigatie blog. Opgeroepen op juli 18, 2012, van <http://www.autonavigatieblog.nl/navigatiesystemen-60-van-de-nederlandse-huishoudens-heeft-er-een/>

Chatterjee, K., & McDonald, M. (2007). *Effectiveness of using variable message signs to disseminate dynamic traffic information: Evidence from field trials in European cities*. Londen: Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal.

Dicke-Ogenia, M. & Jablonski, M.W. (2010). *Analyse kansrijke reisinformatie-initiatieven regio Maastricht; Eindrapportage*. Maastricht: Gemeente Maastricht.

Dicke-Ogenia, M., & Egeraat, M. v. (2011). *Evaluatie reisinformatie Noord-Brabant; Bijdrage aan het colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 24 en 25 November 2011*. Antwerpen: Goudappel Coffeng & Provincie Noord Brabant.

Emmerink, R., Nijkamp, P., Rietveld, P., & Ommeren, J. v. (1995). *Variable message signs and radio traffic information: An integrated empirical analysis of drivers' route choice behaviour*. Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam.

Kattelaar, H., Sombekke, E., & Mieghem, R. v. (2009). *Bewegwijzering en navigatiesystemen; literatuurverslag*. Its, Ratboud Universiteit Nijmegen: CROW, Arane, Its.

Kooten, J. v., & Martens, G. (2011). Regelaanpak op netwerken en trajecten. *DVM congres 2011*. Rotterdam: Arane.

Krikke, R. (2011b). *Objectmodel Route oriënted traffic management*. Ekehaar: Quest Traffic Consultancy.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2004). *Nota Mobiliteit*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

NAVTEQ. (2010, februari 10). *NAVTEQ onthult onderzoeksresultaten over de staat van navigatie in 2010*. Opgeroepen op juli 18, 2012, van [www.allenieuwsberichten.nl](http://www.allenieuwsberichten.nl): <http://www.allepersberichten.nl/persbericht/16904/1/NAVTEQ-onthult-onderzoeksresultaten-over-de-staat-van-navigatie-in-2010Jaarlijks-onderzoek-benadrukt-aanhoudende-groei-in-het-navigatiegebruik-van-consumenten/>

Rijkswaterstaat. (2005b). *Alternatieve routes bij verstoringen; werken aan regionale bereikbaarheid*. Rotterdam.

Rijkswaterstaat. (2010). *Domeinarchitectuur Wegverkeersmanagement; Rapportage fase 3: 'Systeemmaatregel-systeem matrix'*. Rijkswaterstaat Data en ICT Dienst.

Rijkswaterstaat. (2007). *Gebiedsgericht Benutten plus Duurzaam Veilig; Samenwerken aan bereikbaarheid en bereikbare veiligheid*. Rotterdam.

Rijkswaterstaat. (1995). *Programma Verkeersbeheersing Hoofdwegen 1995-2000*. Den Haag.

Rijkswaterstaat. (2004). *Routekeuze in het knooppunt Arnhem Nijmegen (KAN); Motieven van weggebruikers bij routekeuze op 2 specifieke trajecten in het KAN en de rol die informatie hierbij speelt*. Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Rijkswaterstaat. (2005a). *Werkboek gebiedsgericht benutten; met de architectuur van verkeersbeheersing*. Rotterdam.

Rouwette, A. (2008). *Guiding toward optimal route and parking choice of urban traffic; development of an optimization model based on a trade-off between interests of specific stakeholders*. The Netherlands: Witteveen + Bos/University of Twente.

Schriek, A. v. (2002). *Evaluatie Drips Breda*. RWS Noord Brabant.

Srinivasan, K., & Mahmassani, H. (2003). Analyzing heterogeneity and unobserved structural effects in route-switching behavior under ATIS: a dynamic kernel logit formulation. *Transportation Research Part B*, 793-814.

Veluwen, A. v. (2009). *The influence of dynamic route guidance systems on traffic management*. Delft: ITS EduLab, Rijkswaterstaat, TU Delft.

Vries, W. d. (2011, juli 22). *TomTom ziet verkoop navigatiesystemen dalen*. Opgeroepen op juli 18, 2012, van Tweakers.net: <http://tweakers.net/nieuws/75772/tomtom-ziet-verkoop-navigatiesystemen-dalen.html>

## Bijlage 1: Informatie over bepaling verdeelprincipes

In deze bijlage wordt nadere informatie gegeven over de verdeelprincipes, zoals deze in paragraaf 3.1 zijn besproken. In paragraaf 1 is de lijst van mogelijke verdeelprincipes weergegeven. In paragraaf 2 is de afweging die in paragraaf 3.1 in het hoofdverslag is behandeld gedetailleerd beschreven.

### 1.1 Mogelijke verdeelprincipes

Hieronder is een lijst weergegeven van de mogelijke verdeelprincipes. Deze zijn bepaald op basis van brainstormen en de beschreven criteria waarop onderscheid gemaakt wordt. (Wanneer gesproken wordt over de grootte van relaties wordt bedoeld op het aantal verplaatsingen van relaties waarbij rekening is gehouden met het aanpassingsgedrag.)

- Deel de relatie(s) met het meeste vrachtverkeer toe aan de route(s) met de minste snelheidsbelemmerende objecten, zoals kruispunten en drempels (dus de route waarop het meest een constante snelheid gehandhaafd kan worden, zodat het vrachtverkeer zo min mogelijk hoeft te remmen en versnellen en de overlast wordt geminimaliseerd).
- Verdeel de relaties zo over de beschikbare routes dat de relaties met het meeste vrachtverkeer worden afgewikkeld over routes die het verst verwijderd zijn van woon en of schoollocaties.
- De relatie of het gedeelte van een relatie (profiel) met de hoogste prioriteit krijgt de voorkeursroute toe bedeed; de relaties met een lagere prioriteit worden omgeleid.
- De relatie met het grootste percentage van een bepaald profiel dient als eerst omgeleid te worden. Verdeling vindt dus plaats op basis van profielgrootte in de relaties en het belang dat aan een profiel wordt toegekend.
- De relatie met het grootste aantal verplaatsingen krijgt de knelpuntroute toebedeed. Dat betekent dat de kleinste relaties als eerste worden omgeleid.
- De relatie met het grootste aantal verplaatsingen wordt als eerste omgeleid. De kleinste relaties krijgen in dit geval voorrang.
- De relatie die het beste past qua intensiteit of die relaties die samen het beste passen qua intensiteit bij de capaciteit die op de knelpuntroute mogelijk is, worden over de knelpuntroute gestuurd. De overige relaties worden omgeleid.
- De relatie die qua intensiteit het best past bij de beschikbare capaciteit op een alternatieve route wordt als eerste omgeleid. Relaties die qua intensiteit goed bij de gezamenlijke capaciteit van twee routes passen worden verdeeld over beide routes, door bijvoorbeeld iedere twee minuten te wisselen tussen de route waar het verkeer naar toe gestuurd wordt.
- De relatie die omgeleid kan worden over een beschikbare route die het minst belastend is voor de omgeving wordt als eerste omgeleid. Met 'belastend' wordt bedoeld op geluidsproductie, vermindering van verkeersveiligheid of op de uitstoot van schadelijke stoffen. Met omgeving wordt bedoeld op de omgeving van de wegen waar de route gebruik van maakt. De aanwezigheid van bijvoorbeeld woningen, scholen, enzovoort bepaalt de mate van overlast die ervaren wordt rond deze wegen.
- De relatie die de minste extra reistijd door de omleiding krijgt wordt als eerste omgeleid. Welke relatie omgeleid wordt is dus afhankelijk van de beschikbare routes en de reistijd van deze routes.
- De relatie die als eerste omgeleid wordt ervaart de kleinste extra reistijd door de omleiding, op basis van de totale lengte van de verplaatsing van de relatie. Een omleiding van 2 minuten

op een trip van 5 minuten wordt wellicht als langer ervaren als een omleiding van 2 minuten op een trip van 50 minuten. In dat geval wordt de laatste relatie als eerste omgeleid.

- De volgorde van het omleiden van relaties wordt bepaald door de extra kosten voor de relaties door het gebruik van de omleidingsroutes, waarbij de relatie die de laagste extra kosten krijgt wanneer deze wordt omgeleid als eerste wordt omgeleid.
- De relatie die de laagste kosten per kilometer betaalt wordt als eerste omgeleid. Dit is bijvoorbeeld mogelijk wanneer er verschillende tarieven per kilometer gelden voor auto en vrachtverkeer, waarbij het tarief voor vrachtverkeer hoger is. De relaties met weinig vrachtverkeer worden in dit geval eerst omgeleid, zodat de extra kosten beperkt worden.

Verdeelprincipes die verdelen op basis van de mate van aanpassingsgedrag zijn niet toegevoegd, omdat het aanpassingsgedrag al onderdeel is van veel verdeelprincipes die hierboven genoemd zijn.

## 1.2 Afweging van de verdeelprincipes

In hoofdstuk 3 is beschreven op basis waarvan de afweging van de verdeelprincipes heeft plaatsgevonden. In deze bijlage is deze afweging per verdeelprincipe uitgewerkt. Er wordt per verdeelprincipe aangegeven voor welk doel ('oplossen knelpunt', het verbeteren van reistijden' of 'het verhogen van het gebruik van voorkeursroutes') het kan worden ingezet en wat de voor- en nadelen zijn van dit principe ten opzichte van andere verdeelprincipes. In de afweging is de toepasbaarheid in de huidige Nederlandse omstandigheden een belangrijk criterium. Hiervoor wordt naar de beschikbaarheid van de benodigde informatie en instrumenten gekeken. Tot slot wordt per verdeelprincipe een conclusie gegeven waarin wordt aangegeven of het verdeelprincipe wel of niet verder onderzocht is in dit onderzoek.

*Deel de relatie(s) met het meeste vrachtverkeer toe aan de route(s) met de minste snelheidsbelemmerende objecten*

*Doel:* Kan voor alle drie doelen worden ingezet.

*Benodigde informatie/instrumenten:* aandeel vrachtverkeer in relaties, mate van doorstroming /snelheidsbeïnvloeding objecten op routes, uitstoot/geluidsproductie van voertuigen in relaties.

*Voordelen:* Door rekening te houden met de hoeveelheid vrachtverkeer dat wordt toegedeeld over routes worden (milieu)effecten meegenomen.

*Nadelen:* Goed verdelen is alleen mogelijk wanneer er duidelijke verschillen zijn in de hoeveelheid vrachtverkeer tussen relaties. Omdat ROTM alleen wordt toegepast op stedelijk gebied is het de vraag of er veel verschil tussen de hoeveelheid vracht in relaties zit doordat het vrachtverkeer veel minder geconcentreerd is op bepaalde routes. Daarnaast dient voor een juiste afweging niet alleen kennis te worden verzameld over de hoeveelheid vrachtverkeer, maar ook over de kenmerken van dit vrachtverkeer (grootte, tonnage, uitstoot) om daadwerkelijk die verdeling over de routes te maken die de minste negatieve milieueffecten geeft. Ook wordt voorbij gegaan aan de geluids- of veiligheidseffecten voor de omgeving van de routes waarover het vrachtverkeer wordt geleid. Een ander nadeel is dat niet wordt gekeken naar het aantal verplaatsingen van de overige weggebruikers in een relatie, waardoor het voorkomt dat er meer verkeer dan nodig wordt omgeleid.

*Conclusie:* De complexiteit is hoog, doordat op voertuigniveau informatie nodig is om te bepalen wat het effect van het omleiden van een relatie is en er is veel gedetailleerde informatie over routes

nodig om de overlast als gevolg van het gebruik van die route te bepalen. Op dit moment is deze complexiteit nog niet mogelijk in Nederland. Daarom is niet verder gewerkt met dit verdeelprincipe.

*Verdeel de relaties zo over de beschikbare routes dat de relaties met het meeste vrachtverkeer worden afgewikkeld over routes die het verst verwijderd zijn van woon- en of schoollocaties.*

*Doel:* Dit verdeelprincipe draagt bij aan het verlagen van de intensiteit op of nabij het knelpunt of het verbeteren van reistijden van relaties.

*Benodigde informatie/instrumenten:* aandeel vrachtverkeer in relaties, ligging van schoollocaties/woonlocaties ten opzichte van routes

*Voordelen:* De overlast door vrachtverkeer voor omwonenden van routes wordt beperkt.

*Nadelen:* Het omleiden van het vrachtverkeer kan zorgen voor veel langere routes voor deze relaties waardoor meer milieuvervuiling optreedt. Daarnaast kan het zijn dat veel meer verkeer over een veel langere route wordt omgeleid. Ook hier geldt dat deze methode alleen werkt wanneer er een duidelijk onderscheid is tussen de hoeveelheid vrachtverkeer in relaties en dat voor een goede afweging meer informatie over het vrachtverkeer in relaties noodzakelijk is dan alleen de hoeveelheid vrachtverkeer. Daarnaast dient van alle routes bepaald te worden hoever woonwijken en of schoollocaties verwijderd zijn van de route. Dit verhoogt de complexiteit, doordat er veel informatie nodig is van zowel de relaties als de routes.

*Conclusie:* Gezien de vele nadelen en de complexiteit voor toepassing wordt hier niet mee verder gewerkt.

*De relatie met de hoogste prioriteit krijgt de voorkeursroute toe bedeed; de relaties met een lagere prioriteit worden omgeleid.*

*Doel:* kan voor alle doelen ingezet worden.

*Benodigde informatie/instrumenten:* prioriteit van profielen of relaties, aandeel van profielen in relaties indien prioriteit wordt toegekend aan profielen.

*Voordelen:* Een voordeel is dat met dit verdeelprincipe invulling gegeven kan worden aan wensen van de beleidsmaker, doordat bepaalde vervoersstromen voorrang krijgen.

*Nadelen:* Nadeel is dat er informatie beschikbaar moet zijn over de verschillende gebruikersprofielen en dient er informatie over prioritering van deze profielen/relaties te zijn.

*Conclusie:* Gezien het genoemde voordeel en de inzetbaarheid voor alle doelen is dit verdeelprincipe verder uitgewerkt, ook om dat aangenomen wordt dat de benodigde informatie met Sensorcity-Assen wel beschikbaar komt.

*De relatie met het grootste percentage van een bepaald profiel dient als eerst omgeleid te worden.*

*Benodigde informatie/instrumenten:* prioriteit van profielen, aandeel van profielen in relaties indien prioriteit wordt toegekend aan profielen, Intensiteit van relaties.

*Conclusie:* In feite is dit ook een vorm van prioritering van relaties zoals dit in het vorige verdeelprincipe is besproken, doordat prioriteit wordt gegeven op basis van de grootte van aanwezige profielen. Daarom wordt dit verdeelprincipe niet verder onderzocht.

*De relatie met het grootste aantal verplaatsingen krijgt de knelpuntroute toebedeeld. Dat betekent dat de kleinste relaties als eerste worden omgeleid.*

*Doel:* Kan voor alle doelen worden ingezet.

*Benodigde informatie/instrumenten:* Intensiteit van relaties

*Voordelen:* Het voordeel van deze methode is dat deze niet gecompliceerd is, er is weinig (extra) informatie nodig om de volgorde van het omleiden van relaties vast te stellen.

*Nadelen:* Nadeel van dit principe is dat vaak veel meer kleine relaties omgeleid moeten worden.

*Conclusie:* Dit verdeelprincipe is ook een vorm van prioriteit geven, prioriteit geven op basis van intensiteit. Op basis van overlap wordt daarom niet verder gewerkt met dit verdeelprincipe.

*De relatie met het grootste aantal verplaatsingen wordt als eerste omgeleid. De kleinste relaties krijgen in dit geval voorrang.*

*Doel:* Kan voor alle doelen worden ingezet.

*Benodigde informatie/instrumenten:* Intensiteit van relaties

*Voordeel:* Het voordeel van dit verdeelprincipe ten opzichte van het vorige (het omleiden van de kleine relaties) kan zijn dat er minder verschillende relaties hoeven te worden omgeleid.

*Nadelen:* Nadeel is dat er hierdoor mogelijk onnodig veel verkeer wordt omgeleid, doordat de relatie veel groter kan zijn dan de ruimte die op de knelpuntroute eigenlijk nodig is.

*Conclusie:* Ook hier geldt dat er in feite prioriteit wordt toegekend aan een relatie. Ook dit principe wordt daarom niet verder uitgewerkt als afzonderlijk verdeelprincipe.

*De relatie die het beste past qua intensiteit of die relaties die samen het beste passen qua intensiteit bij de capaciteit die op een (knelpunt)route mogelijk is, worden over de (knelpunt)route gestuurd. De overige relaties worden omgeleid.*

*Doel:* Dit verdeelprincipe kan worden ingezet voor alle doelen.

*Benodigde informatie/instrumenten:* intensiteit van relaties, beschikbare capaciteit op knelpuntroute

*Voordeel:* Optimaal gebruik van de knelpuntroute, doordat de intensiteit zo dicht mogelijk bij de maximaal toegestane intensiteit in de buurt komt.

*Nadeel:* Het komt voor dat er in vergelijking met andere verdeelprincipes meer relaties of meer relaties met een grote intensiteit omgeleid moeten worden.

*Conclusie:* Gezien de voordelen en de beperkte nadelen, de lage informatie behoefte waardoor toepassing in Nederland goed mogelijk is en de mogelijkheid voor het inzetten van dit verdeelprincipe voor alle doelen, wordt dit verdeelprincipe nader onderzocht.

*De relatie die qua intensiteit het best past bij de beschikbare capaciteit op een alternatieve route wordt als eerste omgeleid.*

*Doel:* kan worden ingezet voor alle doelen

*Benodigde informatie/instrumenten:* intensiteit van relaties, beschikbare capaciteit op routes.

*Voordeel:* optimaal gebruik van alternatieve routes en lage (extra) informatie behoefte.

*Nadelen:* Nadeel is dat er veel meer relaties omgeleid worden of dat er veel meer verkeer omgeleid wordt dan nodig is. Daarnaast is het lastig om een (grote) relatie, die qua intensiteit goed past bij de gezamenlijke capaciteit op twee routes, daadwerkelijk zo over de twee routes te verdelen dat deze optimaal gebruikt worden, en niet dat op één van beide routes te veel verkeer terecht komt.

*Conclusie:* Gezien de nadelen in vergelijking met de voor/nadelen van het vorige verdeelprincipe en de overlap met dit verdeelprincipe, wordt dit verdeelprincipe niet verder onderzocht.

*De relatie die omgeleid kan worden over een beschikbare route die het minst belastend is voor de omgeving wordt als eerste omgeleid.*

*Doel:* Kan voor alle doelen worden ingezet.

*Benodigde informatie/instrumenten:*

- Functies van gebouwen en gebieden langs de routes
- Verkeersveiligheid van routes
- Uitstoot en geluidsproductie van voertuigen in relaties
- Invloed van het gebruik van een route op de luchtkwaliteit, geluidsoverlast en verkeersveiligheid
- Methode om 'overlast' te kwalificeren

*Voordeel:* Er wordt rekening gehouden met de gevolgen van het omleiden van het verkeer voor de omgeving. Hierdoor wordt de overlast voor de omgeving geminimaliseerd.

*Nadelen:* Nadeel is dat er erg veel informatie verzameld en verwerkt moet worden voordat een toedeling over de routes gemaakt kan worden. Daarnaast is het mogelijk dat de relatie die op basis van dit principe wordt omgeleid een erg grote intensiteit heeft, waardoor mogelijk veel meer verkeer wordt omgeleid dan nodig is.

*Conclusie:* Uit de benodigde informatie en de nadelen blijkt dat dit verdeelprincipe complex is. Er dienen methodes ontwikkeld te worden om (heel veel) benodigde data te verzamelen en te combineren, om de effecten op de omgeving te bepalen. Toepasbaarheid in Nederland is daarom op dit moment nog niet mogelijk. Het verdeelprincipe is daarom niet verder onderzocht.

*De relatie die de minste extra reistijd door de omleiding krijgt wordt als eerste omgeleid.*

*Doel:* kan worden ingezet voor alle doelen.

*Benodigde informatie/instrumenten:* Extra reistijd van alternatieve routes.

*Voordeel:* De totale extra reistijd in het netwerk wordt beperkt met dit principe en het werkt eenvoudig, doordat alleen de reistijd van de routes benodigd is.

*Nadelen:* Een mogelijk nadeel is dat dit er voor kan zorgen dat bijvoorbeeld eerst de relatie met de grootste intensiteit wordt omgeleid, waardoor veel meer verkeer wordt omgeleid dan eigenlijk noodzakelijk is. Daarnaast wordt er niet gekeken naar de extra reistijd voor relaties ten opzichte van de totale reistijd van de relaties. Ander nadeel is dat de reistijd op routes verandert wanneer meer verkeer aan deze route wordt toegedeeld, waardoor het verdelen complexer wordt.



*Conclusie:* Dit verdeelprincipe geeft goede mogelijkheden om bij te dragen aan de doelen gezien de voor en nadelen en wordt daarom verder uitgewerkt. Wel wordt aangenomen dat verdeling plaats vindt op basis van de huidige reistijden op routes, zodat de complexiteit wordt beperkt. Dit betekent wel dat niet zeker is of de optimale verdeling voor het beperken van de reistijd wordt bereikt.

*De relatie als eerste omleiden die de kleinste extra reistijd door de omleiding ervaart, op basis van de totale lengte van de verplaatsing van de relatie.*

*Doel:* kan worden ingezet voor alle doelen.

*Benodigde informatie/instrumenten:* extra reistijd voor een relatie bij het gebruik van een alternatieve route, totale reistijd van een weggebruiker in een relatie

*Voordeel:* Het voordeel ten opzichte van het vorige verdeelprincipe is dat er rekening gehouden wordt met hoe de extra reistijd wordt ervaren door de gebruiker.

*Nadelen:* Nadeel van deze methode is de informatie behoefte, doordat er van de relaties bekend moet zijn wat de totale reistijd is van de verplaatsing. Dat is in dit geval moeilijk omdat het gaat om samengevoegde relaties. De weggebruikers in een relatie hebben dus een zeer verschillende totale reistijd. Daarnaast moet bepaald worden hoe de relaties die extra reistijd ervaren.

*Conclusie:* Vanwege de grotere informatiebehoefte (in vergelijking met het vorige verdeelprincipe) valt dit principe af, doordat het erg moeilijk is op dit moment om dit principe correct toe te passen.

*De volgorde van het omleiden van relaties wordt bepaald door de extra kosten voor de relaties door het gebruik van de omleidingsroutes, waarbij de relatie die de laagste extra kosten krijgt wanneer deze wordt omgeleid als eerste wordt omgeleid.*

*Doel:* kan worden ingezet voor het verminderen van de intensiteit op de knelpuntlocatie.

*Benodigde informatie/instrumenten:* Extra kosten voor relaties door het gebruik van alternatieve routes, tolsysteem/kilometerheffing, intensiteit van relaties

*Nadeel:* Verdeling op basis van kosten kan alleen wanneer een betalingssysteem voor het gebruiken van de infrastructuur is geïmplementeerd. In Nederland is op dit moment (in stedelijk gebied) nergens een dergelijk systeem geïmplementeerd.

*Conclusie:* Dit verdeelprincipe valt af omdat het op dit moment niet toepasbaar is in Nederland.

*De relatie die de laagste kosten per kilometer betaalt wordt als eerste omgeleid.*

*Doel:* kan worden ingezet voor 'oplossen knelpunten' en 'verhogen van gebruik voorkeursroutes'.

*Benodigde informatie/instrumenten:* Tolsysteem/kilometerheffing, aandeel vracht in relaties, kosten per vervoerwijze per kilometer

*Nadeel:* Het zelfde nadeel geldt hier als bij het vorige verdeelprincipe. Alleen op basis van brandstofkosten kan verdeling plaatsvinden, maar hiervoor is informatie over het verbruik en brandstoftype per wegvoertuig in iedere relatie noodzakelijk. Dit is complex.

*Conclusie:* Dit verdeelprincipe valt af omdat het op dit moment niet toepasbaar is in Nederland.

## Bijlage 2: Samenvoegen van relaties

In hoofdstuk 5 zijn mogelijkheden gegeven voor het samenvoegen van relaties voor het toepassen van ROTM. In deze bijlage wordt de bepaling en de werking van deze mogelijkheden in meer detail beschreven.

### 2.1 Mogelijkheden voor het samenvoegen van relaties

Ondermeer in de GGB (Rijkswaterstaat, Werkboek gebiedsgericht benutten; met de architectuur van verkeersbeheersing, 2005a) is kort beschreven welke mogelijkheden er zijn om relaties samen te voegen. De meest voorkomende mogelijkheden zijn: samenvoeging op basis van nabijheid van herkomst/bestemming, intensiteit, gepiektheid of samenstelling, waarbij bij de samenstelling gekeken dient te worden naar doelgroep, vervoermiddel of bijvoorbeeld wel/niet betalend verkeer. Bovenal wordt aangegeven dat het samenvoegen van relevante relaties grotendeels een kwestie is van een afweging die de beleidsmaker zelf dient te maken, doordat in iedere netwerksituatie andere relaties relevant zijn. Het is dus beperkt mogelijk om heel gedetailleerd van te voren uit te werken hoe relaties samen genomen moeten worden.

Als gekeken wordt naar de genoemde mogelijkheden in de GGB dan vallen er een aantal opties af voor de toepassing voor ROTM:

- samenvoegen op basis van vervoermiddel is zeer beperkt mogelijk, doordat alleen op gemotoriseerd wegverkeer wordt gestuurd, zonder daarbij openbaar vervoer over de weg apart te nemen. De enige profielen die in dat geval mogelijk zijn is 'vrachtverkeer' en 'autoverkeer'. Dit biedt hierdoor weinig mogelijkheden voor het reduceren van het aantal relaties.
- samenvoeging op basis van wel/niet betalen voor het gebruik van infrastructuur is alleen mogelijk wanneer er een verschil is tussen gebruikers die wel of niet hoeven te betalen voor het gebruik van de infrastructuur. In Nederland is dit (nog) nergens het geval in stedelijk gebied, waardoor deze vorm van samenvoeging niet mogelijk is.
- samenvoeging op basis van profielen is niet wenselijk, doordat het verschil van samenstelling van profielen in relaties hier juist wordt gebruikt voor het sturen van verkeer.

Op basis van bovenstaande worden in dit onderzoek relaties samengevoegd op basis van intensiteit en op basis van herkomst/bestemming. Een combinatie van deze criteria zorgt voor een veel kleiner aantal relaties waardoor het systeem minder complex wordt, maar wel zorgt voor het behouden van de mogelijkheden voor het sturen van de relaties.

### 2.2 Toepassing samenvoegen van de relaties

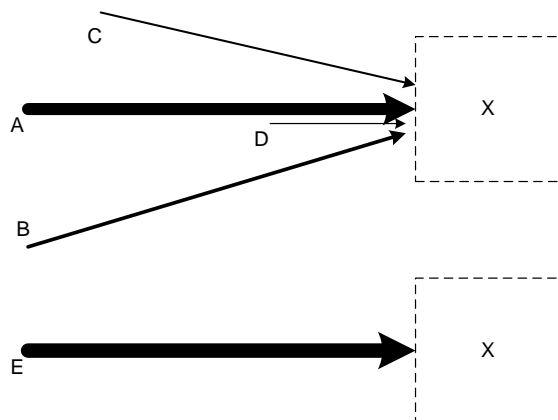
Zoals eerder beschreven, is het niet mogelijk om exact vast te leggen wanneer herkomst-bestemming relaties samengenomen dienen te worden. Bijvoorbeeld een beschrijving als 'neem relaties samen die een herkomst hebben die binnen 10 km afstand van elkaar liggen' is niet zinvol, doordat 10 km afstand voor relaties die ver van het studiegebied verwijderd liggen erg weinig is, terwijl 10 km binnen het studiegebied, de stad, erg veel is. Er wordt dus niet met getallen exact gedefinieerd wanneer HB-relaties samen moeten worden genomen. Er worden alleen richtingen aangegeven waarmee elke situatie apart bekeken moet worden.

### 2.2.1 Samenvoeging op basis van nabijheid herkomst/bestemming

Eerst dient op basis van herkomst en bestemming bekeken te worden welke relaties samengevoegd kunnen worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het gebied dat buiten het afgebakende gebied (studiegebied) ligt en het gebied dat binnen het afgebakende gebied ligt.

#### *Buiten afgebakend gebied:*

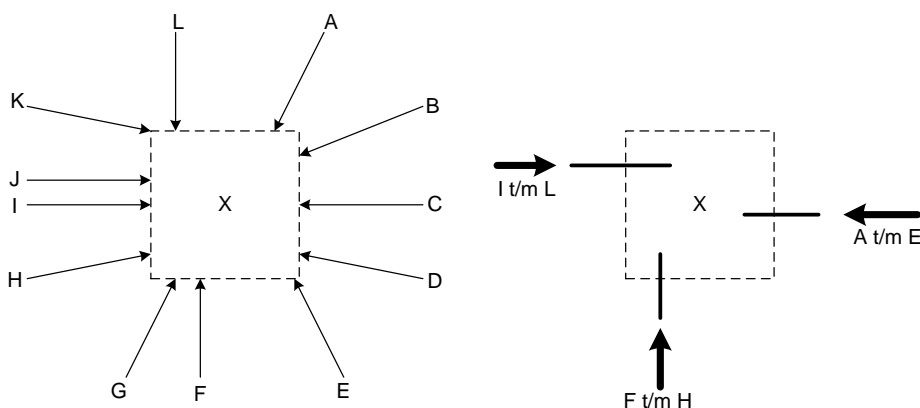
In dit gebied vindt een grove samenvoeging van relaties plaats, welke steeds grover wordt voor relaties die verder weg liggen van het studiegebied. Samenvoeging van relaties dient in de eerste plaats op basis van nabijheid van herkomst of bestemming en een gemeenschappelijke verplaatsingsrichting, waarbij 'nabijheid' dus veranderlijk is voor de afstand ten opzichte van het studiegebied. Hieronder is een voorbeeld gegeven:



**Figuur 1, samenvoeging van relaties op basis van nabijheid herkomst/bestemming**

In de bovenste situatie zijn 4 relaties zichtbaar naar het studiegebied X, waarbij de herkomst van CX en BX qua richting verder uit elkaar liggen dan bijvoorbeeld DX en AX, maar ook verder van het studiegebied afliegen en dezelfde verplaatsingsrichting hebben. Deze 4 relaties kunnen hierdoor toch samengevoegd worden tot 1 nieuwe relatie (EX), zoals in de onderste situatie is weergegeven.

Nu is in bovenstaand voorbeeld maar naar één kant van het studiegebied gekeken waarbij op basis van nabijheid een samenvoeging van de herkomsten is te maken. Het komt voor dat relaties van alle kanten het studiegebied binnen komen/verlaten. In dat geval is het moeilijker om relaties samen te voegen op basis van nabijheid. Een voorbeeld hiervan is links weergegeven in figuur 2.



**Figuur 2, samenvoeging van relaties gebruik makend van infrastructuur**

Links zijn de originele relaties te zien. De herkomsten zijn erg verspreid, wat het moeilijk maakt om op basis van nabijheid van herkomsten/bestemmingen een samenvoeging te maken. In dat geval wordt naar de nabijheid van de hoofdinfrastructuur gekeken. De afbakening heeft gezorgd voor een (logische) doorsnijding van de hoofdwegen die het gebied in of uit gaan. Op basis van deze wegen wordt bekeken welke relaties een richting hebben die het meest overeenkomt met de richting van deze hoofdinfrastructuur. Samenvoeging van relaties is dan mogelijk op basis van overeenkomstige richting en nabijheid van de hoofdinfrastructuur. Dus doordat (bij de juiste wijze van afbakening) de belangrijkste wegen van en naar het gebied doorsneden worden, wordt op basis daarvan een groot gedeelte van de herkomsten en bestemming samengenomen. In modeltermen is dit het gebruiken van een cordonmatrix.

Het samenvoegen van relaties vindt dus niet geheel plaats zonder te kijken naar de infrastructuur. In veel beschrijvingen voor het opzetten van beleid voor verkeersinfrastructuur wordt aangegeven dat bij het vaststellen van relaties niet gekeken dient te worden naar de aanwezige infrastructuur. Het wordt hier dan ook niet gebruikt om de relaties zelf te bepalen, maar voor het samenvoegen van relaties. Daarnaast wordt dit verkeersmanagement niet gebruikt voor het bepalen of uitbreiding/aanpassing van infrastructuur nodig is. Ook wordt alleen naar de delen van de hoofdinfrastructuur gekeken die het afgebakende gebied binnen komen of uitgaan. Dit maakt dat het geen probleem is dat bij het samenvoegen van relaties gekeken wordt naar de infrastructuur.

#### *Binnen het afgebakende gebied*

Binnen het afgebakende gebied, waar zich bij ROTM altijd een stedelijk gebied in bevindt, is samenvoeging mogelijk op basis van eigenschappen van het gebied, bijvoorbeeld de verschillende herkomsten in dezelfde woonwijk worden samengenomen. Naast woonwijken wordt dit ook toegepast op bijvoorbeeld kantorenparken, bedrijventerreinen en winkelgebieden, waarbij deze gebieden compact en aaneengesloten zijn. Ook geografische aspecten spelen dus een rol, doordat de aaneensluiting van gebieden bepaald wordt door bijvoorbeeld waterwegen of spoorlijnen.

#### **2.2.2 Samenvoeging op basis van omvang**

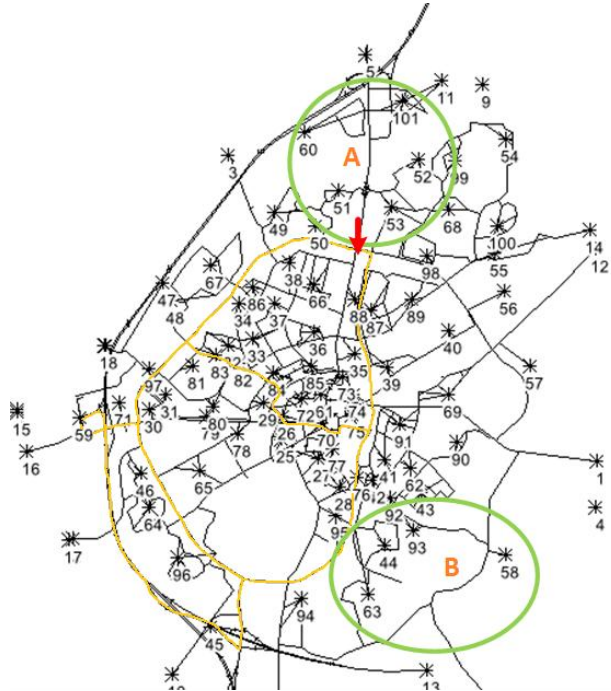
Na de samenvoeging op basis van nabijheid van herkomst en bestemming zoals hierboven is beschreven, is het nog mogelijk om te kijken naar de omvang van de relaties die zijn overgebleven. Teveel hele kleine relaties is niet werkzaam, maar de situatie waarin enkel een paar hele grote relaties zijn overgebleven beperkt ook de sturings- en verdeelmogelijkheden waardoor aanpassing van het aantal relaties in die gevallen noodzakelijk is:

- te veel kleine relaties: zorgt voor meer complexiteit en beperking van de mogelijkheden en effectiviteit van sturing van het verkeer. Waar mogelijk dienen kleine relaties alsnog samengevoegd te worden met andere relaties, door een grotere afstand tussen de herkomsten of bestemmingen te accepteren voor het samenvoegen van de herkomst en bestemming. Kleine relaties met een geheel afwijkende herkomst of bestemming worden niet samengevoegd.
- enkel een paar grote relaties zijn overgebleven: zorgen voor te weinig mogelijkheden voor sturing/verdelen van verkeer. Splits de overgebleven grote relaties uit in enkele kleinere relaties door de samenvoeging van herkomsten/bestemmingen te beperken.

### 2.2.3 Samenvoegen op basis van routes

In veel gevallen blijven na de stappen uit de vorige paragrafen nog erg veel kleine relaties over. Zoals eerder aangegeven is dit onwerkbaar voor ROTM, doordat dan erg veel relaties aangestuurd moeten worden. Een aanpak die dan nog mogelijk is, is het samenvoegen van relaties op basis van een overeenkomstige set van routes (voorkeursroute en alternatieve routes) en dat deze relaties op een zelfde keuzepunt geïnformeerd kunnen worden. Dit betekent dat deze relaties door één en dezelfde DRIP aangestuurd kunnen worden. Het nadeel van deze methode is dat deze samenvoeging pas gedaan kan worden als de set van routes bekend is. Hiernaast is een voorbeeld weergegeven.

In de afbeelding zijn de relaties vanuit de zones in gebied A naar de zones in gebied B samen genomen. Het verkeer van deze relaties dat zich verplaatst via het keuzepunt (de rode pijl) heeft de keuze uit dezelfde mogelijke routes over de gele wegen naar gebied B. Dit verkeer wordt daarom samengenomen. Op deze manier wordt op basis van de keuzepunten en de beschikbare routes bepaald welke relaties samengenomen worden.



Figuur 8, samenvoegen van relaties op basis van routes en keuzepunten

## Bijlage 3: Literatuuronderzoek aanpassingsgedrag

In deze bijlage wordt beschreven welke factoren het aanpassingsgedrag beïnvloeden en welke informatie over deze factoren bekend is. Op basis hiervan zijn de conclusies over het aanpassingsgedrag getrokken die in hoofdstuk 4 beschreven zijn. In dit literatuuronderzoek is alleen gekeken naar het aanpassingsgedrag van informatie, omdat de verdeelprincipes van dit type maatregelen gebruik maken. Het aanpassingsgedrag van capaciteitsmaatregelen blijft dus buiten beschouwing.

Het aanpassingsgedrag van weggebruikers is afhankelijk van meerdere factoren. Uit de literatuur (ondermeer (Dicke-Ogenia & Egeraat, 2011) en (Rijkswaterstaat, 2004)) blijkt dat de volgende factoren de meeste invloed hebben op aanpassingsgedrag:

- De informatiesystemen voor overbrenging van de informatie naar de weggebruiker.
- De wijze waarop de verschillende gebruikers reageren op de informatie.
- De betrouwbaarheid van de informatie, betrouwbaarheid van het informatiesysteem en de invloed daarvan op het aanpassingsgedrag van de weggebruiker.
- De verkeerssituatie, bij evenementen of stremmingen kan het aanpassingsgedrag verschillen.

In de literatuur is gezocht naar informatie over deze punten voor het bepalen van het aanpassingsgedrag. Deze informatie wordt in de volgende paragrafen besproken. Bovenstaande factoren kunnen niet los van elkaar bekeken worden. Dit blijkt uit de volgende paragrafen. De factoren zijn dan ook zoveel mogelijk in samenhang besproken. Er wordt in deze bijlage geen bepaling van het aanpassingsgedrag gegeven. Doel van deze bijlage is dat met deze informatie uit de literatuur een ruwe schatting van het aanpassingsgedrag gemaakt kan worden.

### 3.1 Informatie systemen

In de eerste paragraaf wordt bekeken welke informatiesystemen mogelijk zijn binnen route georiënteerd verkeersmanagement. 3.1.1 sluit af met een conclusie waarin is beschreven welke systemen voor dit verkeersmanagement gebruikt worden. De toepassing en het aanpassingsgedrag van deze systemen wordt vervolgens nader toegelicht.

#### 3.1.1 Mogelijke informatiesystemen

Het doel van het verkeersmanagement is de (verwachte) routekeuze van relaties te veranderen. Het gaat dus niet om het veranderen van het vertrektijdstip of de modaliteitkeuze voor een rit. Ander belangrijk punt voor het vaststellen van de mogelijke informatiesystemen is dat het verkeersmanagement in korte tijd ingezet moet worden en ook relatief snel effect moet kunnen hebben. Het informatiesysteem moet daarom de weggebruiker tijdens de rit kunnen informeren. Als laatste geldt dat de informatiesystemen de gekozen verdeelprincipes moeten kunnen ondersteunen. Daarom dienen de informatiesystemen specifieke groepen weggebruikers te informeren in een regionaal gebied.

In een onderzoek naar kansrijke reisinformatie initiatieven in Maastricht (Dicke-Ogenia, M. & Jablonski, M.W., 2010) is een overzicht opgenomen van de mogelijke reisinformatiesystemen die nu in Nederland en in het buitenland worden toegepast. Uit het overzicht blijkt dat er meerdere mogelijkheden zijn voor het informeren van de weggebruiker tijdens een rit:

- via radio
- via smartphone of mobiele telefoon (internet/sms/Apps)

- navigatiesystemen
- DRIP's

Hieronder wordt de mogelijkheid van toepassing per informatiesysteem nader toegelicht.

#### *Radio:*

Uit onderzoek blijkt dat 80% van de weggebruikers beschikt over een autoradio en tijdens de rit verkeersinformatie ontvangt. Slechts 35% van de weggebruikers ontvangt via de radio de verkeersinformatie voordat ze bij het keuzepunt komen waarvoor de informatie relevant is (Rijkswaterstaat, 2010). Het lage percentage komt doordat de verkeersinformatie slechts een aantal keren per uur wordt verstrekt. Opgemerkt moet worden dat in de studie van Rijkswaterstaat uitgegaan is van het hoofdwegennet. ROTM wordt toegepast op een bepaalde stedelijke regio, dus niet (alleen) op het hoofdwegennet. Het is niet zinvol om de verkeersinformatie voor deze specifieke regio op de landelijke radiozenders uit te zenden, doordat de doelgroep van de informatie erg klein is. Het uitzenden van de verkeersinformatie voor het veranderen van de routekeuze op alleen de regionale zenders heeft weer tot gevolg dat maar een zeer beperkt deel van de doelgroep bereikt wordt, doordat het marktaandeel van de regionale zenders erg beperkt is en niet alle autoradio's zijn ingesteld op het overschakelen naar verkeersinformatie. Daarnaast is het tijdig en snel informeren van weggebruikers zeer beperkt mogelijk doordat verkeersinformatie niet continu wordt uitgezonden. Ook is het doorgeven van alle te volgen routes voor iedere relatie niet mogelijk, doordat de verkeersinformatie dan enorm lang en onbegrijpelijk wordt voor veel gebruikers.

#### *Smartphone/mobiele telefoon:*

Wanneer internetsites worden gebruikt voor het bepalen van de routekeuze gebeurt dit meestal voorafgaand aan de rit. De opkomst van smartphones biedt wel meer mogelijkheden om ook tijdens de rit gegevens op internet te bekijken of via apps persoonlijke reisinformatie te ontvangen. (Wanneer een smartphone gebruik maakt van apps die navigatie mogelijk maken, dan vormt dit een dynamisch navigatiesysteem. Navigatiesystemen worden hieronder besproken.) Nadeel is dat hiervoor tijdens de rit handelingen op het toestel moeten worden uitgevoerd. Dit maakt dat het gebruik hiervan alleen goed mogelijk is wanneer zich meerdere mensen in het voertuig bevinden. Daarnaast is het de vraag of met de informatie op websites en apps de volledige doelgroep bereikt wordt. Niet iedereen bekijkt onderweg de websites of gebruikt een app, naast het feit dat niet iedereen gebruik maakt van internet en beschikt over een smartphone.

Het verzenden van een sms voor het omleiden van verkeer is een geschikte toepassing, doordat aan een gebruiker specifiek op hem of haar van toepassing zijnde informatie kan worden gestuurd. Belangrijk nadeel is dat de wegbeheerder in dat geval moet beschikken over de mobiele nummers van de weggebruikers en waar zij zich bevinden in het verkeersnetwerk. Dit tast de privacy van gebruikers aan. Tevens dienen weggebruikers tijdens de rit een sms-bericht te lezen, wat vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid onwenselijk is.

#### *Navigatiesystemen (Incar-systemen, of smartphones uitgerust met navigatiemogelijkheid):*

Deze systemen geven een route van begin- tot eindpunt. Daarnaast kan bij dynamische navigatiesystemen de route worden gewijzigd tijdens de rit. Ook zijn de systemen instaat informatie over files weer te geven. Belangrijk nadeel van dit systeem is dat informatie wordt verstrekt door providers van de systemen, niet door de wegbeheerders. De providers hebben andere belangen dan de wegbeheerder, waardoor het niet altijd mogelijk is het verkeer over de gewenste routes te sturen

vanuit het oogpunt van de wegbeheerder. Dit beperkt dus het effect van de verdeelprincipes. Echter, het gebruik en het bezit van navigatiesystemen zal de komende jaren verder toenemen. De invloed op het aanpassingsgedrag van informatiemaatregelen nu en in de toekomst kan daarom niet losgezien worden van de invloed van dit informatiesysteem.

#### *DRIP's:*

De aanschaf en het gebruik van DRIP's is kostbaar. Daarnaast neemt de invloed de komende 10 jaar langzaam af door het toenemende gebruik van navigatiesystemen. DRIP's bieden wel de mogelijkheid om specifieke verkeersstromen te informeren en het inzetten van de DRIP's is mogelijk in een kort tijdsbestek. Daarnaast blijkt uit onderzoek (Rijkswaterstaat, Domeinarchitectuur Wegverkeersmanagement; Rapportage fase 3: 'Systeem-maatregel-systeem matrix', 2010) dat informatie op DRIP's ten minste 75% van de passerende weggebruikers bereikt.

#### *Conclusie:*

Uit bovenstaande beschrijving van de mogelijke informatiesystemen is op te maken dat DRIP's en navigatiesystemen het beste bij dit verkeersmanagement aansluiten. Het bereik van de doelgroep van de informatie via radio of smartphone / mobiele telefoon in een specifieke regio is te laag of de informatie bereikt de gebruiker niet snel genoeg. Een combinatie van DRIP's en navigatiesystemen biedt wel de mogelijkheden om snel regionaal bepaalde gebruikersgroepen te bereiken. DRIP's of navigatiesystemen kunnen nu nog niet afzonderlijk van elkaar worden ingezet. DRIP's zijn nodig omdat nu nog lang niet alle weggebruikers een navigatiesysteem gebruiken, terwijl deze meer mogelijkheden biedt voor persoonlijk routeadvies. Navigatiesystemen worden ook opgenomen in het onderzoek doordat de verwachting is dat het gebruik hiervan verder toeneemt in de komende jaren. Navigatiesystemen buiten beschouwing laten is daarom niet wenselijk. De invloed op het aanpassingsgedrag van beide systemen wordt in de volgende paragrafen uitgewerkt.

### **3.1.2 DRIP's**

DRIP's worden al veelvuldig toegepast in binnen- en buitenland voor het informeren of sturen van het verkeer. Uit veel onderzoeken blijkt dat de informatie die door DRIP's verstrekt wordt door veel weggebruikers als nuttig en wenselijk wordt ervaren. Voor dit onderzoek is het echter van belang wat weggebruikers doen met de informatie op de DRIP's wanneer ze worden aangespoord om een bepaalde route te gaan volgen. DRIP's worden in dit verkeersmanagement gebruikt om bepaalde relaties aan te sporen een bepaalde route te kiezen, bijvoorbeeld: 'bezoekers winkelcentrum Assen, volg A'. In dat geval wordt een relatie, specifiek het gedeelte van de relatie dat gaat winkelen in Assen en gebruik maakt van de weg waar de drip geplaatst is, aangespoord om een bepaalde route te volgen. Op deze manier ondersteunen DRIP's de uitvoering van de verdeelprincipes. Bovengenoemd voorbeeld is een vorm van sturende informatie. Het blijkt dat het aanpassingsgedrag beduidend hoger ligt van sturende informatie dan van beschrijvende informatie (Srinivasan & Mahmassani, 2003), zoals het tonen van reistijden van twee routes. Hier wordt daarom gebruik gemaakt van sturende informatie, zodat de wegbeheerder meer invloed heeft op de sturing van het verkeer.

Er zijn verschillende type DRIP's, waaronder tekstDRIP's, GRIP's en bermDRIP's. Uit onderzoek blijkt dat het aanpassingsgedrag niet zozeer afhankelijk is van het type drip maar van de gegeven informatie op de drip (Dicke-Ogenia & Egeraat, 2011). De keuze voor het type DRIP is daarmee afhankelijk van de informatie die getoond en overgebracht dient te worden, wat weer afhankelijk is van de locatie van de drip en de mogelijke routes die op de drip dienen te worden aangegeven.



Bijvoorbeeld bij de keuze tussen twee routes die schematisch erg duidelijke zijn, worden GRIP's gebruikt. Bij complexere netwerken is dat niet mogelijk en worden DRIP's gebruikt. Het te kiezen type is dus afhankelijk van de situatie. Wel wordt aangenomen dat de keuze voor een type niet leidt tot een toe of afname van het aanpassingsgedrag, omdat voor iedere situatie het type drip gekozen dient te worden dat het meest geschikt is om de informatie over te brengen.

### 3.1.3 Navigatiesystemen

In de laatste jaren wordt het belang van navigatiesystemen als informatiebron steeds groter, doordat het aantal weggebruikers met een navigatiesysteem snel toeneemt. Uit onderzoek blijkt dat op dit moment ongeveer 60% van de weggebruikers beschikt over een navigatiesysteem. Dit is een ingebouwd, draagbaar systeem of een smartphone met navigatie (Blauw Research, 2009), (NAVTEQ, 2010). De verwachting is dat dit percentage de komende jaren verder gaat stijgen. Belangrijk is dat er twee types navigatiesystemen zijn: systemen die alleen statische gegevens gebruiken en systemen die dynamische informatie gebruiken. De dynamische systemen ontvangen meestal iedere paar minuten nieuwe informatie over de actuele verkeerssituatie in het netwerk via bijvoorbeeld TMC, op basis waarvan de kortste route (in afstand of reistijd) wordt berekend. Een voorbeeld van een dynamisch systeem is TomTom HD-traffic, dat iedere 2 minuten op basis van actuele reisinformatie een update geeft van de verkeerssituatie waarmee de aanbevolen route door het navigatiesysteem wordt aangepast. De statische systemen ontvangen geen actuele informatie en de route wordt dus niet bepaald op basis van de actuele situatie in het netwerk. Toch blijkt het percentage weggebruikers dat beschikt over een dynamisch systeem klein te zijn, rond de 20% (Vries, 2011). Dit komt vooral doordat voor het ontvangen van de informatie betaald dient te worden, kosten die de weggebruikers (nog) te hoog vinden.

Voor dit onderzoek is van belang dat alleen de gebruikers van een dynamisch navigatiesysteem bereikt kunnen worden, omdat alleen deze de actuele gegevens over de te volgen routes ontvangen. Hierdoor kan de te volgen route, op basis van het verdeelprincipe, worden doorgegeven aan de weggebruiker. Hierbij geldt dat de informatie van de wegbeheerder wordt doorgegeven aan de navigatieprovider die deze informatie weer doorstuurt naar het navigatiesysteem. De informatie die de wegbeheerder stuurt dient dus zodanig te zijn dat de te volgen route die het navigatiesysteem bepaalt overeenkomt met de gewenste route vanuit het verdeelprincipe. Dit wordt bereikt door ook informatie over mogelijke capaciteitsmaatregelen op andere routes door te geven aan de navigatieprovider, zodat de gewenste route overeenkomt met de snelste route. Wel geldt dat hiervoor samenwerking tussen de wegbeheerder en de navigatieprovider noodzakelijk is.

Van belang voor het bepalen van het aanpassingsgedrag is dat uit onderzoek blijkt dat 6% van de gebruikers van een dynamisch navigatiesysteem routewijzigingen, aangegeven door het systeem, negeert. Zij blijven dus de in eerste instantie getoonde route volgen, ondanks dat een andere route wordt aangegeven (Veluwen, 2009).

## 3.2 Betrouwbaarheid

Hier wordt besproken wat in de literatuur is gevonden over de invloed van betrouwbaarheid van de gegeven route-informatie op het opvolgen van deze informatie. Met betrouwbaarheid wordt bedoeld op de nauwkeurigheid van de informatie, of te wel in welke mate de informatie overeenkomt met de situatie die werkelijk optreedt en de gebruiker ervaart. De betrouwbaarheid wordt beïnvloed door de precisie van de gegeven informatie en door de actualiteit van de informatie.

Er zijn verschillende onderzoeken waarin is gekeken naar de invloed van de betrouwbaarheid van reisinformatie op de routekeuze. Uit een onderzoek uitgevoerd in de Verenigde Staten (Srinivasan & Mahmassani, 2003) is gebleken dat het geven van deels onjuiste reistijdinformatie geen negatief effect heeft op het routekeuzegedrag; bij het geven van compleet random reistijdinformatie op DRIP's nam de routekeuze op basis van die informatie wel sterk af. Uit een evaluatie na het inzetten van DRIP's in Breda (Schriek, 2002) blijkt dat 50% van de gebruikers van informatie op de DRIP's aangeeft dat de informatie niet altijd juist is, terwijl slechts 2% niet tevreden is over de betrouwbaarheid van de informatie op de DRIP's. Ook uit andere onderzoeken komt het beeld naar voren dat de betrouwbaarheid over het algemeen voldoende is. In 'Domeinarchitectuur Wegverkeersmanagement' (Rijkswaterstaat, Domeinarchitectuur Wegverkeersmanagement; Rapportage fase 3: 'Systeem-maatregel-systeem matrix', 2010) wordt dan ook geconcludeerd dat de berekende reistijden en werkelijke reistijden voldoende overeenkomen. Alleen wanneer zich bijvoorbeeld een incident voordoet nadat de weggebruiker de DRIP is gepasseerd wordt achterhaalde en daardoor onjuiste informatie weergegeven. Dit is niet te voorkomen, alleen incarsystemen leveren deze informatie nog tijdig, maar ook hier geldt dat er een tijdsinterval zit tussen het incident en het ontvangen van de informatie door het navigatiesysteem.

### *Conclusie*

De nauwkeurigheid van de informatie is grotendeels afhankelijk van de data(collectie) en de processen en modellen om deze data te gebruiken voor reisinformatie. Voor Sensor City Assen wordt aangenomen dat de kwaliteit van de datacollectie en verwerking kwalitatief niet minder nauwkeurig is dan de gebruikte systemen in de studies die hierboven benoemd zijn, waarschijnlijk zelfs beter door een uitgebreid sensor netwerk. Aangenomen kan dus worden dat de betrouwbaarheid van het sensorcity systeem op zichzelf niet in negatieve zin van invloed is op het aanpassingsgedrag. Dit betekent dat wanneer het aanpassingsgedrag van reisinformatie op DRIP's en navigatiesystemen wordt bepaald, aan de hand van evaluaties van andere toepassingen van deze systemen in binnen of buitenland, de component betrouwbaarheid hierbij in zit. Voor de toepassing in sensorcity hoeft dit aanpassingsgedrag niet gecorrigeerd te worden door een hogere of lagere betrouwbaarheid. Voor verschillend aanpassingsgedrag als gevolg van de betrouwbaarheid van de reisinformatie op DRIP's en navigatiesystemen specifiek per gebruikersprofiel is geen informatie gevonden.

### **3.3 Gebruikersprofielen**

Uit de literatuurstudie is gebleken dat het niet eenvoudig is om een schatting te maken van het verwachte aanpassingsgedrag van weggebruikers en van de verschillen in aanpassingsgedrag tussen weggebruikers. Uit verschillende onderzoeken komt naar voren dat reisinformatie op DRIP's en navigatiesystemen minder invloed heeft op het routekeuzegedrag van weggebruikers die bekendheid hebben met het verkeersnetwerk. Deze weggebruikers maken gebruik van hun meningen van en ervaringen met het netwerk om een routekeuze te bepalen, zoals uit onderzoek naar het gebruik van reisinformatie in de regio Arnhem - Nijmegen (Rijkswaterstaat, 2004) en Amsterdam (Emmerink, Nijkamp, Rietveld, & Ommeren, 1995) is gebleken. Volgens deze studies betekent dit dat deze doelgroep moeilijker te beïnvloeden is dan andere doelgroepen. Andere doelgroepen met (veel) minder kennis van het netwerk zijn daardoor gevoeliger voor informatie op DRIP's voor het maken van de routekeuze. Echter, uit een evaluatie van het gebruik van DRIP's in de provincie Noord-Brabant (Dicke-Ogenia & Egeraat, 2011) blijkt juist dat woon-werk verkeer beter beïnvloedbaar is dan andere weggebruikers. Een oorzaak die genoemd wordt is dat weggebruikers voor een dagelijkse trip niet gebruik maken van een navigatiesysteem, terwijl weggebruikers met minder bekendheid van het

wegennet wel gebruik maken van een navigatiesysteem. Dit maakt dat de andere profielen dan woon-werk veel minder gevoelig zijn voor reisinformatie op DRIP's. In de literatuur is dus veel tegenstrijdige informatie te vinden over routekeuzegedrag van groepen weggebruikers.

### 3.3.1 DRIP's

Uit verschillende evaluaties van projecten waarbij DRIP's zijn ingezet blijkt dat het aanpassingsgedrag onder woon-werk verkeer tussen de 10 en 50% ligt (Chatterjee & McDonald, 2007) (Veluwen, 2009). Bij het meeste recente onderzoek van Dicke-Ogenia & Egeraat is reeds het effect van navigatiesystemen meegenomen. Hier blijkt dat het aanpassingsgedrag van DRIP's op woon-werkverkeer rond de 30% ligt. Van andere reismotieven is minder specifieke kennis over het aanpassingsgedrag beschikbaar. Daarom dient gekeken te worden naar factoren waar weggebruikers belang aan hechten bij het kiezen of vervolgen van een route. In een studie naar routekeuzegedrag (Veluwen, 2009) wordt een onderzoek aangehaald waarin is gekeken naar het belang dat verschillende groepen weggebruikers hechten aan bepaalde criteria voor het bepalen van de routekeuze. Hieronder is de tabel uit dit onderzoek weergegeven, waarin met 1 tot en met 3 de criteria worden aangeduid die voor die profielen het belangrijkste zijn.

Criterion type gebruiker	Op tijd arriveren	Min. reistijd	Min. aantal route-veranderingen	ervaringen	Min. reisafstand	Min. aantal verkeerslichten
<b>Woon-werk</b>	1	2	3			
<b>Zakelijk</b>	3	1		2		
<b>Lange afstand</b>	3	1			2	
<b>Recreatief</b>		2	1			3

Tabel 1, belang van criteria per weggebruiker (Veluwen, 2009). De waarde '1' geeft het criterium aan dat het belangrijkste is voor het bepalen van de routekeuze, gevolgd door criterium '2' en criterium '3'.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat zakelijk verkeer vooral waarde hecht aan de reistijd en veel minder aan het aantal routeveranderingen. Dit profiel heeft daardoor een hoger aanpassingspercentage dan woon-werkverkeer, dat het veranderen van route zwaarder beoordeeld. Recreatief verkeer heeft echter een veel lager aanpassingsgedrag, doordat deze groep gebruikers route veranderingen de hoogste prioriteit geeft. Deze groep wil dus zo min mogelijk van route veranderen waardoor het aanpassingsgedrag laag ligt. Ook uit onderzoek in Noord-Brabant na aanleiding van het gebruik van DRIP's blijkt dat recreatief verkeer een laag aanpassingspercentage kent, namelijk rond 6% (Dicke-Ogenia & Egeraat, 2011). Dit komt door de onbekendheid met het netwerk waardoor vastgehouden wordt aan de vooraf uitgestippelde route. Daarnaast komt uit een studie uit de Verenigde Staten naar voren (Srinivasan & Mahmassani, 2003) dat ook het risicomijdend gedrag van een deel van de weggebruikers in dit profiel zorgt voor het lage aanpassingspercentage. Uit het onderzoek blijkt dat jonge vrouwen en oudere mensen op basis van route-informatie minder snel van routekeuze veranderen dan de andere weggebruikers. Als reden hiervoor wordt opgegeven dat deze groepen risicovermijdend gedrag vertonen.

### 3.3.2 Navigatiesystemen

Het gebruik van het navigatiesysteem hangt samen met gebruikersprofielen. Dit komt voornamelijk door de bekendheid / onbekendheid met het netwerk. Zo blijkt uit onderzoek dat naar een nagenoeg onbekende bestemming 95% van de bezitters van een navigatiesysteem deze ook daadwerkelijk gebruikt. Naar een enigszins bekende bestemming is dat 50%, en naar een bekende bestemming slechts 20% (Kattelaar, Sombekke, & Mieghem, 2009). Hieruit wordt geconcludeerd dat het gebruik

van navigatiesystemen bijvoorbeeld onder woon-werk verkeer beduidend lager is dan bij zakelijk en recreatieverkeer, doordat er een verschil in bekendheid zit met het netwerk tussen deze profielen. In het onderzoek is geen onderscheid aangetoond in het gebruik van statische en dynamische navigatiesystemen.

### 3.4 Verkeerssituatie

De mate van het aanpassingsgedrag is ondermeer sterk afhankelijk van de verkeerssituatie. In de voorgaande paragrafen is uitgegaan van een 'gewone' verkeerssituatie, of te wel zonder incidenten als plotselinge wegafsluitingen door (spoed)wegwerkzaamheden of ongelukken. Het aanpassingsgedrag verschilt bijvoorbeeld tussen een situatie waarin een route volledig gestremd is of beperkt beschikbaar is. Daarnaast is het aanpassingsgedrag afhankelijk van de extra reistijd die nodig is voor een alternatieve route. Bij evenementen is het aanpassingsgedrag weer anders doordat er andere verkeerssituaties zijn en andere gebruikersprofielen. Hieronder worden deze specifieke situaties beschreven.

#### *Stremmingen*

Dynamische navigatiesystemen ontvangen informatie over stremmingen en kunnen dus omgeleid worden bij stremmingen. De statische navigatiesystemen ontvangen deze informatie niet. Deze systemen blijven dus een route tonen over een gestremde weg. Bij werkzaamheden zijn dan ook regelmatig borden te zien die 'zet navigatie uit' tonen met als doel dat de weggebruikers de gewenste omleidingsroutes gaan volgen die daar staan aangegeven. In hoeverre weggebruikers met een statisch navigatiesysteem ook daadwerkelijk gehoor geven aan deze oproep is niet duidelijk. Wel blijkt uit onderzoek dat navigatiesysteemgebruikers over het algemeen (niet specifiek bij stremmingen) een grotere waarde hechten aan de informatie van de navigatie systemen dan van borden/DRIP's. Enerzijds doordat voor het systeem en de informatie betaald is, anderzijds doordat het persoonlijke informatie betreft in plaats van de meer algemene informatie die op DRIP's/borden getoond wordt (Veluwen, 2009).

In algemene zin blijkt uit evaluaties dat het aanpassingsgedrag van DRIP's die ingezet werden bij stremmingen rond de 30 - 40 % ligt (Rijkswaterstaat, Domeinarchitectuur Wegverkeersmanagement; Rapportage fase 3: 'Systeem-maatregel-systeem matrix', 2010), zonder dat daarbij specifiek naar het gedrag van navigatiesysteemgebruikers is gekeken. Bovendien is dit aanpassingsgedrag afhankelijk van het type stremming en de beschikbaarheid van alternatieve routes. In een situatie met een volledige stremming en slechts één alternatieve route is aanpassingsgedrag van 100% mogelijk.

#### *Evenementen*

Bij evenementen komen nieuwe relaties in het verkeersnetwerk, hier bezoekers genoemd. Deze hebben een ander aanpassingsgedrag dan de profielen die in de gewone verkeerssituatie in het netwerk aanwezig zijn. Ook worden vaak bij evenementen speciale maatregelen genomen, zoals het oprichten van extra parkeervoorzieningen of het treffen van speciale capaciteitsmaatregelen in het netwerk. Uit hetzelfde onderzoek als hierboven is aangehaald van Rijkswaterstaat is gebleken dat bij evenementen het aanpassingsgedrag van de bezoekers rond de 50% ligt. Wel wordt opgemerkt dat het aanpassingsgedrag afhankelijk is van de grootte van het evenement, het aantal alternatieve routes, de aanwezige parkeervoorzieningen en de locatie van een evenement.

*Extra reistijd/afstand*

Alternatieve routes mogen niet langer mogen zijn dan 1,4 keer de reistijd op de voorkeursroute (Baets, Lauwers, & Allaert, 2010). Een langere route wordt niet of nauwelijks gebruikt. 1,4 vormt dus het maximum, ongeacht de verkeerssituatie. Het verloop van de afname van het aanpassingsgedrag tussen de reistijd op de voorkeursroute en 1,4 keer deze reistijd is onbekend.

**3.5 Conclusies**

Hieronder zijn de conclusies genummerd die in de hierboven besproken literatuur naar voren zijn gekomen. Naar deze nummers wordt verwezen bij het schatten van het aanpassingsgedrag van DRIP's en navigatiesystemen in bijlage 4.1.

- 1) Het aanpassingsgedrag van sturende informatie is groter dan van beschrijvende informatie.
- 2) 60% van de huishoudens beschikt over 1 of meerdere navigatiesystemen
- 3) Ongeveer 20% van de navigatiesystemen ontvangt dynamische (of realtime) informatie.
- 4) 2% van de gebruikers is niet tevreden over de betrouwbaarheid van de informatie op DRIP's, 50% geeft aan dat de informatie niet altijd betrouwbaar is.
- 5) Aanpassingsgedrag van informatie op DRIP's door woon-werkverkeer ligt rond de 30% met afwijkingen tot 10 en 50%.
- 6) Woon-werkverkeer hecht de meeste waarde bij routekeuzes aan het op tijd arriveren op de bestemming, gevolgd door het minimaliseren van de reistijd en het minimaliseren van routeveranderingen.
- 7) Zakelijkverkeer hecht de meeste waarde bij routekeuzes aan het minimaliseren van de reistijd, gevolgd door eerdere ervaringen met routes en het op tijd arriveren op bestemming.
- 8) Recreatieverkeer hecht de meeste waarde bij routekeuzes aan het minimaliseren van routeveranderingen, gevolgd door het minimaliseren van de reistijd en het minimaliseren van het aantal verkeerslichten op een route.
- 9) Aanpassingsgedrag van informatie op DRIP's door recreatief verkeer is ongeveer 6%.
- 10) Naar een nagenoeg onbekende bestemming gebruikt 95% van de weggebruikers die beschikken over een navigatiesysteem daadwerkelijk het navigatiesysteem.
- 11) Naar een enigszins bekende bestemming gebruikt 50% van de weggebruikers die beschikken over een navigatiesysteem daadwerkelijk het navigatiesysteem.
- 12) Naar een bekende bestemming gebruikt 20% van de weggebruikers die beschikken over een navigatiesysteem daadwerkelijk het navigatiesysteem.
- 13) In het geval van een stremming (door werkzaamheden of een ongeluk) ligt het aanpassingsgedrag van informatie op DRIP's tussen de 30 en 40%, maar dit kan sterk afwijken in bepaalde verkeerssituaties.
- 14) Bij evenementen ligt het aanpassingsgedrag van informatie op DRIP's gemiddeld rond de 50%, maar dit kan sterk afwijken in bepaalde verkeerssituaties.
- 15) De maximale extra reistijd op een route die aanvaard wordt is 1,4 keer de reistijd van de voorkeursroute.
- 16) 6% van de gebruikers van een dynamisch navigatiesysteem negeert een door het navigatiesysteem gegeven routeverandering en vervolgt de oorspronkelijke route.
- 17) Aan de persoonlijke informatie die de weggebruiker via een navigatiesysteem krijgt wordt meer waarde gehecht dan aan de algemene informatie die (bijvoorbeeld via DRIP's) wordt gegeven.

## Bijlage 4: Schatting aanpassingsgedrag

In deze bijlage is weergegeven hoe de waardes bepaald zijn die in de tabellen 1 en 2 in hoofdstuk 4 zijn opgenomen.

### 4.1 Aannames/uitgangspunten voor schatting

Voor het schatten van het aanpassingsgedrag zijn aannames gedaan. Deze zijn zoveel mogelijk gebaseerd op de conclusies die in bijlage 3.5 zijn beschreven en hieronder wordt ook naar die conclusies verwezen. De volgende aannames zijn gedaan:

- Het gedeelte van de weggebruikers dat wel een navigatiesysteem heeft maar deze tijdens de rit niet gebruikt gedraagt zich als een weggebruiker zonder navigatiesysteem.
- Woon-werk verkeer wordt aangemerkt als verkeer dat zich verplaatst naar een bekende bestemming (conclusie 12 wordt gebruikt).
- Zakelijk verkeer wordt aangemerkt als verkeer dat zich verplaatst naar een enigszins bekende bestemming (conclusie 11 wordt gebruikt). Een gedeelte van het verkeer komt uit de omgeving of komt regelmatig en is dus erg bekend met het netwerk, een ander deel komt veraf of slechts zelden en is volledig onbekend met het netwerk. Daarom is het midden genomen.
- Winkel verkeer wordt aangemerkt als verkeer dat zich verplaatst naar een enigszins bekende bestemming (conclusie 11 wordt gebruikt). Ook hier geldt dat een gedeelte uit de omgeving komt of regelmatig komt winkelen en dus erg bekend is met het netwerk, een ander deel komt van veraf of komt slechts zelden winkelen en is volledig onbekend met het netwerk. Daarom is het midden genomen.
- Overig verkeer wordt aangemerkt als verkeer dat zich verplaatst naar een enigszins bekende bestemming (conclusie 11 wordt gebruikt). Voor deze doelgroep is het gemiddelde qua bekendheid gekozen, doordat onbekend is wat de precieze samenstelling van de groep is.
- De aanbevolen routes worden doorgestuurd naar de providers van navigatiesystemen. Deze sturen de informatie door naar gebruikers van dynamische navigatiesystemen. Aangenomen wordt dat de informatie die de wegbeheerder aan de providers doorgeeft de situatie weergeeft zodat de snelste route (die het navigatiesysteem aangeeft) overeenkomt met de, vanuit het verkeersmanagement voor die gebruiker, gewenste route. Dit wordt bereikt door aan te geven dat op andere routes beperkende capaciteitsmaatregelen worden toegepast. Hierdoor geeft het navigatiesysteem de gewenste route als snelste route aan.
- Voor de statische navigatiegebruikers die geconfronteerd worden met reisinformatie op DRIP's is aangenomen dat het aanpassingspercentage de helft is van het aanpassingspercentage van DRIP's van de gebruikers zonder navigatie. Een lager percentage in vergelijking met gebruikers zonder navigatiesysteem is gehanteerd op basis van conclusie 17.
- aanpassingsgedrag van zakelijk verkeer zonder navigatie is 10% hoger dan dat van woon-werk verkeer. Uit conclusies 6 en 7 blijkt dat zakelijk verkeer de reistijd belangrijker vindt en minder waarde hecht aan routewijzigingen dan woon-werkverkeer. Een hoger percentage voor het aanpassingsgedrag wordt daarom verwacht van het zakelijk verkeer.
- Aanpassingsgedrag van winkel verkeer zonder navigatie is op 6% geschat, op basis van conclusies 8 en 9.
- Voor het aanpassingsgedrag van 'overig' verkeer van informatie op DRIP's is het gemiddelde genomen van de profielen 'woon-werk' en 'winkel'. Inschatting is dat 'overig' verkeer bestaat uit

verkeer met veel bekendheid en deels uit verkeer dat onbekend is met het netwerk. Ditzelfde geldt voor de tijdsdruk van de ritten. Daarom is het gemiddelde genomen.

- Met een stremming wordt bedoeld op bijvoorbeeld een ongeluk of wegwerkzaamheden. In dat geval neemt het aanpassingsgedrag van DRIP's voor woon-werk, zakelijk, winkel en overig verkeer met respectievelijk 10%, 10%, 20% en 15% toe ten opzichte van de 'gewone' verkeerssituatie. De stijging van 10% van woon-werk is gebaseerd op percentages die gevonden zijn in de literatuur (conclusie 13). Voor zakelijk verkeer is hetzelfde percentage gekozen omdat er geen informatie is over een ander percentage voor deze groep. Voor winkel verkeer is een hoger percentage (het dubbele) gekozen, omdat deze groep meer onbekend is met het netwerk en al een laag aanpassingspercentage heeft zonder stremming. Wanneer de vooraf uitgestippelde route gestremd blijkt te zijn is de verwachting dat het aanpassingsgedrag van deze groep meer toeneemt doordat zij minder kennis heeft over alternatieve routes. Voor overig verkeer is weer het gemiddelde genomen tussen woon-werk en winkel verkeer.
- Het aanpassingsgedrag is onafhankelijk van de reistijd/reisafstand ten opzichte van de voorkeursroute, zolang deze niet meer dan 1,4 keer de reistijd van de voorkeursroute bedraagt (conclusie 15). Hiervoor is gekozen omdat er geen informatie is over de afname van het aanpassingsgedrag als gevolg van een langere reistijd op alternatieve routes.

Met behulp van deze aannames wordt het aanpassingsgedrag bepaald door deze te combineren met de gevonden percentages voor het aanpassingsgedrag.

## 4.2 Gewone verkeerssituatie

Hiermee wordt bedoeld op het aanpassingsgedrag van verschillende profielen in bijvoorbeeld een ochtend of avondspits, zonder incidenten (ongevallen of wegwerkzaamheden)

### 4.2.1 Aanpassingsgedrag van een dynamisch navigatiesysteem

Berekening:  $A * B * C * D$ ,

waarbij:

A = percentage van het profiel dat beschikt over een navigatiesysteem.

B = percentage van het profiel dat het navigatiesysteem gebruikt.

C = percentage van het aantal navigatiesystemen dat dynamisch is.

D = percentage van het aantal dynamisch navigatiesysteem gebruikers dat de routekeuze aanpast na een routeverandering van het systeem.

Voor A t/m D zijn de volgende waarden genomen op basis van de aannames/uitgangspunten die in paragraaf 4.2 zijn beschreven. Dit levert het volgende resultaat op:

Profiel	A	B	C	D	A*B*C*D
Woon-werk	60%	20%	20%	94%	2%
Zakelijk	60%	50%	20%	94%	6%
Winkel	60%	50%	20%	94%	6%
Overig	60%	50%	20%	94%	6%

Tabel 2, aanpassingspercentage per profiel van informatie op dynamische navigatiesystemen

#### 4.2.2 Aanpassingsgedrag van DRIP's, met statisch navigatiesysteem in gebruik

Berekening:  $A * B * C * D$ ,

A = percentage van het profiel dat beschikt over een navigatiesysteem.

B = percentage van het profiel dat het navigatiesysteem gebruikt.

C = percentage van het aantal navigatiesystemen dat niet dynamisch is.

D = percentage van het aantal statische navigatiegebruikers dat reisinformatie op DRIP's opvolgt welke anders is dan de informatie op het navigatiesysteem.

Voor A t/m D zijn de volgende waarden genomen op basis van de aannames/uitgangspunten die in paragraaf 4.2 zijn beschreven. Dit levert het volgende resultaat op:

Profiel	A	B	C	D	$A*B*C*D$
Woon-werk	60%	20%	80%	15%	1%
Zakelijk	60%	50%	80%	20%	5%
Winkel	60%	50%	80%	3%	1%
Overig	60%	50%	80%	9%	2%

Tabel 3, aanpassingspercentage per profiel van informatie op DRIP's met gebruik van een statisch navigatiesysteem

#### 4.2.3 Aanpassingsgedrag van DRIP's, zonder gebruik van navigatiesystemen

Berekening:  $(A + B - A*B)*C$

A = percentage van het profiel dat niet beschikt over een navigatiesysteem.

B = percentage van het profiel dat het navigatiesysteem niet gebruikt.

C = percentage van het profiel dat de informatie op DRIP's opvolgt.

Voor A t/m C zijn de volgende waarden genomen op basis van de aannames/uitgangspunten die in paragraaf 4.2 zijn beschreven. Dit levert het volgende resultaat op:

Profiel	A	B	C	$(A+B-AB)*C$
Woon-werk	40%	80%	30%	26%
Zakelijk	40%	50%	40%	28%
Winkel	40%	50%	6%	4%
Overig	40%	50%	18%	13%

Tabel 4, aanpassingspercentage per profiel van informatie op DRIP's zonder gebruik van een navigatiesysteem

#### 4.2.4 Totaal aanpassingspercentage gewone verkeerssituatie

Optellen van de waardes per profiel levert de volgende waardes op:

profiel	Dynamische navigatie	DRIP's (met statische navigatie)	DRIP's zonder navigatie	Totaal
Woon-werk	2%	1%	26%	29%
Zakelijk	6%	5%	28%	39%
winkel	6%	1%	4%	11%
overig	6%	2%	13%	21%

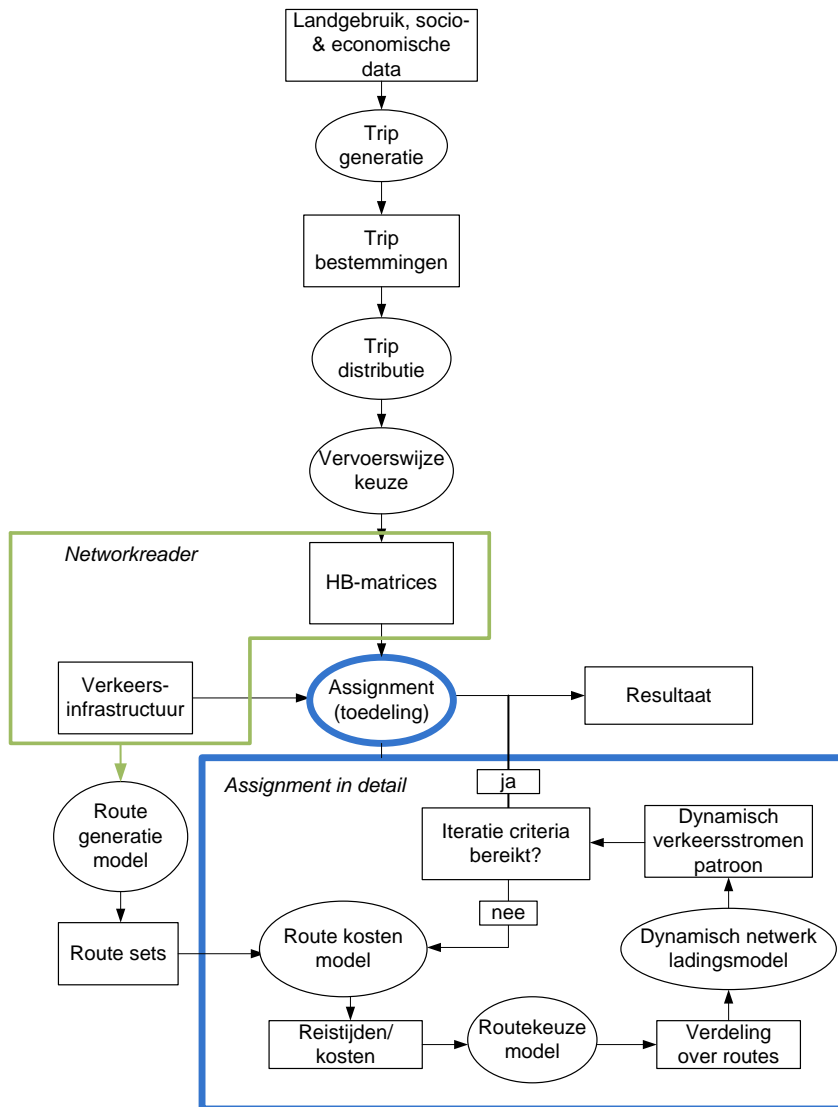
Tabel 5, aanpassingspercentage per profiel



## Bijlage 5: Streamline

In deze bijlage is de werking en het gebruik van Streamline in dit project toegelicht.

Streamline bestaat uit meerdere blokken die samen voor het modelleren van de verkeersstromen zorgen. De schematische opbouw van het model is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3, opbouw van Streamline

In de volgende paragrafen worden de belangrijkste delen van dit schema toegelicht. Tot slot wordt nog beschreven welke data in het model verwerkt is voor dit onderzoek.

### De Networkreader

Hierin wordt gedefinieerd welk fundamenteel diagram type wordt gebruikt, in dit geval Van Aerde. Daarnaast wordt aangegeven welk netwerk voor welke voertuig wordt gebruikt en welke tijdsperiode. Naast het netwerk moet ook aangegeven worden welke gebruikersprofielen uit de HB-matrix moeten worden toegedeeld. Belangrijk onderdeel van het instellen van de networkreader is het instellen van de fracties. Het aantal fracties geeft aan in hoeveel tijdstappen het verkeer moet worden toegedeeld. De grootte van een fractie geeft aan welk gedeelte van het verkeer moet worden toegedeeld. Dit geeft de simulatie een dynamische werking, doordat de grootte van een

fractie verschilt (per tijdseenheid en per voertuigcategorie). Op het drukste moment van de spits wordt er een grotere fractie van het verkeer toegedeeld, waardoor de simulatie beter overeenkomt met de werkelijke situatie.

In dit project zijn er 20 fracties gemaakt, welke verschillen in grootte. Met een simulatie voor 5 uur betekent dit dat voor ieder kwartier een aparte fractie verkeer is vastgesteld. De beschikbare matrix bestaat echter uit de verkeersdata voor een spitsperiode van 7.00 tot 9.00 uur. Het totaal van de fracties dat tussen 7.00 en 9.00 wordt toegedeeld is dan ook 1. Het totaal van de fracties voor de gehele simulatie is groter dan 1. Dit betekent dat er meer verkeer wordt toegedeeld dan dat er in de matrix is opgenomen. Hiervoor is gekozen omdat er verkeer nodig is voor vijf uren, terwijl er maar een matrix is voor twee uren. Met behulp van de MON (mobiliteitsonderzoek Nederland) is bepaald welke fracties overeenkomen met de tijdsperiodes.

### *Route generator*

Streamline genereert een set van routes. Hiervoor wordt eerst met behulp van het Dijkstra algoritme bepaald wat de routes met de laagste gegeneraliseerde kosten zijn. Vervolgens wordt een set van alternatieve routes vastgesteld, waarvan de grootte van de set van tevoren wordt opgegeven. Om deze (qua grootte) beperkte set van routes mogelijk te maken filtert Streamline uit het totaal aantal mogelijkheden een aantal routes. Met een Monte-Carlo simulatie worden alternatieve routes gegeneerd. Op basis van een maximale overlap met routes die zich al in de set bevinden en een bepaling van de extra gegeneraliseerde kosten ten opzichte van de aanvaardbare extra gegeneraliseerde kosten van een alternatieve route wordt bepaald of een alternatieve route onderdeel gaat uitmaken van de set van routes. De grootte van de set van routes is hier gesteld op 3.

De set van routes wordt bepaald aan het begin van iedere simulatie. De set wordt gedurende een simulatie niet aangepast.

### *Routekeuze manager*

Dit onderdeel bestaat uit het 'route kosten model' en het 'routekeuze model'.

Het routekeuze gedrag wordt in de routekeuze manager gemodelleerd. Hiermee wordt het verkeer toegedeeld over de verschillende routes uit de set zoals deze hierboven is bepaald voor ieder herkomst - bestemmingpaar. In dit project is gebruik gemaakt van de PCLRoute choice, paired combinatorial logit methode, waarbij het verkeer over routes wordt verdeeld naar rato van de gegeneraliseerde kosten. Om dit te simuleren wordt het MaDAM-model gebruikt.

Op een aantal momenten gedurende de gehele modellering (begin nieuwe iteraties) en tijdens iteraties wordt een nieuwe verdeling over de routes uit de routesets bepaald. Hiervoor wordt, op het tijdstip dat gebruikt wordt voor het bepalen van de verdeling over de routes, bekeken wat de gegeneraliseerde kosten over de verschillende routes zijn. MaDAM modelleert hoe groot de intensiteit op een link is. Streamline telt gedurende de simulatie hoeveel verkeer een link in en uitgegaan is, op basis van de door MaDAM bepaalde karakteristieken. Door het optellen van het aantal voertuigen bepaalt Streamline hoe lang het duurt voordat een voertuig een link passeert, zonder dat op voertuigniveau wordt gemodelleerd (het is immers een macroscopisch model). Bijvoorbeeld, het tijdsverschil tussen het moment waarop het 800ste voertuig de link op rijdt en het moment waarop het 800ste voertuig de link verlaat bepaalt de reistijd op die link. Vervolgens

worden de reistijden van de verschillende links, welke onderdeel uitmaken van een route, bij elkaar opgeteld. Een vergelijking tussen de verschillende routes is dan mogelijk.

In de routemanager wordt aangegeven hoe de routekeuze wordt gemodelleerd en wanneer de verdeling van de fracties over de routes uit de routesets opnieuw wordt berekend:

- op  $t = 0$  in de eerste iteratie vindt de verdeling over de routes plaats op basis van de directe reistijden.
- op  $t = 0$  van alle volgende iteraties wordt gebruik gemaakt van de eerdere iteraties voor het bepalen van de verdeling over de routes.
- op bepaalde tijdstippen wordt opnieuw de routekeuze geëvalueerd (pre-triproutechoice). In dit geval gebeurt dit vanaf 7.00 uur tot 10.00 uur in de ochtendspits om de 15 minuten. (het aantal pre-triproutechoice momenten heeft grote invloed op de simulatietijd, een vermindering van het aantal evaluatiemomenten zorgt voor een kortere simulatietijd. Daarom dient een afweging gemaakt te worden tussen simulatietijd en het aantal evaluatie momenten.)

Voor het bepalen van de nieuwe verdeling over de routes uit de routeset wordt de verkeerssituatie gebruikt die is ontstaan in het midden van een interval tussen twee opeenvolgende routekeuze momenten. (bijvoorbeeld: stel dat om de 900 seconden een nieuwe routekeuze wordt toegepast. Voor het bepalen van de nieuwe verdeling over de routes die vanaf  $t = 900$  wordt toegepast wordt dan de situatie op  $t = 1350$  (is het midden tussen  $t = 900$  en  $t = 1800$ ) gebruikt voor het berekenen van de gegeneraliseerde kosten van de verschillende routes. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het resultaat uit de vorige iteratie. Bij de eerste iteratie is dit (natuurlijk) niet mogelijk. In dat geval wordt gebruik gemaakt van de reistijden die op dat ogenblik optreden.)

### *Dynamisch netwerk ladingsmodel*

Dit onderdeel bestaat uit drie subonderdelen: een propagatiemodel, een kruispuntenmodel en een controlmodel.

#### *Propagatiemodel*

Zoals hierboven genoemd, wordt in dit Streamline-project gebruik gemaakt van het MaDAM-model voor het modelleren van de verspreiding van het verkeer over het netwerk. Hiervoor berekent het model de gegeneraliseerde kosten, deze worden voornamelijk bepaald door de afstand, karakteristieken van de link en het aanwezige verkeer op de link. MaDAM modelleert daarmee wat de invloed is van een toe of afname van het verkeer op de gegeneraliseerde kosten op die link.

Zoals in de vorige paragraaf beschreven wordt op basis van de routekosten de verdeling van de verkeersfracties over de set van routes bepaald, waarvoor de PCLroutechoice methode wordt gebruikt. Bij deze methode worden de fracties toegedeeld op basis van de routekosten, waarbij de route met de laagste kosten de grootste fractie krijgt toegedeeld. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de 'All-or-nothing' methode, waarbij de gehele fractie wordt toegedeeld aan de route met de laagste kosten.

Streamline itereert dit proces volgens het 'successive average', in de eerste iteratie 'reageert' 100% van het verkeer op verandering van de routefracties, in de 2e iteratie 50% en de 3e 33%. Dit verloopt volgens de verdeling: [nummer van de iteratie<sup>(-1)</sup>].

### Junction model

In Streamline wordt voor het modelleren van het verkeersgedrag op kruispunten het XStream model gebruikt. Het junction model wordt voor elke 5 minuut gerund, wat betekent dat elke 5 minuten opnieuw wordt berekend wat de vertraging is op een kruispunt, aan de hand van de hoeveelheid verkeer dat op dat moment naar en van het kruispunt rijdt. Naast de actuele verkeerssituatie wordt de 'vertraging' ook bepaald door het type kruispunt en de karakteristieken van het kruispunt, waaronder de scherpte van bochten, aantal rijstroken en de lengte van voorsorteerstroken. De vertraging wordt gebruikt voor het berekenen van de reistijden op de verschillende routes.

### Control model

Dit onderdeel maakt het mogelijk om dynamische verkeersmaatregelen tijdens de simulatie toe te passen. Tot de mogelijkheden behoren: toeritdosering, toepassing van DRIP'S, het afsluiten van rijstroken, uitstroom beperking van een link en het veranderen van het fundamental diagram. Dit laatste maakt het mogelijk om per link veranderingen in snelheid of capaciteit toe te passen.

De toepassing van DRIP'S is in meer detail uitgezocht, omdat deze functie gebruikt wordt voor het bepalen van het effect van het herverdelen van verkeer. Een drip wordt geplaatst op een punt in het netwerk, waarbij vervolgens wordt aangegeven aan welke link de drip is verbonden en op welke routes de drip invloed heeft. Alleen het verkeer dat gebruik maakt van de gehele opgegeven route wordt beïnvloed. De wijze waarop de drip de verdeling van het verkeer over de opgegeven routes beïnvloed wordt opgegeven, afhankelijk van het gekozen type drip. Er zijn drie varianten beschikbaar:

- de 'statische variant': de werking van deze dripversie vindt plaats tijdens een vooraf gedefinieerde tijdsperiode met een vooraf ingestelde verdeling over de routes.
- de 'dynamische variant': de werking van deze dripversie vindt plaats tijdens een vooraf gedefinieerde tijdsperiode. Gedurende de werking wordt het verkeer over de 2 of meer routes verdeeld op basis van de gegeneraliseerde kosten (wordt iedere seconde bepaald).
- de 'hoofdroute variant': de werking van deze dripversie vindt plaats tijdens een vooraf gedefinieerde tijdsperiode. Het verschil ten opzichte van de statische variant is dat bij deze versie een hoofdroute is gedefinieerd. Vervolgens wordt aangegeven welk percentage van deze hoofdroute wordt verplaatst naar 1 of meerdere alternatieve routes.

In dit onderzoek is de laatste variant gebruikt, omdat hier verkeer van een route omgeleid dient te worden naar een andere route. De werking van de 'hoofdroute' variant sluit hier het beste op aan. De toepassing van DRIP's in dit onderzoek wordt in het volgende hoofdstuk nader toegelicht.

### Resultaat

De resultaten van het model worden samengevoegd per 900 seconden. Dat betekent dat per 15 minuten bekeken wordt wat de verkeerssituatie in het netwerk is. Iedere 15 minuten kan een plot gemaakt worden van bijvoorbeeld de dichtheid, intensiteit/capaciteit en snelheid om de situatie in het netwerk te bekijken. Daarnaast kunnen per 15 minuten, maar ook voor de gehele ochtendspits, rapporten gemaakt worden met een weergave van de intensiteiten per wegtype, totaal aantal voertuigkilometers in het netwerk en totale reistijd in het netwerk, om verschillen tussen alternatieven te kunnen bekijken.

### *Data*

De data in het model zijn van een gemiddelde werkdag op basis van verkeerstellingen in 2010. Van deze gemiddelde werkdag is de 2-uurs ochtendspits, de 2-uurs avondspits en de 'restdag' in het verkeersmodel beschikbaar.

Met behulp van de ochtendspits data wordt er gemoduleerd voor de periode van 6 uur tot en met 11 uur. Normaal gesproken wordt voor de ochtendspits de 2-uurs periode van zeven tot negen uur genomen. Hier wordt bij de Streamline toepassing van afgeweken, omdat er voor het correct modeleren vanaf 7 uur een verkeersnetwerk moet zijn dat reeds gevuld is met verkeer. Daarom wordt er om zes uur begonnen. Het eerste uur van de modellering is in feite dus de vulling van het verkeersnetwerk. Het verkeer dat om negen uur onderweg is of net vertrokken is moet ook op de juiste wijze gemoduleerd worden. Daarom wordt door gemodelleerd tot tien uur. Omdat tot tien uur het netwerk volledig gevuld moet blijven om goed te modelleren, eindigt de modulatie om elf uur. Na tien uur loopt het netwerk (langzaam) leeg.

De data in het model zijn afkomstig uit een grotere database, namelijk uit die van de regio Groningen-Assen. Voor het Sensor City project is een uitsnede van dit model gemaakt, waarbij alle zones die binnen 15 minuten reistijd liggen van/naar Assen zijn meegenomen. De data in het model zijn grover gemaakt dan dat deze oorspronkelijk is verzameld, omdat de rekentijd van het model moet worden teruggebracht naar vijf minuten. Dit is voor het Sensorcity project noodzakelijk om het verkeer met actuele informatie aan te sturen. Door het samenvoegen van zones (van 1136 naar 214) is de rekentijd van het model teruggebracht.

## Bijlage 6: Stappenplan voor het simuleren

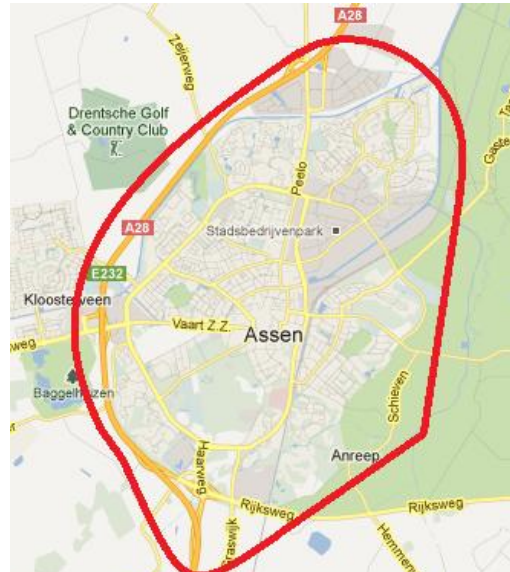
In hoofdstuk 6 is aangegeven welke middelen gebruikt worden voor het simuleren en welke situaties gesimuleerd worden. In deze bijlage is stap voor stap uitgewerkt welke handelingen in het verkeersmodel gedaan worden en welke aannames gedaan zijn om de vertaling van de operationalisatie uit hoofdstuk 5 naar het verkeersmodel mogelijk te maken. Eerst zijn implementatie stappen beschreven welke noodzakelijk zijn om de stappen uit de operationele fase in het model te kunnen uitvoeren.

### 6.1 Implementatie stappen:

#### *Afbakenen van het netwerk.*

Het verkeersnetwerk dat beschikbaar is bevat het wegennet in en rondom Assen. Voor deze opdracht wordt alleen het netwerk in het stedelijk gebied van de gemeente Assen beschouwd. De afbakening van het gebied is gemaakt op basis van de aanwezige snelweg en het stedelijke gebied dat ten oosten hiervan ligt. De afbakening is zo gekozen dat de wegen logisch doorsneden worden. De afbakening is weergegeven in het figuur hiernaast.

In het model is deze afbakening toegepast door een uitsnede van het verkeersnetwerk te maken. Hiervoor is gebruik gemaakt van een cordonanalyse. Het cordon is globaal gevormd volgens de lijn zoals hierboven is weergegeven. Op de doorsnijdingen van de wegen ontstaan nieuwe zones. Deze zones vormen het begin of eindpunt van relaties die via deze weg het gebied in of uitgaan. Om te bepalen welke (gedeeltes van) relaties gebruik maakt van de wegen die doorsneden worden, wordt een All-or-nothing toedeling uitgevoerd voor het vrachtverkeer en vervolgens een statische volumeaverage toedeling voor het autoverkeer waarbij rekening gehouden wordt met het al toegedeelde vrachtverkeer. Vervolgens wordt het nieuwe verkeersnetwerk gemaakt. Deze stap zorgt ervoor dat het aantal zones gereduceerd wordt van 214 naar 101, wat de simulatie tijd verkort en het aantal relaties verminderd.



Figuur 4, afbakening gebied, met rood is de globale afbakening van het gebied weergegeven

#### *Aanwezige profielen*

In dit model zijn HB-matrices beschikbaar van de profielen 'woon-werk', 'zakelijk', 'winkelen', 'overig'. Deze HB-matrices zijn bepaald op basis van de totale matrix voor het autoverkeer. Met behulp van riteind-berekeningen is een schatting gemaakt van de verdeling van de ritten over de profielen. Vervolgens is met de methode van Furness per profiel een HB-matrix gemaakt voor de 2-uurs ochtendspits.

#### *Bepalen van prioriteit*

Er dient prioriteit te worden toegekend aan de profielen woon-werk, zakelijk, winkel en overig verkeer. In het gemeentelijk beleid is hierover niets vastgesteld. Daarom dient een prioriteit aangenomen te worden. Deze is in de tabel hieronder weergegeven voor een ochtendspits:

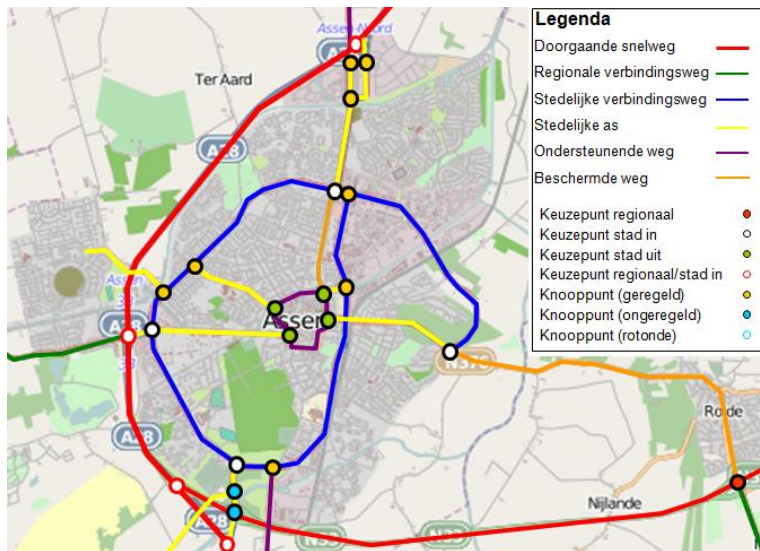
profiel	prioriteit
<b>Woon-werk</b>	1
<b>Zakelijk</b>	3
<b>Winkel</b>	2
<b>Overig</b>	4

Tabel 17, prioriteiten van gebruikersprofielen, waarbij '1' de hoogste prioriteit weergeeft en '4' de laagste.

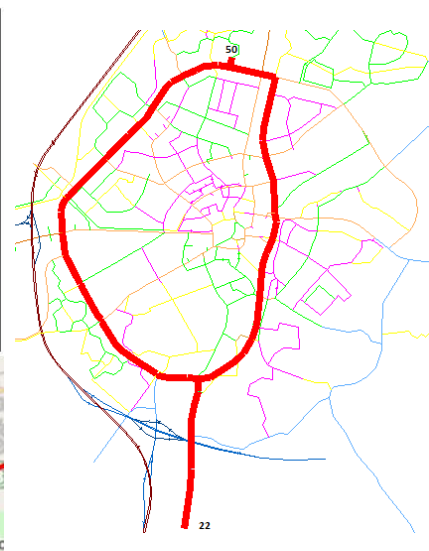
In het verkeersmodel kan geen prioriteit worden toegekend aan relaties op basis van de aanwezige profielen. Dit is ook niet nodig, doordat de verdeelprincipes handmatig gestart worden en de verdeling van de relaties over het netwerk dus niet automatisch plaats vindt.

### Bepalen van routes voor relaties

Eerst is bepaald welke wegen beschikbaar zijn. In het gemeentelijk verkeer en vervoersplan is een wegenkaart opgenomen waarop is aangegeven wat de functie van wegen is of wordt. Aangezien deze indeling sterkt verouderd is, wordt een andere kaart gebruikt. Deze is niet vastgelegd in gemeentelijk beleid, maar sluit beter aan bij de huidige functie en inrichting van de wegen. Zie hiervoor het figuur hieronder:



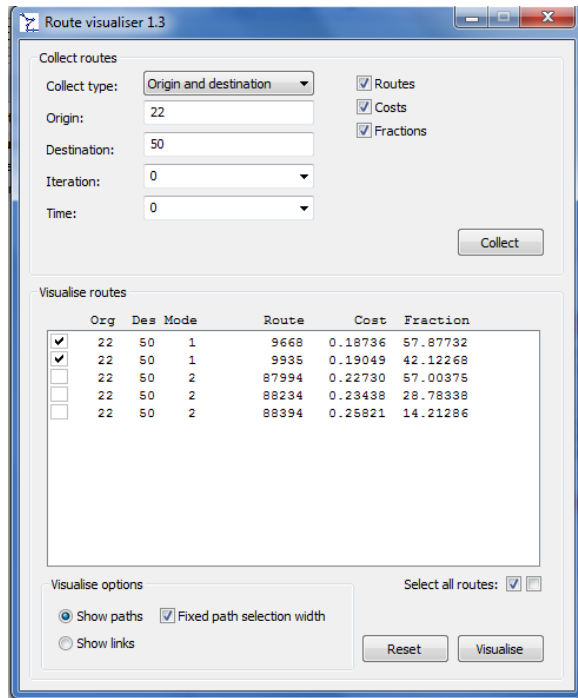
Figuur 5, indeling wegennet



Figuur 6, visualisatie van de routes van zone 22 naar zone 50

De wegen die in oranje zijn weergegeven (beschermde wegen) en alle overige wegen die niet met een specifieke kleur zijn aangeduid worden niet gebruikt voor het omleiden van het verkeer.

In het netwerk dienen de huidige routes en de mogelijke routes per relatie gedefinieerd te worden. Dit is mogelijk met de routes die Streamline genereert. Streamline creëert een set van routes voor elke HB-relatie. In dit geval is ingesteld dat Streamline voor iedere relatie maximaal 3 routes creëert. De routes worden gemaakt voor ieder HB-paar zonder onderscheid naar profiel. Uit deze set kunnen eventueel handmatig routes worden verwijderd. Op deze manier is dus duidelijk welke routes er voor iedere relatie in het model beschikbaar zijn en is het mogelijk om routes die niet van het 'beschikbare wegennet' gebruik maken te verwijderen.



**Figuur 7, de routevisualiser, geeft per HB-paar de routes weer, de kosten (=reistijd) en de verdeling van een HB-paar over de routes**

Met behulp van de 'Routevisualiser' worden de routes zichtbaar gemaakt in het netwerk. De routevisualiser is een tool die werkt binnen OmniTRANS en gebruik maakt van de door Streamline gegenereerde data. Hiernaast is in een afbeelding de informatie weergegeven die de Routevisualiser biedt. De routes kunnen worden aangevinkt en worden weergegeven in het verkeersnetwerk, zodat duidelijk is van welke wegen de routes gebruik maken. In figuur 6 is dat gedaan voor de routes van zone 22 naar zone 50.

### *Bepalen van de normen*

In deze stap wordt de norm bepaald. De normen verschillen per doel en de bepaling wordt daarom hieronder per doel beschreven.

#### **Doel: oplossen knelpunten**

Voor dit doel dienen normen opgesteld te worden voor de rutedelen en kruispunten. Hiervoor worden standaardwaarden gebruikt. Voor de intensiteit/capaciteit wordt een norm van 0,85 gehanteerd. Voor de snelheid geldt dat de norm de maximum toegestane snelheid gedeeld door 1,5 bedraagt. (Een veel gebruikte waarde voor de minimaal aanvaarde snelheid is 50% van de maximale snelheid. Deze beleidsnorm kan echter niet automatisch vertaald worden naar een verkeersnorm, doordat dan de snelheidsnorm vrijwel altijd lager ligt dan de snelheid die optreedt bij het capaciteitsoptimum. Dit maakt het niet goed mogelijk om deze waarde te gebruiken voor het managen van het verkeer, doordat dan eigenlijk te laat wordt ingegrepen.)

#### **Doel: verbeteren reistijden**

Voor dit doel dient de reistijd voor een relatie opgesteld te worden. Hiervoor wordt de free-flow reistijd genomen op de kortste gebruikte route. Deze reistijd voor een relatie wordt dan nog vermenigvuldigd met 1,5 (norm uit de Nota Mobiliteit (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004)) wat de aanvaarde stijging van de gemiddelde reistijd weergeeft. Dit levert de relatiernorm op.

Met de informatie uit de routevisualiser zijn de benodigde gegevens af te lezen (de routekosten komen overeen met de reistijd van een route). Voor de free-flow reistijd wordt het tijdstip '0' genomen in de routevisualiser, welke de resultaten uit de eerder uitgevoerde dynamische toedeling gebruikt. Dit betekent dat in de routevisualiser de gemiddelde resultaten van het tijdstip 0 tot het volgende routekeuze moment weergegeven wordt. In dit geval is het volgende routekeuze moment



op tijdstip 1800 seconden (voor uitleg van routekeuzes in het model wordt verwezen naar bijlage 5). De resultaten geven dus de gemiddelde waarden van het eerste halfuur weer. Er is dan nog erg weinig verkeer, waardoor dit als free-flow resultaat wordt genomen. Voor toepassing hiervan wordt eerst een dynamische toedeling (met 'successive average') uitgevoerd.

Na deze voorbereidende stappen worden de stappen 1 t/m 4 uit de operationalisatie doorlopen.

## 6.2 Operationele stappen

### *Stap 1: bepalen verkeerssituatie*

De huidige verkeerssituatie ontstaat door een toedeling uit te voeren. Hiervoor wordt een dynamische toedeling gedaan van een 2-uurs ochtend, waarbij 10 iteraties worden uitgevoerd en gebruik wordt gemaakt van het successive average. Dit resulteert in een verkeersbeeld voor iedere 15 minuten. De resultaten worden weergegeven door de database te raadplegen. Deze informatie wordt in de volgende stap gebruikt om te bepalen of een knelpunt optreedt.

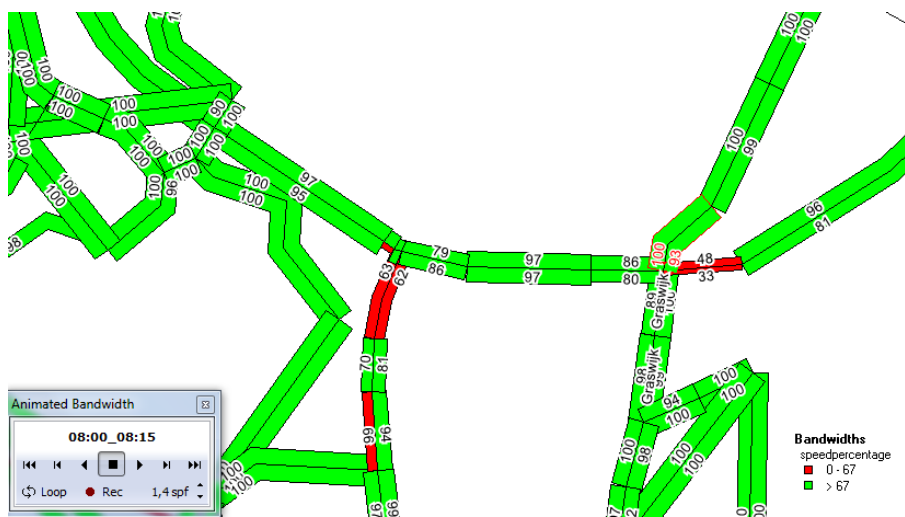
### *Stap 2: bepalen of zich een probleem voordoet in het netwerk*

Hiervoor wordt het resultaat van de dynamische toedeling vergeleken met de eerder bepaalde normen. Deze stap is verschillend per doel:

#### **Doel: oplossen knelpunten**

Snelheidsnorm:

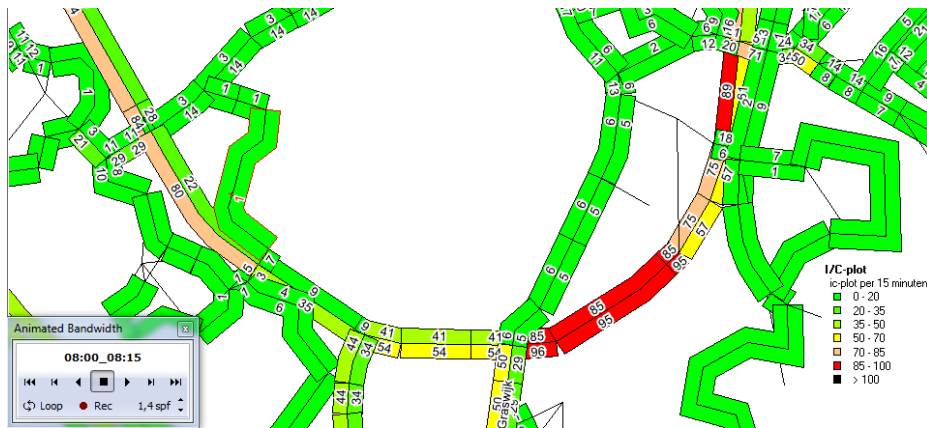
Met 'speedpercentages' wordt weergegeven hoe groot de procentuele snelheidsafname is ten opzichte van de toegestane snelheid op links. Hiermee wordt de snelheidsnorm getoetst. In het geval het percentage lager is dan 66,67 vindt overschrijding van de norm plaats, doordat de snelheid kleiner is dan de maximumsnelheid gedeeld door 1,5.



Figuur 8, procentuele snelheid ten opzichte van de maximaal toegestane snelheid, gemiddelde over 08.00- 08.15 uur

I/C-norm:

Met een weergave van de I/C op alle links is af te lezen of de I/C- norm van 0,85 wordt overschreden. Een voorbeeld hiervan is in figuur 9 weergegeven.



Figuur 9, gemiddelde I/C-waarden op de links van 08.00 tot 08.15 uur.

### Doel: verbeteren reistijden

Met behulp van de eerder bepaalde formule  $\sum_R(HB_{ij,fr} * T_r)$  wordt de gemiddelde reistijd voor een relatie bepaald. Hiervoor is de actuele verdeling van een relatie over de routes en de actuele reistijd van de routes nodig. Deze informatie is voor elk kwartier te bepalen met de routevisualiser. Aangezien de berekening van de actuele gemiddelde reistijd van een relatie handmatig gedaan moet worden is het niet mogelijk voor alle relaties te bepalen of aan de norm wordt voldaan. (Er zijn namelijk ongeveer 101\*100 relaties aanwezig). Er dient daarom een selectie van relaties gemaakt te worden. In dit onderzoek is naar de 10 relaties met de grootste intensiteit gekeken. Op basis van de overschrijding van de reistijd ten opzichte van de norm is bepaald welke relatie wordt aangepakt.

### Stap 3: bepalen van de benodigde ruimte

Deze stap is verschillend voor de doelen:

#### Doel: oplossen knelpunten

##### Bepaling om te leiden hoeveelheid verkeer:

Bij overschrijding van de snelheidsnorm wordt op basis van de huidige snelheid bepaald hoeveel verkeer er omgeleid dient te worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de snelheid/intensiteit relatie die in het model gebruikt wordt. Op basis van de 'free-speed', 'speed at capacity' en 'saturation flow' wordt de snelheid intensiteit relatie geschetst. Op basis daarvan wordt de om te leiden intensiteit bepaald.

Bij overschrijding van de I/C-waarde wordt de intensiteit bepaald door deze uit de database van de resultaten op te vragen. De capaciteit wordt bepaald door de gegevens van het netwerk in het model te raadplegen. De om te leiden hoeveelheid verkeer is hiermee te bepalen.

##### Bepaling aanwezige relaties en beschikbare alternatieve routes:

Wanneer duidelijk is welk object het knelpunt vormt, wordt met de routevisualiser bekeken welke relaties gebruik maken van deze link. Er maken erg veel relaties via één of meerdere routes gebruik van een link. Het is niet mogelijk al deze relaties individueel om te leiden. Daarom worden de relaties gegroepeerd in gebieden, op basis van de methode die in bijlage 2 is beschreven. Met behulp van de zone indeling in het verkeersmodel en een selectedlink-analyse (statische toedeling) is bekeken welke zones samengevoegd kunnen worden om gebieden te vormen.

Voor deze gegroepeerde relaties wordt bekeken welke alternatieve routes er zijn, ook met behulp van de routevisualiser. De I/C resultaten worden vervolgens weer gebruikt om te bepalen hoeveel ruimte er beschikbaar is op alternatieve routes.

*Bepaling intensiteit aanwezige relaties:*

Er wordt gebruik gemaakt van de routevisualiser om te achterhalen welke fracties van HB-relaties gebruiken maken van het knelpunt (een selectedlink-analyse is niet mogelijk). Door deze fracties te vermenigvuldigen met dat gedeelte van de HB-matrix dat gedurende dat tijdstip wordt toegedeeld wordt de intensiteit geschat van de relaties. Een exacte bepaling is niet mogelijk doordat onbekend is wanneer het verkeer dat op een zeker tijdstip vertrekt arriveert op het betreffende knelpunt.

**Doel: verbeteren reistijden**

*Bepaling welke route en object verbeterd moet worden:*

De mate van reistijdoverschrijding van routes wordt bepaald met de informatie uit de routevisualiser, net als de verdeling over de routes. Hiermee kan bepaald worden welke route wordt aangepakt. Vervolgens wordt bepaald welk object op deze route de grootste overschrijding heeft van de norm. Dit wordt gedaan door een verschilplot te maken van de reistijden op de routedelen met daarin het verschil tussen de free-flow reistijd en de actuele reistijd. Bepaling van de overschrijding voor kruispunten vindt plaats door gebruik te maken van de junctioneditor.

Wanneer duidelijk is welk object de meeste vertraging voor de relatie op die route veroorzaakt, wordt op dezelfde wijze als bij het doel 'oplossen knelpunten' bekeken welke relaties gebruik maken van dit object en of er mogelijkheden zijn op alternatieve routes om deze relaties om te leiden.

*Bepaling hoeveelheid om te leiden verkeer:*

Hierboven is al bepaald welk object wordt aangepakt. Voor de hoeveelheid verkeer dat omgeleid moet worden wordt gekeken welke intensiteit optreedt bij de normreistijd en welke actueel optreedt op dit object. Het verschil dient te worden omgeleid. De actuele intensiteit is af te lezen uit een intensiteiten-plot. De intensiteit die bij de normreistijd hoort wordt bepaald door te kijken welke intensiteit (ongeveer) overeenkomt met de normreistijd met behulp van een reistijd en intensiteit plot voor de wegvakken, waarin de verandering van de reistijd als gevolg van een verandering van de intensiteiten is weergegeven. Bij kruispunten wordt hiervoor de junction editor gebruikt.

*Stap 4: Inzetten van de verdeelprincipes*

Vanaf het moment dat een knelpunt optreedt, wordt een verdeelprincipe ingezet. Voor het in werking stellen van een verdeelprincipe worden DRIP's gebruikt. Deze worden met behulp van 'traffic controls' in het verkeersnetwerk geïmplementeerd vanaf het punt dat het verkeer een andere route moet volgen. De omleidingsroute wordt opgegeven tot aan het punt waar de routes weer samen komen. Hiermee worden groepen relaties omgeleid, tenzij de route in zijn geheel van begin tot eindpunt van de HB-relatie wordt opgegeven, dan kan een specifieke relatie worden omgeleid. Naast de routes wordt opgegeven: de starttijd van de DRIP, de tijdsduur van de werking van de DRIP en de verdeling over de 2 of meer routes. De verdeling is de hoeveelheid verkeer dat omgeleid wordt, dus de intensiteit van de relatie die omgeleid dient te worden vermenigvuldigd met het aanpassingspercentage.

De omleiding met behulp van DRIP's wordt verwerkt in een nieuwe simulatie, waarbij alle instellingen gelijk blijven ten opzichte van de eerste dynamische toedeling. Verschil is dat er nu maar 1 iteratie wordt uitgevoerd en dat gestart wordt met het resultaat van de laatste iteratie van de toedeling

zonder DRIP's. Het implementeren van de DRIP in de 'gewone' simulatie wordt niet gedaan, omdat dan weer wordt toegewerkt naar een nieuwe evenwichtsituatie. Dat maakt dat de gecreëerde ruimte op een route of knelpunt weer opgevuld wordt door verkeer van andere relaties.

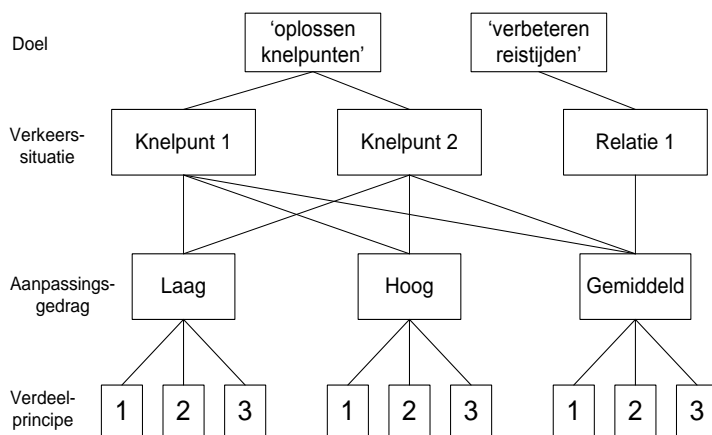
*Keuze verdeelprincipe in het model:*

- 1: verdelen op basis van prioriteit: geen nadere acties nodig in het model om dit uit te voeren.
- 2: verdelen op basis van extra reistijd: Met behulp van de routekosten, welke uit de routevisualiser afgelezen worden, wordt bepaald welke relatie de meeste/minste extra reistijd krijgt.
- 3: verdelen op basis van de intensiteit van relaties en beschikbare capaciteit op routes: de intensiteit van de aanwezige relaties is al eerder bepaald en de beschikbare capaciteit op het knelpunt en alternatieve routes ook. De om te leiden hoeveelheid wordt bepaald door de intensiteit van een relatie te vermenigvuldigen met het aanpassingspercentage. Dan wordt bekeken welke relatie het beste past bij de beschikbare capaciteit op een route.

**Simulaties**

Opgemerkt moet worden dat deze werkwijze meerdere simulaties vergt, doordat steeds de gehele simulatieperiode moet worden uitgevoerd. Bij de eerste simulatie wordt verkeer omgeleid voor het eerste kwartier waarvoor op basis van de referentiesimulatie omleiding nodig is. Voor het omleiden van verkeer van het volgende kwartier is een nieuwe simulatie nodig op basis van de resultaten met de omleiding in het eerste kwartier. Dit is noodzakelijk omdat de tijdsduur van de normoverschrijding en de intensiteit van de om te leiden hoeveelheid verkeer verandert door het omleiden van het verkeer ten opzichte van de referentiesituatie. Daarom zijn er meerdere simulaties nodig om voor de gehele tijdsperiode een knelpunt te beschouwen.

In het figuur hieronder is schematisch weergegeven welke situaties gesimuleerd zijn, waarbij elke verticale route van doel tot verdeelprincipe een situatie vormt.



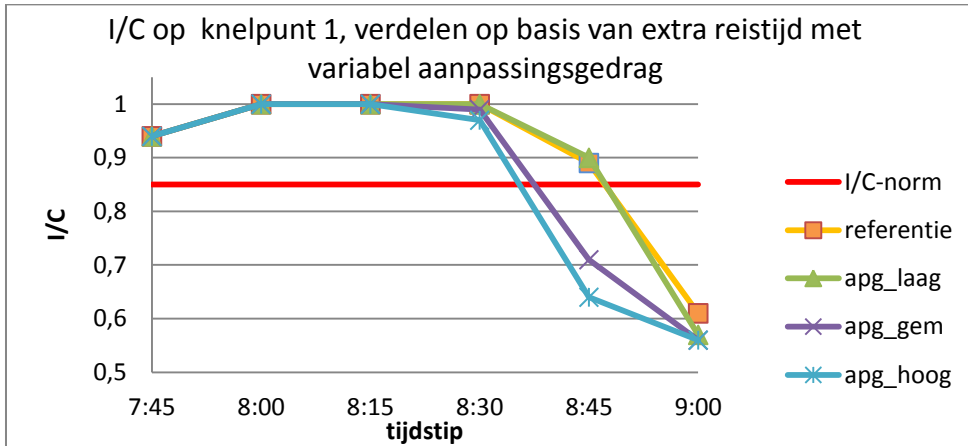
**Figuur 10, simulatieboom**

In totaal geeft dit 21 situaties die gesimuleerd zijn, exclusief referentie simulaties.

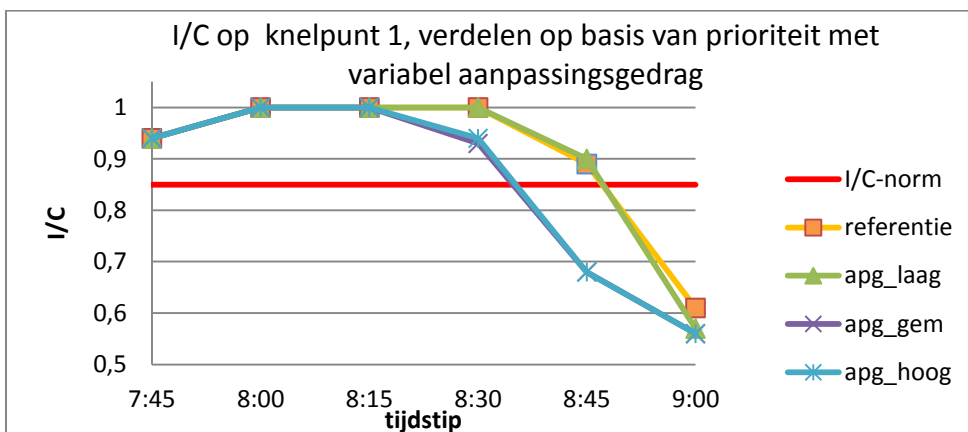
## Bijlage 7: Resultaten I/C-verhouding variabel aanpassingsgedrag

Op deze en de volgende pagina is voor ieder verdeelprincipe de I/C-verhouding weergegeven van het knelpuntobject. Naast de referentiesituatie is de I/C-verhouding met laag, gemiddeld en hoog aanpassingsgedrag weergegeven. Eerst is de situatie voor knelpunt 1 weergegeven, daaronder volgt knelpunt 2.

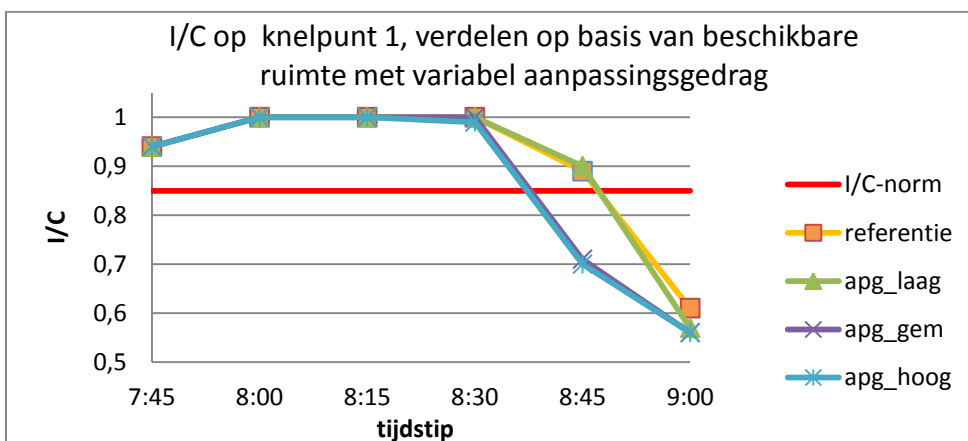
### Knelpunt 1



Figuur 11, I/C-verhouding met verdeelprincipe v\_r en variabel aanpassingsgedrag en knelpunt 1

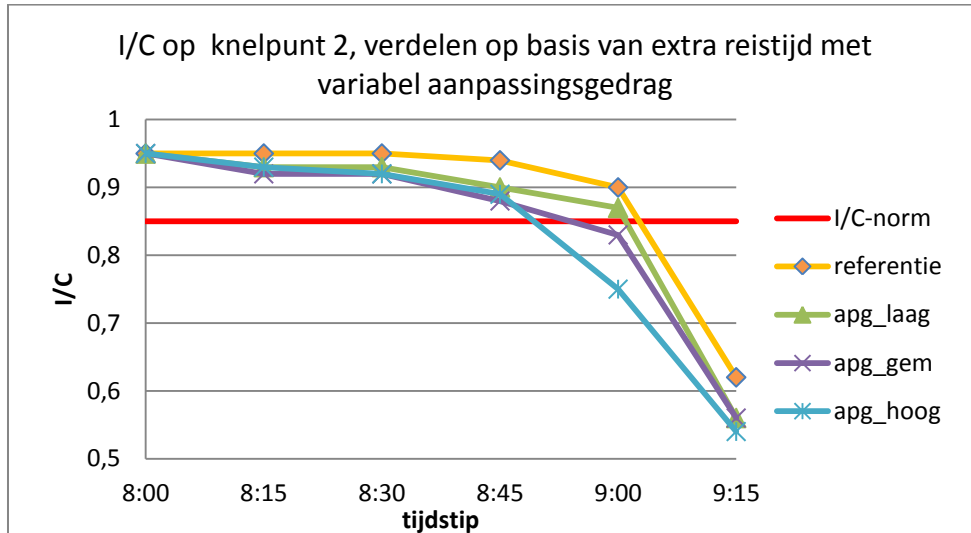


Figuur 12, I/C-verhouding met verdeelprincipe v\_p en variabel aanpassingsgedrag en knelpunt 1

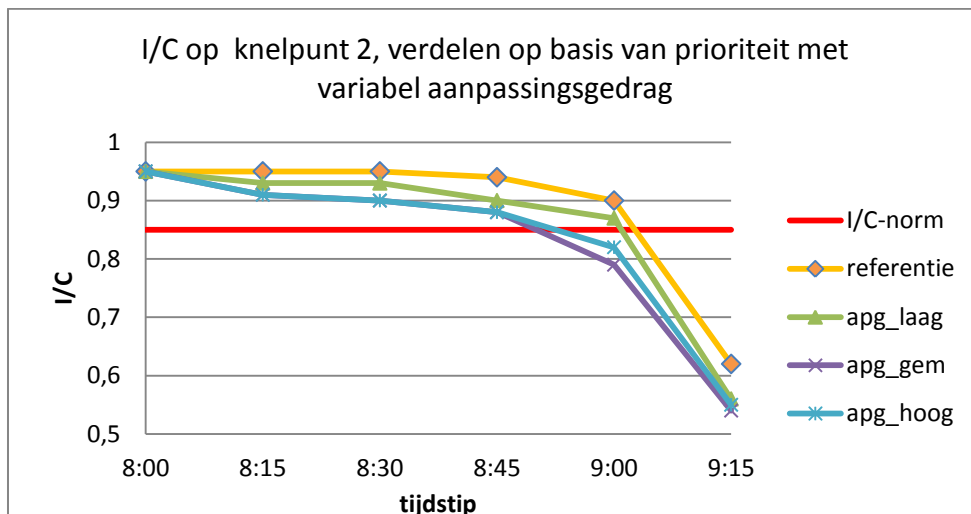


Figuur 13, I/C-verhouding met verdeelprincipe v\_c en variabel aanpassingsgedrag en knelpunt 1

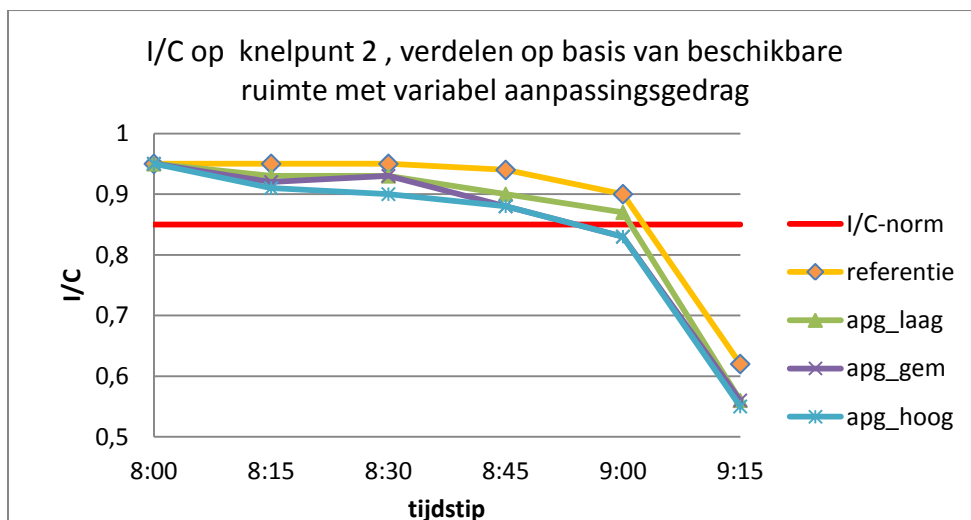
Knelpunt 2



Figuur 14, I/C-verhouding met verdeelprincipe v\_r en variabel aanpassingsgedrag en knelpunt 2



Figuur 15, I/C-verhouding met verdeelprincipe v\_p en variabel aanpassingsgedrag en knelpunt 2



Figuur 16, I/C-verhouding met verdeelprincipe v\_c en variabel aanpassingsgedrag en knelpunt 2