

Knooppunt is knelpunt?



Afstudeeronderzoek hogeschool Windesheim
in opdracht van Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland

Julius van Boldrik
Jesper Mulderij

juni 2012

Knooppunt is knelpunt?

*Een onderzoek naar de verkeersafwikkeling in
knooppunten tijdens calamiteitenomleidingen*

Afstudeeronderzoek hogeschool Windesheim, Zwolle
opleiding Mobiliteit

in opdracht van Rijkswaterstaat
dienst Oost-Nederland, Arnhem

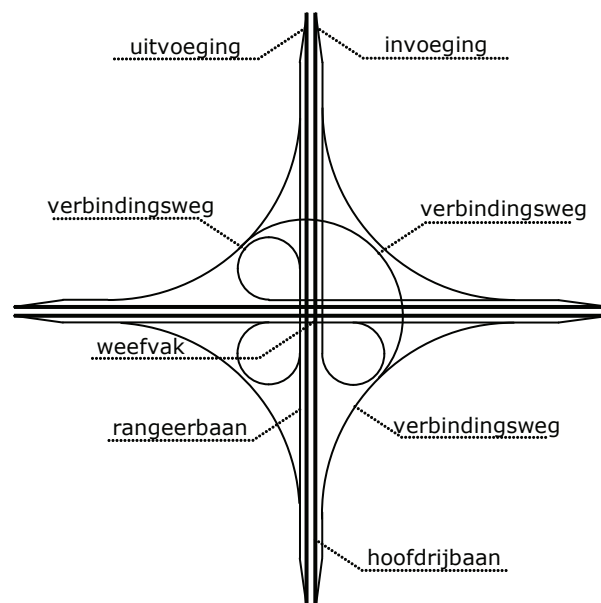
Julius van Boldrik
Jesper Mulderij

juni 2012

Samenvatting

Een ongeval of andere calamiteit op de autosnelweg leidt ertoe dat het verkeer een andere route moet kiezen. In de praktijk leidt dat vaak tot het vollopen van het onderliggend wegennet, een verkeersinfarct en de daaruit volgende financiële schade, die kan oplopen tot € 100.000. Om dat te voorkomen, is het van belang het verkeer tijdig te wijzen op de verkeerssituatie en een hoogwaardige omleidingsroute in te stellen via snelwegen. Vooral in knooppunten kan dit echter leiden tot doorstromingsproblemen, omdat de vormgeving daarvan veelal niet is berekend op de gewijzigde verkeersstromen bij omleidingen. Filevorming op de omleidingsroute kan tot gevolg hebben dat verkeer toch gaat uitwijken naar het onderliggend wegennet, met alle negatieve gevolgen van dien. Het is dus gewenst knooppunten in te stellen op het verwerken van omleidingsverkeer. Dit onderzoek richt zich op de vraag "Hoe kan de verkeers-toename in knooppunten als gevolg van ingestelde omleidingsroutes beter worden verwerkt?". Het moet daarmee bijdragen aan hoogwaardiger omleidingsroutes en een betrouwbaarder hoofdwegennetwerk.

Als eerste is onderzocht welke knooppunttypen er bestaan en welke capaciteitsknelpunten daar kunnen voorkomen. Hiertoe zijn de standaard knooppuntconfiguraties uit de *Richtlijnen voor het Ontwerp van Autosnelwegen* (ROA) ontleed tot hun unieke elementen, waarna per element op basis van een literatuurstudie is bepaald hoe er een knelpunt op kan ontstaan en welke capaciteit het element heeft. De verschillende elementen in een knooppunt zijn weergegeven in de volgende afbeelding.



Afbeelding I. Knooppuntelementen.

Een belangrijke conclusie is dat de weefvakken vaak maatgevend zijn en daarom aangepakt zouden moeten worden. Ook andere onderdelen in het knooppunt kunnen echter capaciteitsknelpunten vormen en worden maatgevend als er geen weefvakken zijn, zoals bij drie- en sommige vierarmige knooppunttypen en in rijrichtingen die geen weefvak passeren. Om omleidingsverkeer in knooppunten beter te kunnen verwerken, moet dus verder worden gekeken dan de weefvakken.

Omdat alle knooppuntonderdelen tot doorstromingsproblemen kunnen leiden, zijn voor alle elementen mogelijke maatregelen ter uitbreiding van de capaciteit geïnventariseerd. Vervolgens zijn deze maatregelen beoordeeld op hun effect op de capaciteit, praktische toepasbaarheid, investeringskosten, verkeersveiligheid, beleving van de weggebruiker en gevolgen voor het ruimtegebruik. Daarbij vormden praktische toepasbaarheid, veiligheid en beleving van de weggebruiker randvoorwaarden. Maatregelen die daar negatief op scoorden, vielen af. Daarna is een keuze gemaakt op basis van de verhouding tussen kosten en capaciteitseffect, waarbij ingrepen met weinig gevolgen voor het ruimtegebruik de voorkeur hadden. Een multicriteria-analyse is niet uitgevoerd, omdat die een keuze maakt tussen varianten, terwijl maatregelen elkaar hier niet uitsluiten en dus meerdere maatregelen per element geselecteerd kunnen worden. Deze beoordeling leidde tot de op de volgende pagina opgenomen lijst met kansrijke maatregelen.

Kansrijke maatregelen voor het verwerken van omleidingsverkeer per element		
Element	Maatregel	Opmerkingen
Rangeerbaan/verbindingsweg/ hoofdrijbaan	Vluchtstrookgebruik	
Invoeging: invoegstrook	Dubbele invoeger	
	Dynamische taper	berijden verdrijvingsvlak achter afstreping
	Doorsteek	als dubbele invoeger niet kan
In-/samenvoeging: convergentiepunt	Verbod rijstrookwisseling	
	Dynamische samen- voeging	bij wens tot prioritering invoegende stroom
Uitvoeging/splitsing	Dubbele uitvoeger	
	Doorsteek	als dubbele uitvoeger niet kan
Weefvak	Vluchtstrookgebruik	alleen aan rand knooppunt
	Afsluiting	
Buiten knooppunt	DRIP/tekstkar	

In werkelijkheid passeert een weggebruiker geen losse elementen, maar een heel knooppunt. Daarom is geanalyseerd of de maatregelen ruimtelijk gezien te combineren zijn. Dit heeft geen veranderingen in de bovenstaande tabel noodzakelijk gemaakt. Wel blijkt dat de dynamische taper alleen als op zichzelf staande maatregel toepasbaar is en dus geen alternatief kan zijn voor vluchtstrookgebruik. Maatregelen die bestaan uit het openen van de vluchtstrook zijn goed combineerbaar, al verdient de inpassing bij in- en uitvoeringen in het knooppunt aandacht. Het maken van doorsteken kan daarbij soelaas bieden.

Naast de ruimtelijke verbanden, is ook de toegevoegde waarde van maatregelen onderzocht. In beginsel is het gewenst een hele rijrichting van voldoende capaciteit te voorzien. Als dit niet mogelijk is, hebben maatregelen toch zin als daarmee het maatgevende element wordt aangepakt. Ook als na het maatgevende element een nieuw knelpunt ontstaat, zijn maatregelen zinvol om een nieuwe file te voorkomen.

De verkregen inzichten hebben geleid tot concrete aanbevelingen voor het instellen van knooppunten op omleidingsverkeer. Zo zijn er enkele vereisten voor het dynamisch kunnen inzetten van knooppunten:

- een vluchtstrook van minimaal 2,80 en liefst 3 meter breed;
- genoeg verharding om bij een strookbeëindiging aan de linkerzijde toch verkeer succesvol over het verdrijvingsvlak heen af te kunnen wikkelen;
- verbod op rijstrookwisseling van de linker naar de rechter rijstrook invoeren ter hoogte van invoeringen.

Als aan deze voorwaarden wordt voldaan, kan het knooppunt dynamisch worden ingezet voor het verwerken van een omgeleide verkeersstroom. Welke van de als kansrijk bestempelde maatregelen dan precies genomen moeten worden, kan met behulp van een in dit rapport opgenomen stappenplan worden bepaald. Het implementeren van de maatregelen kan leiden tot maximaal 120% meer capaciteit op een element, afhankelijk van de bestaande configuratie en het type knooppuntelement.

Verder gelden de volgende twee aanbevelingen voor knooppuntontwerpen:

- maak doorsteken tussen hoofd- en rangeerbaan om vluchtstrookgebruik veiliger in te passen;
- vermijd weefvakken in knooppunten: dit element is lastig in te stellen op omleidingsverkeer.

De aanbevelingen zijn vervolgens verkeerskundig getoetst: in hoeverre verbetert de verkeersafwikkeling door het maatregelenpakket? In de knooppunten Hoevelaken, Maanderbroek, Grijsoord, Waterberg en Beekbergen is dat getoetst voor acht scenario's. Het blijkt dat de maatregelen de problemen in de knooppunten doorgaans succesvol kunnen bestrijden. In de spitsen vormt de hoofdrijbaan vaak echter een knelpunt. Voor succesvol omleiden, zal ook daar meer capaciteit geboden moeten worden.

Ook is de praktische inpasbaarheid van de maatregelen getoetst op knooppunt Maanderbroek. Hieruit blijkt dat de vluchtstrook op meerdere elementen te smal is en dat het knooppunt dus onvoldoende is voorbereid op het verwerken van omleidingsverkeer. Dit is een belangrijk aandachtspunt.

Samenvattend blijkt uit dit onderzoek dat relatief eenvoudige maatregelen de verkeersafwikkeling in knooppunten tijdens omleidingen kunnen verbeteren. Niet overal blijken deze maatregelen echter inpasbaar. Verder komen uit de toetsing capaciteitstekorten op de hoofdrijbaan naar voren. Voor een succesvolle omleidingsroute, is ook daar ingrijpen nodig. Hoe dat mogelijk is, zal nader onderzoek moeten aantonen. De voorgestelde aanpak voor een betere afwikkeling van omleidingsverkeer in knooppunten blijkt echter succesvol en kan in de toekomst bijdragen aan het beperken van de overlast als gevolg van calamiteiten en daarmee aan het betrouwbaarder maken van het hoofdwegennet.

Knooppunt is knelpunt?

Voorwoord

Medio januari 2012 hebben wij Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland benaderd voor het begeleiden van ons afstudeeronderzoek. Er bleek vraag te zijn naar de gevolgen van het inzetten van de A30 als calamiteitenroute, omdat de regelmatig optredende verkeersinfarcten als gevolg van calamiteiten als problematisch worden beschouwd. Het scherpstellen en verbreden van dit thema leidde vervolgens tot het definitieve onderwerp van ons onderzoek: een onderzoek naar de verkeersafwikkeling in knooppunten tijdens omleidingen.

Voor u ligt nu het resultaat van dit onderzoek, getiteld 'Knooppunt is knelpunt'. Het onderzoek bestaat uit de volgende fasen:

- het definiëren van knooppunttypen en analyseren van knooppuntvormgeving, ondersteund door een literatuurstudie;
- het in kaart brengen van mogelijke maatregelen, ondersteund door een internationale literatuurstudie en het interviewen van experts van Rijkswaterstaat;
- het beoordelen en combineren van maatregelen, ondersteund door een literatuurstudie, een kwalitatieve beoordelingsmethode en een ruimtelijke toetsing.

Bovenstaande stappen hebben geleid tot een aanbeveling in de vorm van een maatregelenpakket, dat zowel verkeerskundig als praktisch is getoetst.

De uitvoering van het onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de waardevolle adviezen van de heer Bannink en mevrouw Boersma met betrekking tot het gebruik van verkeersmodellen. Verder gaat onze dank uit naar mevrouw Harbrecht en de heren Heikoop, Jansen, Janssen, Van Londen, Remeijn, Touw en Van Westing (allen Rijkswaterstaat) die bereid waren hun kennis te delen. Ook de heren Mainka (Straßen NRW), Ullmann (Tebodin) en Wiggenraad (TU Delft), specialisten van buiten de organisatie, willen wij bedanken voor hun medewerking. Tot slot gaat onze dank in het bijzonder uit naar de heren Traag en Vermijs, begeleiders van Rijkswaterstaat, en de heren Bezembinder en Gommers, begeleiders van hogeschool Windesheim.

Arnhem, juni 2012
Julius van Boldrik
Jesper Mulderij

Inhoudsopgave

1. Inleiding 10

- 1.1 Aanleiding 11
- 1.2 Probleemstelling, doelstelling en hoofdvraag 11
- 1.3 Inkadering 12
- 1.4 Producten 12
- 1.5 Leeswijzer 13

2. Onderzoeksopzet 14

- 2.1 Voorbereiding 16
- 2.2 Definiëren knooppunttypen 16
- 2.3 Analyse knooppuntvormgeving 16
- 2.4 Inventarisatie maatregelen 17
- 2.5 Beoordeling maatregelen 17
- 2.6 Combineerbaarheid maatregelen 17
- 2.7 Aanbeveling maatregelenpakket 17
- 2.8 Verkeerskundige toetsing 18
- 2.9 Praktische toetsing 20
- 2.10 Rapportage 20

3. Knooppunttypen en knelpunten 22

- 3.1 Definitie knooppunttypen 23
- 3.2 Definitie knooppuntelementen 23
- 3.3 Capaciteiten knooppuntelementen 23
- 3.4 Samenhang in de verschillende knooppunttypen 28
- 3.5 Conclusie 32

4. Inventarisatie maatregelen 34

- 4.1 Introductie maatregelen 35
- 4.2 Verbindingsweg, rangeerbaan, hoofdrijbaan 35
- 4.3 In- en samenvoeging 36
- 4.4 Uitvoeging/splitsing 38
- 4.5 Weefvak 39
- 4.6 Bufferen 40
- 4.7 Maatregelen buiten knooppunt 40
- 4.8 Uitvoering maatregelen 41
- 4.9 Conclusie 42

5. Beoordeling maatregelen 44

- 5.1 Beoordelingsmethode 45
- 5.2 Verbindingsweg, rangeerbaan, hoofdrijbaan 46
- 5.3 In- en samenvoeging 49
- 5.4 Uitvoeging/splitsing 57
- 5.5 Weefvak 60
- 5.6 Maatregelen buiten knooppunt 64
- 5.7 Conclusie 65

6. Combineren maatregelen 66

- 6.1 Ruimtelijke invloedssfeer maatregelen 67
- 6.2 Analyse ruimtelijke combineerbaarheid 67
- 6.3 Inpassing extra strook op discontinuïteiten 69
- 6.4 Overige gevolgen 72
- 6.5 Toegevoegde waarde 72
- 6.6 Conclusie 73

7. Eerste aanbeveling 74

- 7.1 Statische vereisten 75
- 7.2 Aanbevelingen voor knooppuntontwerp 75
- 7.3 Maatregelen bij instellen scenario 76
- 7.4 Conclusie 79

8. Verkeerskundige toets: introductie 80

- 8.1 Introductie 81
- 8.2 Netwerkbeschrijving 81
- 8.3 Calamiteitenscenario's 81
- 8.4 Toetsingsmethode 82
- 8.5 Herkomst gegevens 84
- 8.6 Prioritering 85
- 8.7 Uitgangspunten toetsing 85
- 8.8 Conclusie 85

9. Verkeerskundige toets: toetsing 86

- 9.1 Introductie opzet hoofdstuk 87
- 9.2 Knooppunt Hoevelaken 87
- 9.3 Knooppunt Maanderbroek 95
- 9.4 Knooppunten Grijsoord-Waterberg 101
- 9.5 Conclusie 103

10. Praktische toetsing 104

- 10.1 Te toetsen maatregelen 105
- 10.2 Vluchtstrookbreedte 105
- 10.3 Dynamische taper 106
- 10.4 Conclusie 107

11. Conclusies en aanbevelingen 108

- 11.1 Knelpunten en maatregelen 109
- 11.2 Aanbevelingen maatregelenpakket 109
- 11.3 Toetsing maatregelenpakket 110
- 11.4 Eindconclusies en aanbevelingen 110

Literatuurlijst 111

Bijlagen 114

1 Inleiding



Dit hoofdstuk behandelt de aanleiding voor dit onderzoek, de probleem-, doel- en vraagstelling en de gehanteerde werkwijze.
Foto: bewegwijzering langs de A12

1.1 Aanleiding

Het is een werkdag en op de Nederlandse wegen is het druk. In de loop van de middag vindt er een ongeval plaats op de A50, waarbij een vrachtwagen kantelt. Om de ontstane chaos op te ruimen, wordt de weg richting Apeldoorn afgesloten. Het verkeer smeert zich vervolgens uit over het onderliggend wegennet, dat de explosieve verkeerstoename niet kan verwerken. Het gevolg is een verkeersinfarct in en rond Arnhem.

De hierboven geschetste situatie, die in september 2011 daadwerkelijk is opgetreden, illustreert de ernstige verkeershinder die kan ontstaan als gevolg van ongevallen of andere calamiteiten. De weg is geheel of gedeeltelijk afgesloten en het verkeer moet een andere route kiezen. Om een verkeersinfarct op het onderliggend wegennet te voorkomen, is het van belang het verkeer tijdig te wijzen op de bijzondere verkeerssituatie en een omleidingsroute in te stellen via een hoogwaardige alternatieve route. Idealiter gebeurt dit via autosnelwegen. Rijden over een snelweg is voor doorgaand verkeer immers aantrekkelijker dan een alternatief via een onderliggende weg. Daarnaast is er bij een omleiding via snelwegen geen verkeersoverlast in woonkernen, terwijl dat bij een route via het onderliggend wegennet wel voor kan komen.

Het Nederlandse snelwegennetwerk kent in grote delen van het land een fijnmazige structuur en leent zich dus goed voor zulke alternatieve routes. Het instellen van een omleidingsroute over autosnelwegen kan echter leiden tot doorstromingsproblemen. Vooral de knooppunten zijn gevoelig gebleken voor een verkeerstoename (Rijkswaterstaat, 2005a) en kunnen zo een knelpunt worden in de omleidingsroute. Dit komt doordat de vormgeving van een knooppunt is afgestemd op het verwerken van verkeer in een reguliere situatie zonder stremmingen. Het instellen van een omleiding kan leiden tot gewijzigde verkeersstromen, waar de knooppuntelementen niet op zijn berekend. Dit heeft een negatief effect op de doorstroming en een verhoogde kans op congestie (Rijkswaterstaat, 2007b).

Als de configuratie van een knooppunt leidt tot ernstige verkeershinder op de gewenste omleidingsroute, ondermijnt dit de kwaliteit van die route. Hierdoor ontstaat het gevaar dat het verkeer toch massaal gaat uitwijken naar ongewenste routes via het onderliggend wegennet, met alle negatieve gevolgen voor doorstroming, veiligheid en leefbaarheid van dien. Om de hinder als gevolg van een stremming elders te beperken, is het dus gewenst knooppunten zo goed mogelijk in te stellen op het kunnen verwerken van omleidingsverkeer. Grootschalige ombouw van knooppunten voor incidenteel omleidingsverkeer is relatief kostbaar, zodat benuttingsmaatregelen in beeld komen.

Tot op heden waren benuttingsstudies en -maatregelen vooral gericht op wegvakken en (in mindere mate) op de dagelijkse verkeerssituatie. De mogelijkheden om incidenteel optredende omleidingsstromen door calamiteiten beter te kunnen verwerken, zijn niet eerder onderzocht. Het vraagstuk rond dit omleidingsverkeer is echter onverminderd actueel: situaties als het hierboven beschreven verkeersinfarct komen regelmatig voor. Dit onderzoek richt zich daarom op deze problematiek en gaat in op de mogelijke doorstromingsknelpunten, maatregelen ter bevordering van die doorstroming en de effectiviteit van die maatregelen. Uiteindelijk moet het onderzoek daarmee bijdragen aan hoogwaardiger omleidingsroutes, die minder vertraging voor het doorgaand verkeer opleveren, en een betrouwbaarder hoofdwegennetwerk.

1.2 Probleemstelling, doelstelling en hoofdvraag

Uit de aanleiding komt de te onderzoeken problematiek en het bijbehorende doel naar voren. Hieronder zijn de exacte probleemstelling, doelstelling en hoofdvraag geformuleerd, alsmede de op basis daarvan opgestelde deelvragen.

Probleemstelling

Knooppunten, ongelijkvloerse kruisingen tussen autosnelwegen, zijn berekend op de verkeersafwikkeling in een reguliere situatie zonder stremmingen. Het instellen van een omleidingsroute via de knooppunten leidt tot gewijzigde verkeersstromen, waar de knooppunten veelal niet op zijn berekend. Dit heeft doorstromingsproblemen en een slechtere bereikbaarheid, veiligheid en leefbaarheid tot gevolg.

Doelstelling

Bijdragen aan het verbeteren van de doorstroming in knooppunten bij omleidingen door het ontwikkelen van een maatregelenpakket ter bevordering van de doorstroming, waarbij de kosten in verhouding staan tot het relatief incidentele gebruik ervan bij grootschalige omleidingen.

Hoofdvraag

Hoe kan de verkeerstoename in knooppunten als gevolg van ingestelde omleidingsroutes beter worden verwerkt?

De bovenstaande hoofdvraag is uit te splitsen in een aantal deelvragen. Deze vragen zijn hieronder weergegeven, inclusief uitleg over het doel van de vraag.

- Welke verschillende knooppunttypen zijn er te definiëren?
Doel: Inzicht krijgen in verschillende knooppuntconfiguraties op autosnelwegen.
- Welke knelpunten kunnen de verkeersafwikkeling in die knooppuntconfiguraties in gevaar brengen?
Doel: Inzicht krijgen in de mogelijke knelpunten die aangepakt dienen te worden.
- Welke maatregelen zijn denkbaar om de verkeersafwikkeling in knooppunten te verbeteren bij calamiteitenomleidingen?
Doel: Inventarisatie van denkbare maatregelen.
- Wat zijn de effecten van deze maatregelen?
Doel: Beoordelen van de maatregelen op capaciteitseffect, kosten en andere criteria om te bepalen welke maatregelen zinvol zijn.
- In hoeverre zijn maatregelen te combineren in een knooppunt?
Doel: Analyseren van de mogelijkheden om meerdere maatregelen in een knooppunt te combineren.
- In hoeverre kan de verkeersafwikkeling worden verbeterd met het voorgestelde maatregelenpakket?
Doel: Toetsing van het maatregelenpakket op effectiviteit.
- Zijn de voorgestelde maatregelen ruimtelijk gezien concreet toepasbaar?
Doel: Toetsing van het maatregelenpakket op praktische haalbaarheid.

Met de beantwoording van deze deelvragen, is onderzocht welke knelpunten er zijn, welke maatregelen zinvol zijn, hoe effectief deze zijn en of ze praktisch haalbaar zijn. Hiermee ligt er een antwoord op de hoofdvraag.

1.3 Inkadering

Om helder te krijgen welke aspecten zijn onderzocht en welke niet, volgt hieronder een inkadering van het onderzoek.

- Het onderzoek is gericht op de werking van het Nederlandse autosnelwegennetwerk en daarbinnen op de doorstromingsproblematiek in knooppunten als gevolg van calamiteiten, waardoor omleidingsverkeer ontstaat.
- De voor te stellen maatregelen zijn bedoeld om beter in te kunnen spelen op incidentele situaties. Voor dergelijke situaties zijn andere maatregelen denkbaar dan voor de reguliere verkeersafwikkeling. Zo zou het tijdelijk afsluiten van een toerit mogelijk zijn, maar het grootschalig ombouwen van een knooppunt is voor incidenteel gebruik niet reëel. Voor te stellen maatregelen blijven daarom beperkt tot dynamische maatregelen of fysieke aanpassingen, die de vorm van het knooppunt niet wijzigen en geen nieuwe kunstwerken (viaducten) noodzakelijk maken.
- Het onderzoek gaat in op knooppunten op autosnelwegen. Omleiden via routes over het onderliggend wegennet is een optie, maar de verkeersafwikkeling op die routes valt buiten het onderzoek.
- In het onderzoek zijn de capaciteitseffecten van maatregelen en de verkeersomvang uitgedrukt in personenauto-equivalenten (pae). Vrachtverkeer is hierin opgenomen met een pae-waarde van 2, een waarde die in overleg met Rijkswaterstaat is bepaald. Er is niet specifiek gekeken naar de invloed van verschillende percentages vrachtverkeer, enerzijds omdat er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om dat in het gehele onderzoek te kunnen doen en anderzijds omdat dit in de beschikbare tijd niet mogelijk was.

1.4 Producten

Dit onderzoek levert de volgende eindproducten op:

- een overzicht van voorwaarden voor het dynamisch in kunnen zetten van knooppunten (in de conclusie);
- een stappenplan voor het selecteren van de in te zetten maatregelen bij het in werking treden van een scenario (in hoofdstuk 7);
- aanbevelingen voor de vormgeving van knooppunten teneinde die in te stellen op het verwerken van omleidingsverkeer (in de conclusie);
- verkeerskundige en praktische toetsingen in concrete situaties (in hoofdstuk 9 en 10).

1.5 Leeswijzer

De onderzoeksopzet wordt in hoofdstuk 2 behandeld. Daarna gaat hoofdstuk 3 in op het eerste deel van het onderzoek, het in kaart brengen van de typen knooppunten en van de capaciteitsknelpunten die kunnen optreden. Hoofdstuk 4 stelt de denkbare maatregelen om deze knelpunten te bestrijden voor, waarna hoofdstuk 5 de beoordeling van die ingrepen op kosteneffectiviteit en andere gevolgen bevat. Dit alles leidt tot een overzicht van zinvolle maatregelen per knooppuntelement. Hoofdstuk 6 gaat in op de vraag in hoeverre het combineren van verschillende maatregelen in een knooppunt mogelijk en zinvol is, wat leidt tot een eerste aanbeveling in hoofdstuk 7. De verkeerskundige toetsing van deze aanbeveling volgt in de hoofdstukken 8 en 9, de ruimtelijke toets van de maatregelen komt in hoofdstuk 10 aan de orde. De afsluitende conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 11 ronden de rapportage af. De in het rapport gebruikte vaktermen zijn opgenomen in een begrippenlijst in bijlage 1. Ter bevordering van de leesbaarheid, zijn de bijlagen als apart document bijgevoegd.

2 Onderzoeksopzet



Dit hoofdstuk gaat in op de wijze waarop het onderzoek is uitgevoerd.

Foto: A12 Waterberg - Velperbroek

<u>2.1</u> Voorbereiding	Vaststellen opdracht Inlezen in problematiek Opstellen plan van aanpak
<u>2.2</u> Definiëren knooppunttypen	Knelpunttypen in kaart brengen
<u>2.3</u> Analyse knooppunt-vormgeving	Knooppunttypen ontleden tot unieke elementen Capaciteiten van elementen inzichtelijk maken
<u>2.4</u> Inventarisatie maatregelen	Internationale literatuurstudie naar maatregelen Interviews binnen Rijkswaterstaat
<u>2.5</u> Beoordeling maatregelen	Opstellen beoordelingscriteria Beoordelen maatregelen Selecteren kansrijke maatregelen
<u>2.6</u> Combineerbaarheid maatregelen	Vaststellen invloedssfeer maatregelen Ruimtelijke combineerbaarheid toetsen Toegevoegde waarde van maatregelen bepalen
<u>2.7</u> Aanbeveling maatregelenpakket	Omzetten inzichten in een aanbeveling
<u>2.8</u> Verkeerskundige toetsing	Inventarisatie situatie toetsingsgebied Bepalen verkeersstromen omleidingsscenario's Analyseren gevolgen omleidingsscenario's Bepalen mogelijke maatregelen Terugkoppeling
<u>2.9</u> Praktische toetsing	Inventarisatie bestaande situatie Maanderbroek Uitwerking mogelijke maatregelen Maanderbroek Terugkoppeling

Het schema op de pagina hiernaast geeft een overzicht van de in dit onderzoek doorlopen stappen. Hieronder volgt een nadere beschrijving van deze onderzoeksstappen en van de wijze waarop deze zijn uitgevoerd.

2.1 Voorbereiding

De voorbereiding bestond uit de volgende activiteiten:

- in overleg vaststellen van de opdracht;
- inlezen in de problematiek;
- opstellen van het plan van aanpak.

2.2 Definiëren knooppunttypen

De eerste onderzoeksstap omvatte een literatuurstudie om inzicht te krijgen in de verschillende typen knooppunten binnen het Nederlandse autosnelwegennetwerk. De actuele versie van de richtlijnen voor het ontwerp van autosnelwegen (Rijkswaterstaat, 2007a) geeft hiervan geen overzicht. In de nieuwste versie, ROA 2010 (Witteveen+Bos, 2011), is deze wel opgenomen, maar dat document heeft nog geen officiële status. De heer Vermijs, die zitting had in de commissie die de ROA 2010 samenstelde, kon de informatie echter wel leveren. Daarom vormde de ROA 2010 toch de basis voor deze informatie.

2.3 Analyse knooppuntvormgeving

Nadat in kaart was gebracht welke knooppunttypen er zijn, werd de knooppuntconfiguratie nader geanalyseerd. Daarbij zijn per knooppunttype de mogelijke knelpunten met betrekking tot de verkeersafwikkeling onderzocht. Omdat wordt gekeken naar een situatie op conceptueel niveau, kon niet worden uitgegaan van een concrete verkeerssituatie en is de analyse gebaseerd op de basisconfiguratie van de knooppunttypen zoals in de ROA 2010 weergegeven.

In deze onderzoeksstap zijn de verschillende basisconfiguraties ontleend tot hun unieke elementen. Vervolgens is geanalyseerd hoe een bepaald onderdeel van een knooppunt een capaciteitsknelpunt kan worden. Om op het juiste punt maatregelen te kunnen treffen, is het immers van groot belang de oorzaken voor knelpunten duidelijk te hebben. Per element zijn daarom de mogelijke verkeersstromen geanalyseerd, ondersteund door bestaande onderzoeken en interviews met de heren Janssen en Traag van Rijkswaterstaat. Zo is bijvoorbeeld onderzocht welke gevolgen een invoeging heeft voor zowel de invoegende als de doorgaande stroom en in welke mate en op welke locaties dat tot een doorstromingsknelpunt kan leiden.

Verder is de capaciteit van verschillende knooppuntelementen bepaald met behulp van verschillende eerdere onderzoeken naar capaciteit. Het Handboek *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA)*, versie 3 (Rijkswaterstaat, 2011) geldt als het officiële capaciteitshandboek voor Rijkswaterstaat en was een belangrijke bron voor deze capaciteiten. Niet voor alle knooppuntelementen gaf dit handboek echter voldoende informatie, zodat aanvullende bronnen zijn geraadpleegd. Deze aanvullende bronnen bestonden uit praktijkwaarden die bij planstudies gehanteerd worden en Duitse onderzoeken naar capaciteit. Andere buitenlandse bronnen, zoals uit de Verenigde Staten, zijn niet gebruikt, omdat de verkeerssituatie daar niet goed vergelijkbaar is met de Nederlandse. Dit blijkt ook uit de sterk afwijkende capaciteitswaarden in het Highway Capacity Manual (Transportation Research Board, 2000).

Resultaat van deze stap is een overzicht van de verschillende elementen van knooppunten en hun capaciteiten. Daarmee is ook een beeld ontstaan van de mogelijke knelpunten.

2.4 Inventarisatie maatregelen

De in paragraaf 2.3 beschreven stap heeft inzicht gegeven in de mogelijke knelpunten ten aanzien van doorstroming op de verschillende knooppunttypen. Om deze bottlenecks aan te pakken, zijn diverse maatregelen denkbaar, zowel van dynamische als statische aard. Het inzichtelijk maken van deze maatregelen is gedaan door het uitvoeren van een literatuurstudie en het voeren van gesprekken bij Rijkswaterstaat, aangevuld met enkele eigen ideeën. Belangrijke bronnen voor de literatuurstudie waren de *Maatregelencatalogus* (Rijkswaterstaat, 2005b) en de *Handreiking benuttingsmaatregelen knooppunten* (Rijkswaterstaat, 2005a). Daarnaast zijn nog diverse andere bronnen geraadpleegd, zie de literatuurlijst.

Naast deze Nederlandse bronnen, is ook gekeken naar buitenlandse ervaringen. Ook in andere gebieden met een dicht snelwegennet, zal verkeer bij stremmingen immers over het hoofdwegennet worden omgeleid. Een voorbeeld van een dergelijk gebied is het Ruhrgebied, vlak over de grens in Duitsland. Daarom is bij de heer Mainka van de Duitse wegbeheerder Straßen NRW navraag gedaan naar de Duitse ervaringen met omleidingen en maatregelen. Om dezelfde reden als in paragraaf 2.3, is besloten geen gebruik te maken van Amerikaanse ervaringen.

Resultaat van deze stap is een overzicht van denkbare maatregelen om de eerder gevonden capaciteitsknelpunten te bestrijden.

2.5 Beoordeling maatregelen

Om uit de lijst met maatregelen de meest kansrijke ingrepen te selecteren, zijn de maatregelen beoordeeld. Gehanteerde beoordelingscriteria zijn het effect op de capaciteit, de toepasbaarheid, de investeringskosten, de verkeersveiligheid, de beleving van de weggebruiker en het ruimtegebruik. Als beoordelingsmethode kon de multicriteria-analyse niet worden gebruikt, omdat deze methode een keuze maakt tussen verschillende varianten. In dit geval sluiten maatregelen elkaar echter niet uit, zodat er geen sprake is van een dergelijke keuze. Daarom zijn de maatregelen beoordeeld op basis van de verhouding tussen kosten en het effect op de capaciteit, waarbij praktische toepasbaarheid, verkeersveiligheid en beleving van de weggebruiker randvoorwaarden waren. Maatregelen die daar sterk negatief op scoorden, vielen dus af.

De capaciteitseffecten zijn bepaald op basis van bestaande literatuur, er zijn geen eigen simulatie-onderzoeken uitgevoerd. Een indicatie van de kosten is opgesteld op basis van een literatuurstudie en actuele richtprijzen zoals die binnen Rijkswaterstaat worden gehanteerd. De overige indicatoren zijn kwalitatief beoordeeld met ++/+0/-/-. Resultaat van deze onderzoeksstap is een selectie van zinvolle maatregelen per knooppuntelement.

2.6 Combineerbaarheid maatregelen

Uit de voorgaande stappen zijn enerzijds knelpunten en anderzijds mogelijke maatregelen naar voren gekomen. In veel gevallen staat een maatregel echter niet op zich, maar is het gewenst of zelfs nodig meerdere maatregelen op een knooppunt te combineren om de problemen aan te pakken. In deze stap is een analyse uitgevoerd van de combineerbaarheid. Hierbij is vooral gekeken of maatregelen ruimtelijk gezien wel te combineren zijn: past het openen van een vluchtstrook op een element bijvoorbeeld wel op het element erna, zijn er bijkomende maatregelen nodig of is het geheel onmogelijk? Daarnaast is ook onderzocht in welke gevallen maatregelen toegevoegde waarde hebben door mogelijke rijrichtingen in het knooppunt en de knelpunten in die richting te analyseren.

Uit deze stap blijkt welke maatregelen te combineren zijn en welke aandachtspunten er daarbij zijn.

2.7 Aanbeveling maatregelenpakket

De voorgaande stappen hebben een overzicht gegeven van knelpunten per element en in het knooppunt als geheel, zinvolle maatregelen per element en de combineerbaarheid van deze maatregelen in een knooppunt. Dit overzicht is in deze stap omgezet in een aanbeveling voor een aanpak om de verkeersafwikkeling te bevorderen tijdens ingestelde omleidingsroutes. Deze aanbeveling bestaat uit enkele algemene aanbevelingen en een stappenplan waarmee de te nemen maatregelen geselecteerd worden. In de volgende stappen is getoetst in hoeverre deze aanpak in een concrete situatie ook tot verbeteringen kan leiden.

2.8 Verkeerskundige toetsing

Hiervoor is op conceptueel niveau een overzicht gemaakt van knelpunten en mogelijke oplossingen. Het is wenselijk de gedane aanbevelingen te toetsen in een concrete situatie, om zo te kunnen bepalen in hoeverre de verkeersafwikkeling echt verbeterd door de maatregelen. Hiertoe is een toetsing gedaan in de zogenaamde 'acht', een onderdeel van het snelwegennetwerk in Midden- en Oost-Nederland dat wordt gevormd door de A1, A12, A27, A28, A30 en A50. Zie de afbeelding hieronder.



Afbeelding 2.1. Toetsingsgebied.

Om het maatregelenpakket te toetsen op effectiviteit, zijn de volgende deelstappen ondernomen:

Inventarisatie toetsingsgebied

In deze stap is onderzocht hoe de knooppunten in het onderzoeksgebied eruit zien. Hiervoor zijn foto's en tekeningen van Rijkswaterstaat gebruikt. Vervolgens is de capaciteit per knooppuntelement bepaald op basis van de eerder gevonden capaciteitswaarden. Ook is de 'nulsituatie' zonder stremmingen, ofwel de reguliere verkeerssituatie, in kaart gebracht om als basis voor de verdere analyse te dienen. Dit is gebeurd met behulp van het verkeersmodel NRM (Nieuw Regionaal Model) 2004, omdat meetlussen in knooppunten niet aanwezig zijn en dus onvoldoende informatie over de verkeersintensiteiten geven. Daarnaast is het NRM ook gebruikt voor de doorrekening van de scenario's in de volgende stappen en wordt op deze wijze een helder vergelijk verkregen tussen de reguliere intensiteiten en die in de scenario's. Resultaat van deze deelstap is inzicht in het toetsingsgebied en in de reguliere verkeerssituatie.

Bepalen verkeersstromen omleidingsscenario's

Om uitspraken te kunnen doen over knelpunten tijdens omleidingen, is het noodzakelijk een beeld te hebben van de hoeveelheid verkeer die van een omleidingsroute gebruik zal gaan maken. Het is onjuist om te veronderstellen dat de volledige verkeersintensiteit die normaliter over een bepaald wegvak gaat, geheel dezelfde omleidingsroute gaat volgen. Afhankelijk van de bestemming kan immers route A of route B het meest aantrekkelijk zijn en voor lokaal verkeer ligt gebruik van het onderliggend wegennet voor de hand.

Om een beeld van de omleidingsstromen te krijgen, is het verkeersmodel NRM Oost-Nederland gebruikt. Dit model geeft per dagdeel (ochtendspits, avondspits en dalperiode) een overzicht van de te verwachten intensiteiten. Rijkswaterstaat had ten tijde van het onderzoek niet de mogelijkheid de meest recente versie van het NRM zelf door te rekenen. Daarom moest voor dit onderzoek worden teruggegrepen op de prognose voor 2020 van de vorige versie, het NRM 2004.

Met behulp van dit model, zijn enkele scenario's – gesimuleerde situaties waarbij een wegvak gestremd is – in het toetsingsgebied doorgerekend. In theorie zijn er honderden scenario's en combinaties van scenario's mogelijk, maar het was binnen de beschikbare tijd niet haalbaar al deze scenario's door te rekenen. Voor de toetsing van het concept was dit ook niet noodzakelijk. In overleg met Rijkswaterstaat zijn acht interessante scenario's opgesteld, die naar verwachting de meest verstreckende gevolgen hebben voor het (autosnelweg)netwerk in de 'acht'. Bij elk scenario is een wegvak afgesloten tussen twee knooppunten, waarna het model opnieuw is toegedeeld. Hierbij is ervoor gekozen de afsluiting zo te plaatsen, dat het verkeer niet eenvoudig via een parallel lopende route via het onderliggend wegennet wordt toegedeeld. Dit heeft geleid tot de in afbeelding 2.2 weergegeven scenario's.



Afbeelding 2.2. Scenario's in het toetsingsgebied.

Het NRM 2004 deelt toe volgens de 'alles of niets'-methode, wat betekent dat het model geen rekening houdt met wegcapaciteiten. Uit overleg met de heer Bannink, specialist op modellengebied, die de doorrekening in de modellen voor zijn rekening heeft genomen, is echter gebleken dat dit voor deze toetsing geen bezwaar vormt. Het verkeer wordt vooral via de hoofdwegen toegedeeld en de prognose in de knooppunten zal er in ieder geval niet te laag door uitvallen. Daarnaast maakt deze toedeling-methode de latente vraag inzichtelijk, iets wat bij capaciteitsgevoelige toedeling niet het geval is. Zodra de wegcapaciteit bereikt wordt, zal dan immers het verkeer via andere routes worden toegedeeld. Het model maakt wel onderscheid tussen personen- en vrachtverkeer.

Met deze methode zijn de omleidingsscenario's voor de knooppunten Hoevelaken, Maanderbroek, Waterberg, Grijsoord en Beekbergen doorgerekend.

Analyseren gevolgen omleidingsscenario's toetsingsgebied

De vorige onderzoeksstappen hebben inzicht gegeven in zowel de te verwachten intensiteiten als de capaciteit van de knooppuntonderdelen. Na het beschikbaar komen van deze gegevens, zijn de omleidingsscenario's geanalyseerd. Per scenario, per dagdeel en per knooppunt is de toename van de verkeersintensiteit afgezet tegen de capaciteit van het knooppunt. De maatstaf i/c, die ook in het CIA wordt gebruikt, maakt op basis van de beschikbare gegevens duidelijk of er filevorming verwacht kan worden in of voor een knooppunt. Op bovenstaande wijze is voor de scenario's bepaald welke toename van de verkeersintensiteit er per dagdeel is en in hoeverre deze toename verwerkt kan worden op de knooppunten. Dit bracht de concrete knelpunten binnen het gekozen netwerk, de 'acht', aan het licht.

Bepalen mogelijke maatregelen toetsingsgebied

In deze stap is bepaald in hoeverre de voorgestelde maatregelen kunnen bijdragen aan het verbeteren van de verkeersafwikkeling. Per knooppunt, per scenario en per dagdeel is dit inzichtelijk gemaakt. Dit leidde tot een overzicht van te nemen maatregelen en de mate waarin het verkeer daarmee ook daadwerkelijk kan worden verwerkt. Dit is gedaan door het handmatig wijzigen van de wegcapaciteiten op de elementen waar maatregelen zijn genomen. Op deze manier is het maatregelenpakket getoetst op effectiviteit. Toetsing in een model als de Regionale Benuttings Verkenner (RBV, een model waarin de effecten van verkeersmanagement-maatregelen bepaald kan worden) bleek niet mogelijk. Er was namelijk geen actuele RBV beschikbaar waar het toetsingsgebied volledig in zit en veel van de voorgestelde maatregelen zijn ook niet beschikbaar in de RBV.

Terugkoppeling naar aanleiding van verkeerskundige toetsing

De toetsing in de vorige werkstappen heeft inzichtelijk gemaakt in hoeverre de maatregelen in enkele praktijksituaties kunnen bijdragen aan een betere verkeersafwikkeling bij een omleidingsscenario. Op basis van de resultaten hiervan, zijn conclusies getrokken over de toegevoegde waarde die de voorgestelde aanpak zal hebben: kan het maatregelenpakket de problemen wegnemen of blijven er ook na de implementatie van het maatregelenpakket capaciteitsknelpunten bestaan?

Resultaat van de verkeerskundige toetsing is inzicht in de mate waarin het stappenplan de knelpunten kan oplossen. Dit heeft geleid tot enkele aanvullende aanbevelingen, naast het stappenplan.

2.9 Praktische toetsing

Naast de verkeerskundige toetsing, is het ook zinvol te kijken naar de concrete inpasbaarheid van de maatregelen: zijn de voorgestelde maatregelen wel toepasbaar? Daarom is als sluitstuk van het onderzoek de problematiek van omleidingsscenario's toegespitst op het knooppunt Maanderbroek (A12/A30). Deze keuze is ingegeven door het feit dat de A30 als schakel middenin het netwerk voor veel scenario's van belang is. Knooppunt Maanderbroek wordt bij verschillende scenario's dus op diverse verbindingen extra belast. De praktische toetsing viel uiteen in drie deelstappen:

Inventarisatie bestaande situatie knooppunt Maanderbroek

In deze stap is de bestaande situatie gedetailleerd in kaart gebracht op basis van tekeningen en foto's.

Uitwerking mogelijke maatregelen knooppunt Maanderbroek

De voorgestelde maatregelen zijn naast de bestaande situatie op knooppunt Maanderbroek gelegd. Daarmee is concreet gekeken naar de inpasbaarheid van de maatregelen op het knooppunt in ruimtelijke zin.

Terugkoppeling naar aanleiding van praktische toetsing

De vorige deelstap heeft inzicht gegeven in de praktische inpasbaarheid van maatregelen. Op basis hiervan, zijn conclusies getrokken met betrekking tot praktische uitvoerbaarheid van de maatregelen. Net als de verkeerskundige toetsing, heeft ook deze toetsing geleid tot enkele aanbevelingen ten aanzien van de vormgeving van een knooppunt. De aanpak is hiermee zowel getoetst op het concept (de effectiviteit) als op de praktische toepasbaarheid in een knooppunt.

2.10 Rapportage

Gedurende het onderzoek is doorlopend gewerkt aan deze rapportage. Dit document bevat een aanbeveling voor maatregelen die kunnen bijdragen aan een betere verkeersafwikkeling in knooppunten bij omleidingsverkeer in het algemeen (op conceptueel niveau), alsmede een stappenplan dat inzicht kan geven in de in te zetten maatregelen in een rijrichting tijdens een omleidingsscenario. Verder zijn een verkeerskundige toetsing op effectiviteit en een praktische toetsing op toepasbaarheid voor het gekozen netwerk opgenomen.

3 Knooppunttypen en knelpunten

Om te kunnen bepalen waar het nemen van maatregelen zinvol is, moeten eerst de mogelijke capaciteitsknelpunten helder zijn. Dit hoofdstuk gaat hierop in. Eerst komt een overzicht van knooppunttypen aan de orde, daarna volgt een analyse van de mogelijke knelpunten op verschillende knooppuntelementen. Vervolgens wordt stilgestaan bij de mate waarin deze elementen beperkingen opleveren op de verschillende knooppunttypen en als laatste volgt een overzicht van capaciteiten per element.

Foto: luchtfoto knooppunt Beekbergen (bewerking van opname Rijkswaterstaat)

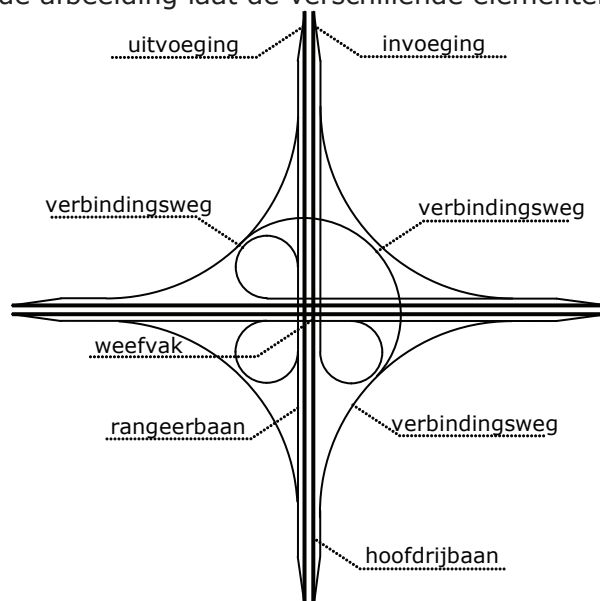
3.1 Definitie knooppunttypen

De eerste stap van dit onderzoek is het definiëren van de verschillende knooppunttypen. De vorm van een knooppunt is van diverse factoren afhankelijk, zoals doorstroming, kosten, ruimtebeslag, ondergrond en regionale belangen. Vaak is ook de beleving van de weggebruiker een bepalende factor voor het ontwerp van een knooppunt (Wenting, 2009). In feite is elk knooppunt daarmee maatwerk. Om toch in algemene zin iets te kunnen zeggen over beperkende factoren in knooppunten, is ervoor gekozen uit te gaan van de vierarmige basistypen zoals gedefinieerd in het document *Richtlijnen voor het Ontwerp van Autosnelwegen* (ROA) 2010. Deze varianten zijn te zien in bijlage 2. Driearmige knooppunten zijn vereenvoudigde versies van de vierarmige typen, kennen geen eigen elementen en worden daarom niet apart behandeld. Zo is de trompetboog te zien als vereenvoudigde versie van het verbeterd klaverblad met semi-directe verbindingsweg.

Daadwerkelijk gerealiseerde knooppunten wijken vrijwel altijd af van de basisvormen. De elementen in die knooppunten zijn echter wel altijd terug te voeren op de standaard vormgevingsvarianten. Deze standaardconfiguraties vormen daarom een goede basis voor de analyse.

3.2 Definitie knooppuntelementen

De standaard knooppuntconfiguraties lijken voor een deel op elkaar: veel elementen komen in meerdere knooppunttypen voor. Daarom worden de knooppunttypen in deze paragraaf ontleed tot hun unieke elementen: de wegvakken van de hoofdrijbaan, de discontinuïteiten ("een onderbreking of verstoring van het vloeiende verloop van de weg", Rijkswaterstaat, 2007a) en overige afwijkende knooppuntonderdelen. Onderstaande afbeelding laat de verschillende elementen op een knooppunt zien.



Afbeelding 3.1. Knooppuntelementen.

3.3 Capaciteiten knooppuntelementen

Capaciteit wordt veelal bepaald op punten waar wegen samenkomen of splitsen, de zogenaamde discontinuïteiten. Ook de wegvakken dienen echter voldoende capaciteit te hebben om het verkeer te kunnen verwerken. De bovengenoemde elementen kunnen dus allemaal een knelpunt vormen. Daarom behandelt deze paragraaf alle onderdelen: wegvakken van de hoofdrijbaan, verbindingswegen/rangeerbanen, in-/samenvoegingen, uitvoegingen/splitsingen und weefvakken. Er is ook getracht uitspraken te doen over de capaciteit. Aangezien capaciteit afhankelijk is van diverse factoren – und daarmee verschilt per gebied und per situatie – kunnen de genoemde getallen niet als universeel geldende waarden gesehen werden. Ze geben echter wel insight in die capaciteitsverhoudungen tussen de verschiedenen elementen und sind daarmee wertvoll um die mate von beschränkung die die verschiedenen knelpunkten opleveren in kaart te brengen.

In der literatuur wordt zowel gebruik gemaakt von capaciteiten in motorvoertuigen (mvt) bij een bepaald percentage vrachtverkeer als in personenauto-equivalenten (pae). Die beschikbare tijd was te kort um specifiek in te gaan op die gevolgen von verschiedenen percentages vrachtverkeer, zodat ervoor is gekozen uit te gaan von pae-waarden. Dies macht es möglich praktisch te rekenen mit capaciteitsgetallen bij die toetsing, zonder verandering von die capaciteiten noodzakelijk te maken bij een ander percentage vrachtverkeer. Capaciteiten in mvt sind omgerekend naar pae, waarbij in overleg mit de heer Vermijs voor vrachtverkeer een pae-waarde von 2 is gehanteerd.

3.3.1 Wegvak hoofdrijbaan

Wegvakken vormen de basis voor de capaciteit van een autosnelweg en feitelijk ook voor die van een knooppunt. De wegvakken bepalen immers hoeveel verkeer er naar het knooppunt kan worden toegeleid. Daarom is hieronder een tabel opgenomen met wegvakcapaciteiten. Bron van de gegevens is het handboek *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA)*, versie 3 (Rijkswaterstaat, 2011). Dit document is het officiële landelijke capaciteitshandboek en bevat waarden die op basis van berekeningen en simulaties zijn bepaald.

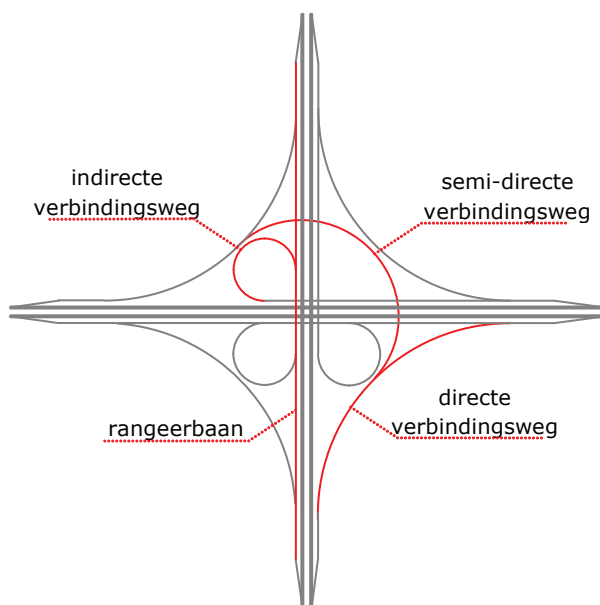
Capaciteitswaarden voor wegvakken (pae/u)	
1 strook, lengte < 1.500 meter	2.415
1 strook, lengte > 1.500 meter	2.185
2 stroken	4.830
3 stroken	7.245
4 stroken	9.430

Zoals de tabel laat zien, maakt het CIA onderscheid tussen wegvakken met één strook korter en langer dan 1.500 meter. De reden hiervoor is dat de capaciteit van een dergelijk wegvak afneemt naarmate de lengte ervan toeneemt. Bij één strook is inhalen onmogelijk en gaat de zwakste schakel, het langzaamste voertuig, de doorstroming belemmeren. In werkelijkheid zal de capaciteit geleidelijk dalen bij een toenemende weglengte. Om te kunnen rekenen met de capaciteitswaarden, is de grens voor een lagere capaciteit in het CIA echter op 1.500 meter gesteld.

In een knooppunt kan de hoofdrijbaan tot een knelpunt leiden, als er voor de doorgaande stroom in het knooppunt minder capaciteit is dan ervoor en erna. Dit is het geval bij een vormgeving, waarbij stroomopwaarts en stroomafwaarts van het knooppunt meer rijstroken worden geboden dan in het knooppunt. Ook als de verbindingswegen samen meer capaciteit hebben dan de hoofdrijbaan stroomafwaarts, is het mogelijk dat er een knelpunt ontstaat.

3.3.2 Verbindingsweg/rangeerbaan

In een knooppunt zijn, naast de rangeerbanen, drie categorieën verbindingswegen te onderscheiden: directe, semi-directe en indirecte. Zie afbeelding 3.2.

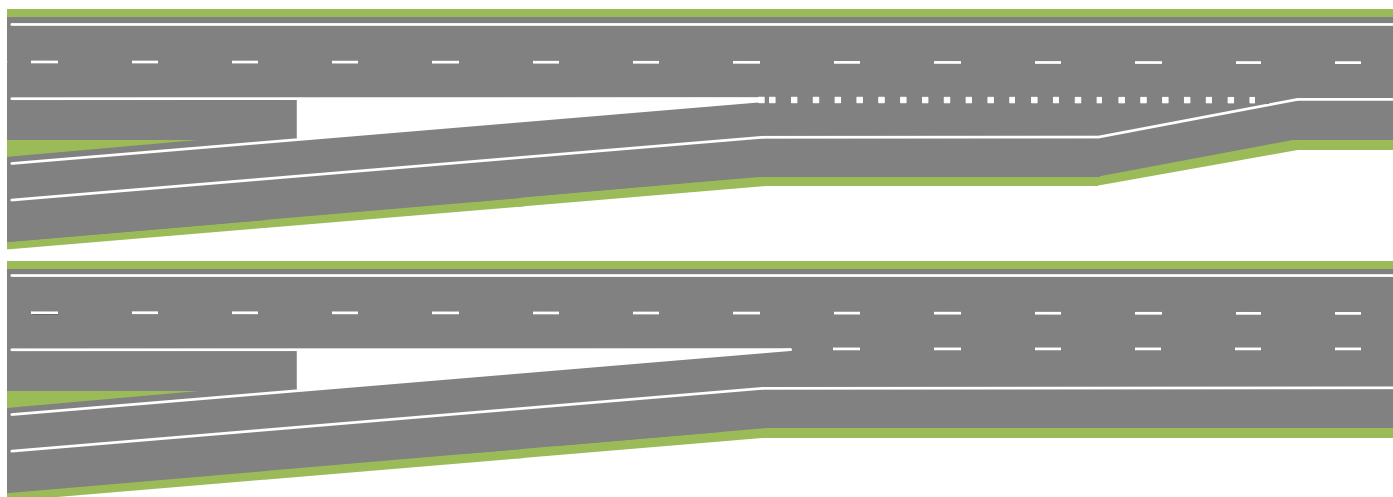


Afbeelding 3.2. Verbindingswegtypen en rangeerbanen.

Rangeerbanen en verbindingswegen zijn in de basis vergelijkbaar met een wegvak en hebben dus de onder 3.3.1 genoemde capaciteiten (Rijkswaterstaat, 2011). Niet al deze wegen zijn echter vergelijkbaar met de hoofdrijbaan. De ontwerpsnelheid is namelijk lager: de hoofdrijbaan is ontworpen voor 100 of 120 km/u, terwijl voor rangeerbanen 80 of 100 km/u en voor verbindingswegen 50, 80 en 100 km/u gebruikelijke ontwerpsnelheden zijn (Rijkswaterstaat, 2007a). Aangezien de maximale capaciteit van een snelweg bereikt wordt bij 80 à 90 km/u (Rijkswaterstaat, 2011), zullen de directe en semi-directe verbindingswegen met een ontwerpsnelheid van 80 of 100 km/u geen duidelijk afwijkende capaciteit hebben. Op de indirecte verbindingswegen, ontworpen voor 50 km/u en gelegen in een krappe boog, zijn de genoemde capaciteiten echter niet haalbaar. Rijkswaterstaat (2011) geeft hierover geen informatie, maar praktijkervaringen en planstudies in Oost-Nederland bevestigen de lagere capaciteit. Gemiddeld is de capaciteit van een indirecte verbindingsweg circa 20% lager dan op een regulier wegvak (Rijkswaterstaat, 2012). Afgezet tegen de waarden uit het CIA, levert dat een capaciteit van circa 1.930 pae/u op voor de standaard indirecte verbindingsweg met één strook.

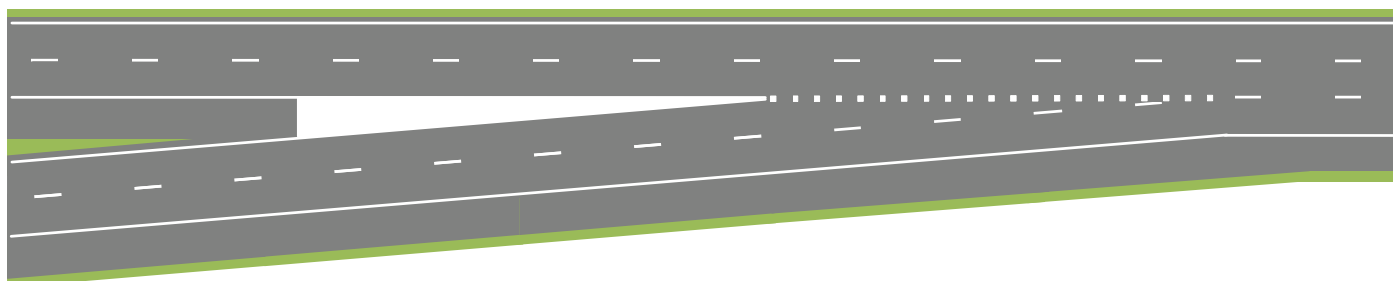
3.3.3 In- en samenvoeging

In een knooppunt komen meerdere wegen samen: verbindingswegen komen uit op een rangeerbaan en de rangeerbaan komt uit op de hoofdrijbaan. Dergelijke situaties kunnen zijn vormgegeven als invoeging of als samenvoeging. Afbeelding 3.3 toont de principeschetsen van beide configuraties.



Afbeelding 3.3. Standaardconfiguratie van een invoeging (boven) en een samenvoeging (onder).

Invoegen met meer stroken tegelijk is uit oogpunt van verkeersveiligheid ongewenst (Rijkswaterstaat, 2007a). Meestal bestaat een invoeging daarom uit één strook en valt een eventuele tweede strook kort voor het invoegen af. Als de intensiteiten meer stroken noodzakelijk maken, komt de samenvoeging in beeld. De bijkomende rijstroken blijven dan onderdeel uitmaken van de hoofdrijbaan; stroomafwaarts wordt de linker rijstrook eventueel afgestreept. Een uitzondering op deze regel is de tapersamenvoeging. Hierbij komt de linker strook van de toeleidende weg direct uit op de rechter strook van de hoofdrijbaan, zie afbeelding 3.4.



Afbeelding 3.4. Tapersamenvoeging.

Vanwege de verkeersveiligheid, is de tapersamenvoeging volgens Rijkswaterstaat (2011) alleen in structurele vorm toegestaan als op de toeleidende wegen de verhouding tussen de verkeersintensiteit en wegcapaciteit (i/c -verhouding) lager is dan 0,7.

Bij een in- of samenvoeging kan op twee locaties een knelpunt ontstaan. De eerste speelt alleen bij de invoeging en bestaat uit de beperking tot één invoegstrook. Het invoegende verkeer moet – ook al is het over een korte afstand – over de enkele strook worden afgewikkeld. Bij een hogere intensiteit dan de strook kan verwerken, ontstaat zo een knelpunt. Als de hele verbindingsweg maar één strook heeft, verandert er op dit punt niets en kan het ook geen probleem vormen.

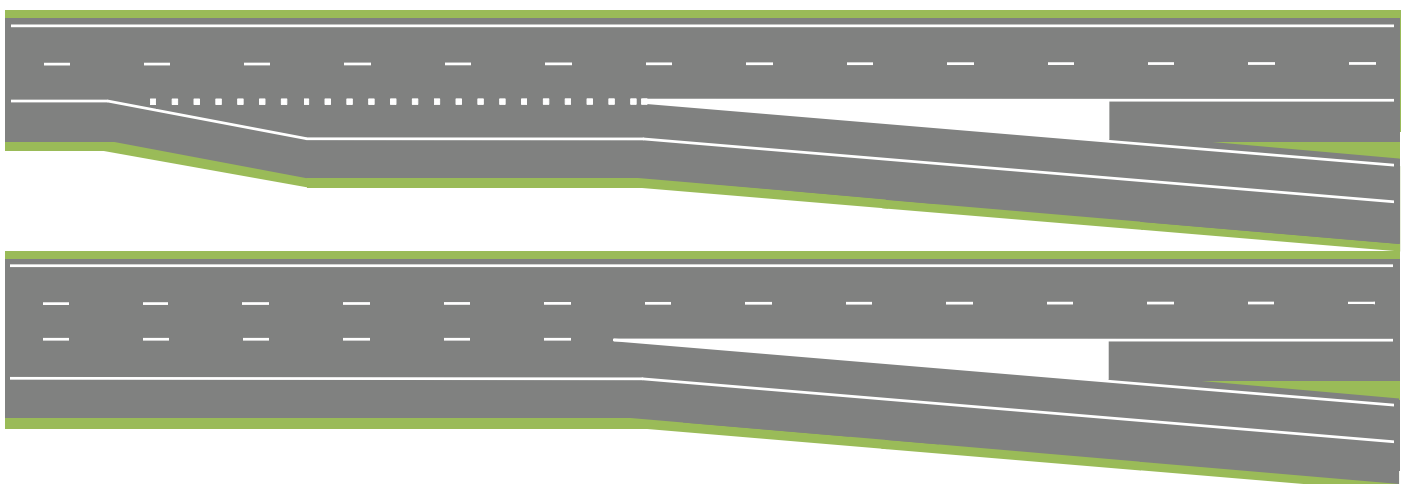
Het tweede mogelijke knelpunt ligt op het convergentiepunt en het wegvak stroomafwaarts daarvan. Bij het beëindigen van een rijstrook, daalt het totale aantal stroken en daarmee de wegcapaciteit, terwijl de verkeersintensiteit gelijk blijft. Dit leidt tot een hogere dichtheid dan voor de beëindiging. Op het punt van invoegen, accepteren weggebruikers deze hoge dichtheid en kortere volgafstand. Direct na de rijstrookbeëindiging is de capaciteit daarom hoger dan verwacht zou worden bij het betreffende aantal rijstroken. Weggebruikers willen volgens de verkeersstroomtheorie de volgafstanden daarna echter weer aanpassen aan de vernieuwde situatie, in dit geval dus vergroten, zodat de capaciteit toch op het normale niveau komt. De capaciteitsdaling als gevolg van een rijstrookbeëindiging treedt dus niet ter hoogte van de fysieke beëindiging op, maar pas na een bepaalde afstand stroomafwaarts. Een file ontstaat doorgaans ook op dat punt, waarna de kop van de file terugkruipt tot het convergentiepunt, zie Barendrecht (2012).

Opmerkelijk is dat een Duits onderzoek (Engelmann, 2003) andere resultaten laat zien. Op basis van metingen op vier Duitse snelwegen, stelt dit onderzoek dat de capaciteit ter hoogte van een invoeging juist gemiddeld 15% lager is dan op een rijbaan met hetzelfde aantal stroken. Dit roept de vraag op waar deze verschillen door veroorzaakt worden. Een mogelijke verklaring zit in de menselijke kant, het gedrag van de weggebruiker. Dit gedrag is afhankelijk van verschillende factoren, zoals mentaliteit, rijgedrag en bekendheid met een situatie. Een inwoner van de Randstad zal bijvoorbeeld meer aan files gewend zijn dan een inwoner van Drenthe en dat blijkt ook gevolgen te hebben voor de capaciteit. Ook binnen Nederland zijn namelijk al verschillen te zien; zo hanteert Rijkswaterstaat Oost-Nederland een enkele procenten lagere capaciteit dan in West-Nederland gebruikelijk is. Over Duitsland is bekend dat de snelheidsverschillen groter zijn en weggebruikers daarom meer afstand houden, wat leidt tot een lagere capaciteit. Zo geeft Lindenbach (2003) aan dat een weefvak vanaf 1.500 mvt/u (1.725 pae/u) onwenselijk is, waar in Nederland een hogere waarde geldt, zie paragraaf 3.3.5 verderop in dit hoofdstuk.

Om meer inzicht te krijgen in de voor Nederland relevante situatie, is navraag gedaan bij de heer Traag (Rijkswaterstaat). Hij bevestigde de eerder beschreven situatie: in de praktijk blijkt dat de hogere capaciteit over de eerste 300 tot 400 meter behaald wordt, waarna de capaciteit weer op het normale niveau voor het betreffende aantal rijstroken komt. Ook Rijkswaterstaat (2011) stelt de capaciteit van een in- of samenvoeging gelijk aan die van het achterliggende wegvak. Dat betekent 2.415 pae/u bij één overblijvende rijstrook, 4.830 pae/u bij twee doorgaande stroken en 7.245 pae/u bij drie doorgaande rijstroken. Binnen dit onderzoek is ervoor gekozen aan te sluiten bij deze waarden en inzichten, aangezien de diverse Nederlandse bronnen en ervaringen eenduidig stellen dat het wegvak stroomafwaarts geldt als maatgevende factor voor de capaciteit van een in-/samenvoeging.

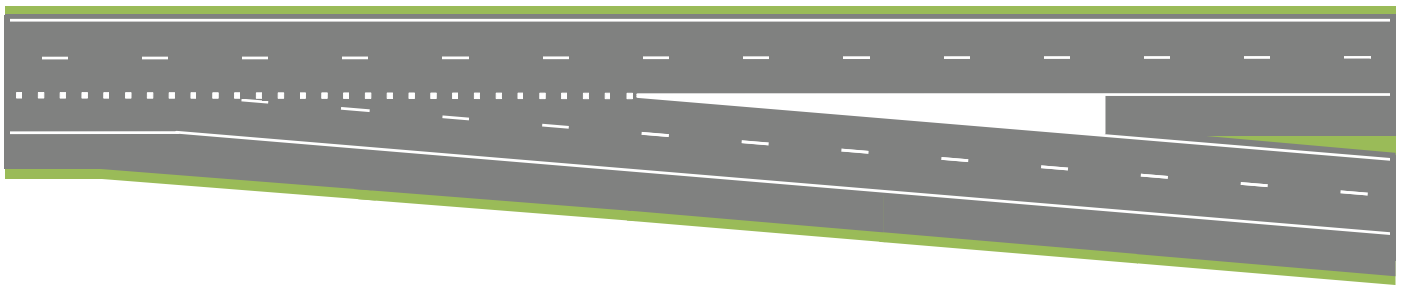
3.3.4 Uitvoeging/splitsing

Een locatie waar twee rijbanen divergeren, kan zijn vormgegeven als uitvoeging of splitsing, zie afbeelding 3.5.



Afbeelding 3.5. Standaardconfiguratie van een uitvoeging (boven) en splitsing (onder).

Uitvoeringen in de vorm van een taper, zoals de taperuitvoeging die is weergegeven in afbeelding 3.6, komen bij uitvoeringen en splitsingen meer voor dan bij in-/samenvoegingen. Ze kunnen in dit geval namelijk geen veiligheidsproblemen opleveren: verkeer kan normaal uitvoegen en de taper oprijden.

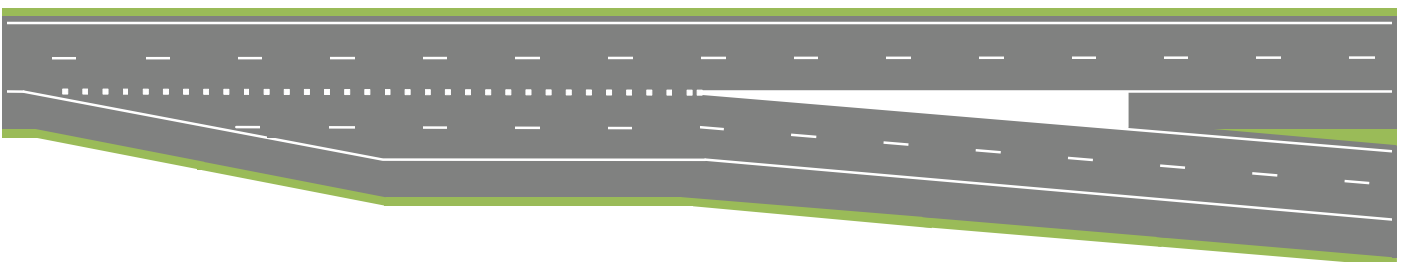


Afbeelding 3.6. Taperuitvoeging.

Een uitvoeging betekent voor het doorgaande verkeer in principe geen capaciteitsverlaging, omdat het aantal stroken gelijk blijft. Een knelpunt kan wel ontstaan bij een capaciteitsgebrek voor de uitvoegende stroom. De aanwezigheid van slechts één uitvoegstrook kan bij grote drukte leiden tot filevorming met terugslag op de hoofdrijbaan. Het CIA (Rijkswaterstaat, 2011) noemt een tweede uitvoegstrook vanaf 700 mvt/u wenselijk en vanaf 1.000 mvt/u noodzakelijk. De capaciteit van een uitvoegstrook zou daarmee rond 1.380 pae/u liggen, veel lager dan van een normale rijstrook. Volgens de heer Vermijs, die betrokken was bij de totstandkoming van het CIA, zou er bij deze waarde echter geen rekening zijn gehouden met de kortere volgfstanden die weggebruikers kort voor het uitvoegen, net als kort na het invoegen, accepteren. De waarde zou in werkelijkheid daarom hoger liggen; voor planstudies in Oost-Nederland gebruikt Rijkswaterstaat een waarde van 1.500 pae/u per rijstrook.

Al met al blijft de capaciteit van een uitvoegstrook lager dan die van een normale strook. De oorzaak hiervoor ligt in het niet volledig gevuld krijgen van de uitvoeging. Verkeer dat wil uitvoegen, gaat namelijk voorsorteren op de rechter rijstrook van de hoofdrijbaan, waar ook doorgaand verkeer rijdt, en neemt voor de uitvoeger al wat snelheid terug. Dit kan leiden tot een ongelijke verdeling van het verkeer over de stroken, overbelasting van en filevorming op de rechter strook en hinder voor beide verkeersstromen. De capaciteit van de hoofdrijbaan stroomopwaarts wordt door de ongelijke verdeling over de rijstroken onvolledig benut en daardoor kan de theoretische capaciteit van de uitvoegstrook, 2.415 pae/u, nooit gehaald worden. Om die reden blijft de capaciteit van een uitvoegstrook achter.

Om dezelfde reden geldt ook voor taperuitvoegingen een lagere capaciteit: verkeer zal niet in één beweging van de linker rijstrook van de hoofdrijbaan de taper oprijden en zal daarom op enig moment toch voorsorteren. Daarbij geldt ook nog dat een taperende strook niet direct zichtbaar is en daarom minder goed wordt benut. Het CIA besteedt hier geen aandacht aan, als capaciteit geldt in Oost-Nederland 2.500 pae/u voor een taperuitvoeging tegenover 3.000 pae/u bij de tweestrooks uitvoeging, zie afbeelding 3.7.

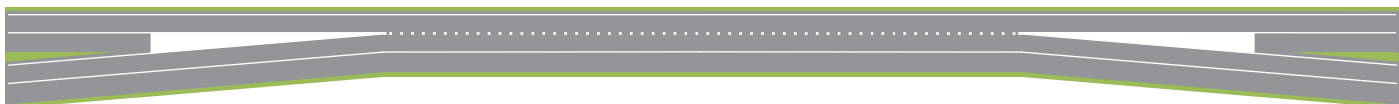


Afbeelding 3.7. Tweestrooks uitvoeging.

Een splitsing levert voor beide verkeersstromen veel minder beperkingen op. Verkeer moet ook hier voorsorteren voor de gewenste richting, maar er is geen sprake van dubbele belasting van een rijstrook. Indien de richtingen tijdig worden aangegeven op de bewegwijzering, benadert een splitsing de capaciteit van een wegvak in grote mate, stelt ook Rijkswaterstaat (2011). Daarom wordt bij dit onderzoek uitgegaan van de capaciteiten van de wegvakken stroomafwaarts van de splitsing.

3.3.5 Weefvakken

Als kort na elkaar een invoeging en een uitvoeging liggen, wordt er een weefvak toegepast. De configuratie van een weefvak verschilt afhankelijk van de omvang van de verkeersstromen. De afbeelding hiernaast toont de basisconfiguratie, een 1 + 1 weefvak, zoals toegepast in het standaard klaverblad-knooppunt. Het begrip 1 + 1 slaat op één doorgaande strook en één toeleidende/afbuigende strook.



Afbeelding 3.8. Standaardconfiguratie weefvak.

Weefvakken hebben door het weven van verkeer een lagere capaciteit dan een rijbaan met hetzelfde aantal stroken en vormen daardoor een belangrijk knelpunt. Verkeer moet anticiperen op het verkeer op de naastliggende strook, een hiaat in de verkeersstroom zoeken, van strook wisselen en een veilige volgafstand creëren. Afhankelijk van snelheid, snelheidsverschillen, omvang van de verkeersstromen en verkeerssamenstelling, verloopt dit proces soepel of minder soepel (Rijkswaterstaat, 2011).

In het verleden zijn er diverse onderzoeken uitgevoerd naar weefvakcapaciteiten. Een belangrijke conclusie is dat de capaciteit niet statisch is, maar verandert naar gelang het gebruik. Hoe hoger het percentage verkeer dat weeft en dus van strook wisselt, hoe meer turbulentie er ontstaat, met een lagere capaciteit als gevolg. Als illustratie van het verschil: een standaard weefvak in een klaverblad (symmetrisch, 1+1 strook, 200 meter en 100% wevend verkeer) heeft een capaciteit van ruim 2.000 pae/u, terwijl een normale enkelstrooks rijbaan ruim 2.400 pae/u kan verwerken. De mate waarin de capaciteiten variëren bij een verandering in lengte of verkeersverhoudingen, is sterk verschillend per weefvakconfiguratie. De oorzaken voor mogelijke congestie zijn echter in alle gevallen gelijk.

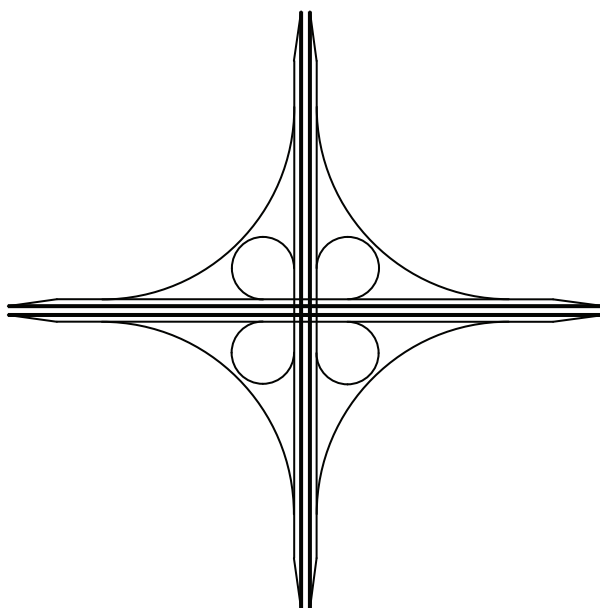
Een ander nadeel van een weefvak na een indirecte verbindingsweg is de relatief lage aanrijdsnelheid van het verkeer in verhouding tot de snelheid van het verkeer op de rangeerbaan. Deze snelheidsverschillen hebben bij ongewijzigde verkeersstromen en -samenstelling een negatieve invloed op de capaciteit van het weefvak (Rijkswaterstaat, 2011). Ook internationaal gezien is dit snelheidsverschil een veel voorkomend probleem, bijvoorbeeld in China (Verhoeven et al, 2005).

3.4 Samenhang in de verschillende knooppunttypen

Het voorgaande heeft inzicht gegeven in de beperkingen die de verschillende knooppuntelementen opleveren. Deze paragraaf gaat in op de gevolgen van deze beperkingen voor de standaard knooppunttypen uit het ROA 2010. De indeling in subparagrafen is (in overeenstemming met het ROA 2010) gemaakt op basis van de importantie van afbuigende relaties.

3.4.1 Standaard knooppunt: klaverblad

Het standaard vierarmige knooppunt, het klaverblad, is in afbeelding 3.9 weergegeven.

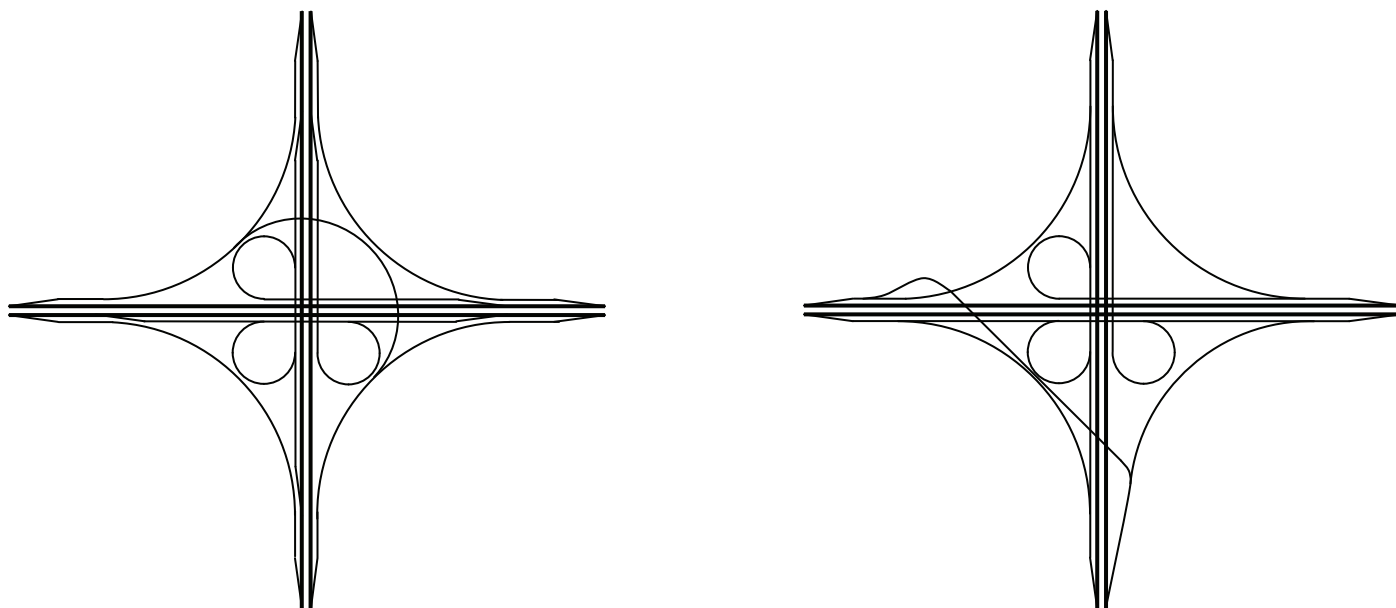


Afbeelding 3.9. Klaverblad.

Het klaverblad bevat zowel de weefvakken als de indirecte verbindingswegen. Dit betekent dat de beperkingen voor de linksaf buigende bewegingen groot zijn. Voor het afwikkelen van omleidingsverkeer kan dit problemen opleveren, dit knooppunttype verdient daarbij dan ook bijzondere aandacht.

3.4.2 Knooppunt met één belangrijke afbuigende relatie

Voor situaties waarbij één afbuigende verbinding van groter belang is, onderscheidt het ROA 2010 twee varianten van het verbeterd klaverblad. Zie afbeelding 3.10.



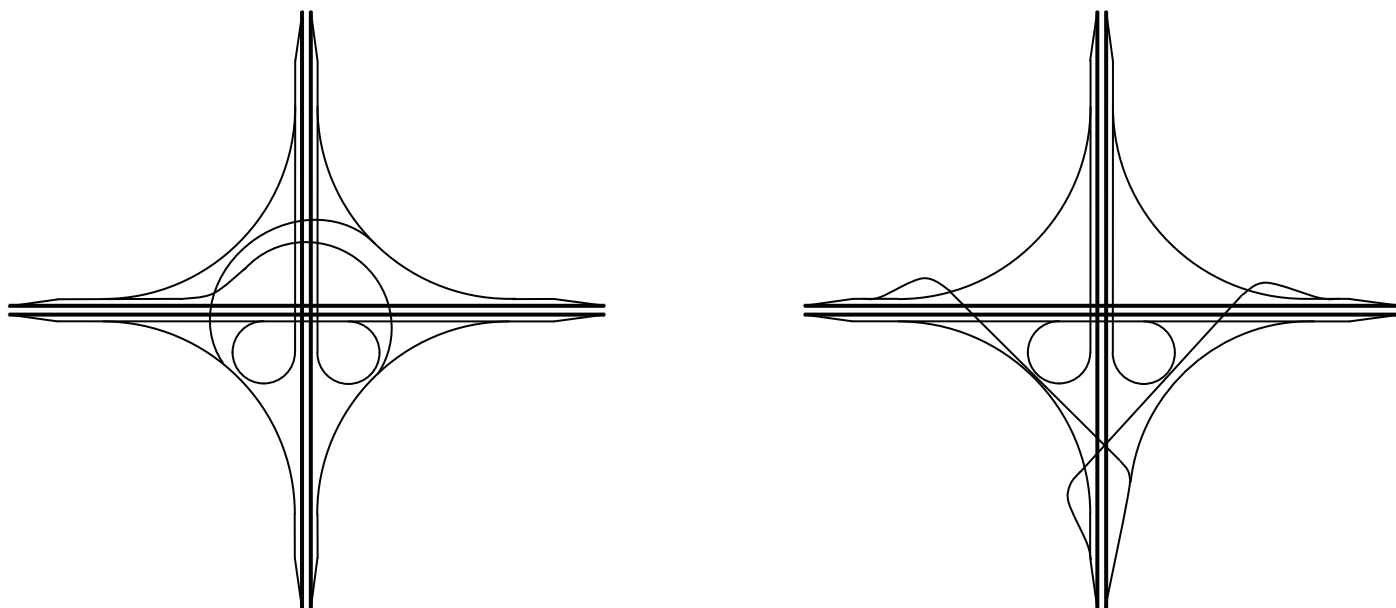
Afbeelding 3.10. Twee varianten van het verbeterd klaverblad.

Ten opzichte van het klaverblad is de vormgeving van de zwaarder belaste afbuigende relatie, in de afbeelding van zuid naar west, veranderd. In de linker variant is een semi-directe verbindingsweg aangelegd, die door de ruimere boogstraal een hogere ontwerpsnelheid heeft dan de indirecte lus van het klaverblad. Daarmee stijgt de capaciteit van deze weg met circa 20%, zoals beschreven in paragraaf 3.3.2. Daarnaast zijn door deze maatregel twee van de vier weefvakken vervallen. Voor de ondergeschikte bewegingen van oost naar zuid en van west naar noord heeft dit echter geen positieve uitwerking, omdat beide bewegingen nog steeds een weefvak passeren.

De rechter variant in afbeelding 3.10 onderscheidt zich van de linker door de aanwezigheid van een directere verbindingsweg. De lengte van de weg is daarmee korter. Uitgaande van een verbindingsweg met één strook, heeft dat een positieve invloed op de capaciteit. Dit verschil is echter niet te kwantificeren, omdat alleen waarden voor wegen korter of langer dan 1.500 meter bekend zijn.

3.4.3 Knooppunt met twee belangrijke, naastgelegen afbuigende relaties

Bij twee drukke afbuigende stromen in dezelfde richting kunnen twee andere knooppuntsoorten worden toegepast: de klaverturbine en klaverster. Zie afbeelding 3.11.

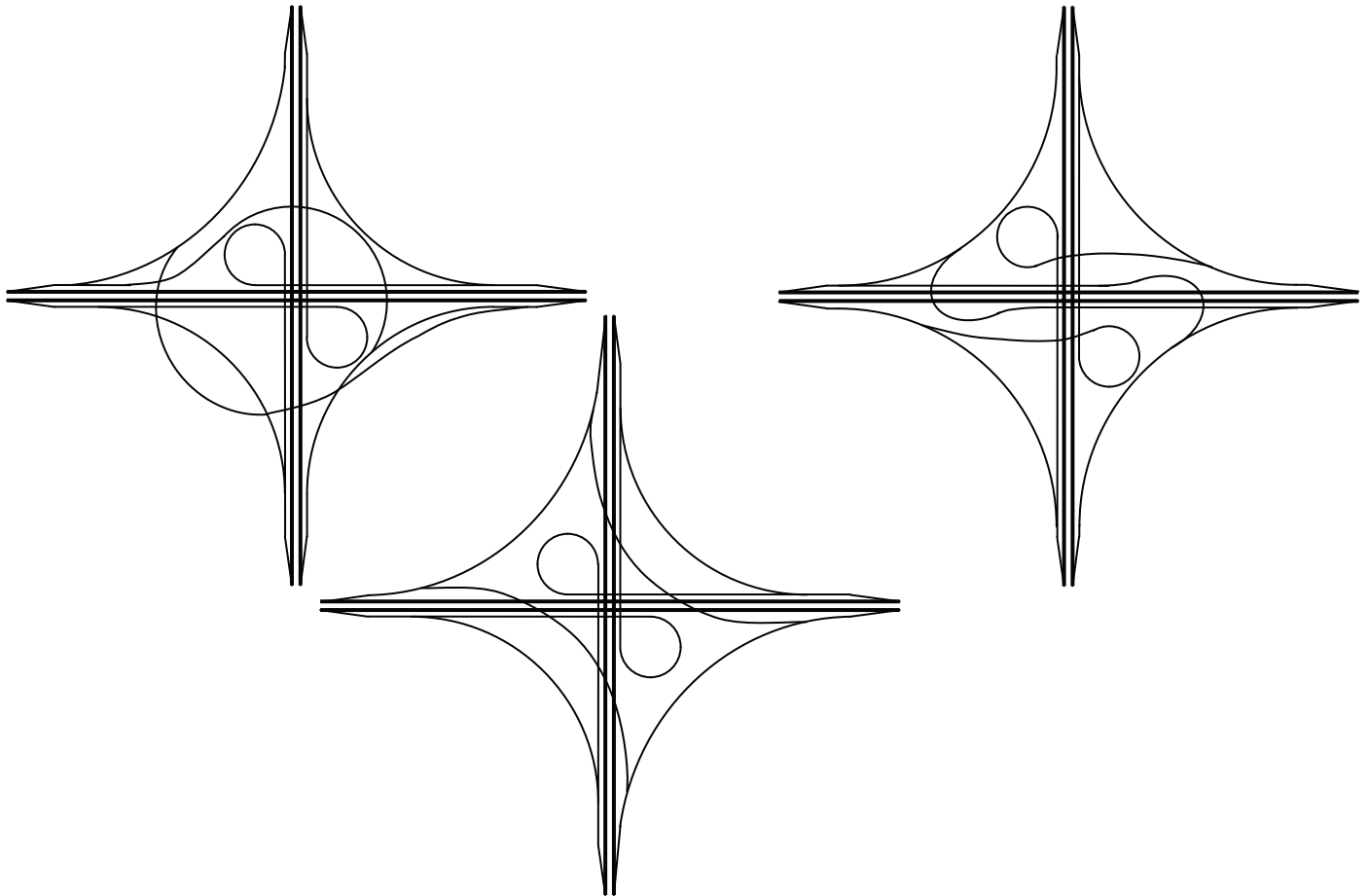


Afbeelding 3.11. Klaverturbine (links) en klaverster (rechts).

Er zijn geen principiële verschillen te benoemen tussen deze typen en die uit de vorige subparagraaf. De daar beschreven effecten treden voor een extra richting op.

3.4.4 Knooppunt met twee belangrijke, tegenovergelegen afbuigende relaties

Een variant op de uitbreiding van de vorige typen komt in beeld bij twee afbuigende relaties die tegenover elkaar liggen. Hiervoor kent het ROA 2010 drie principe-oplossingen, zie afbeelding 3.12.



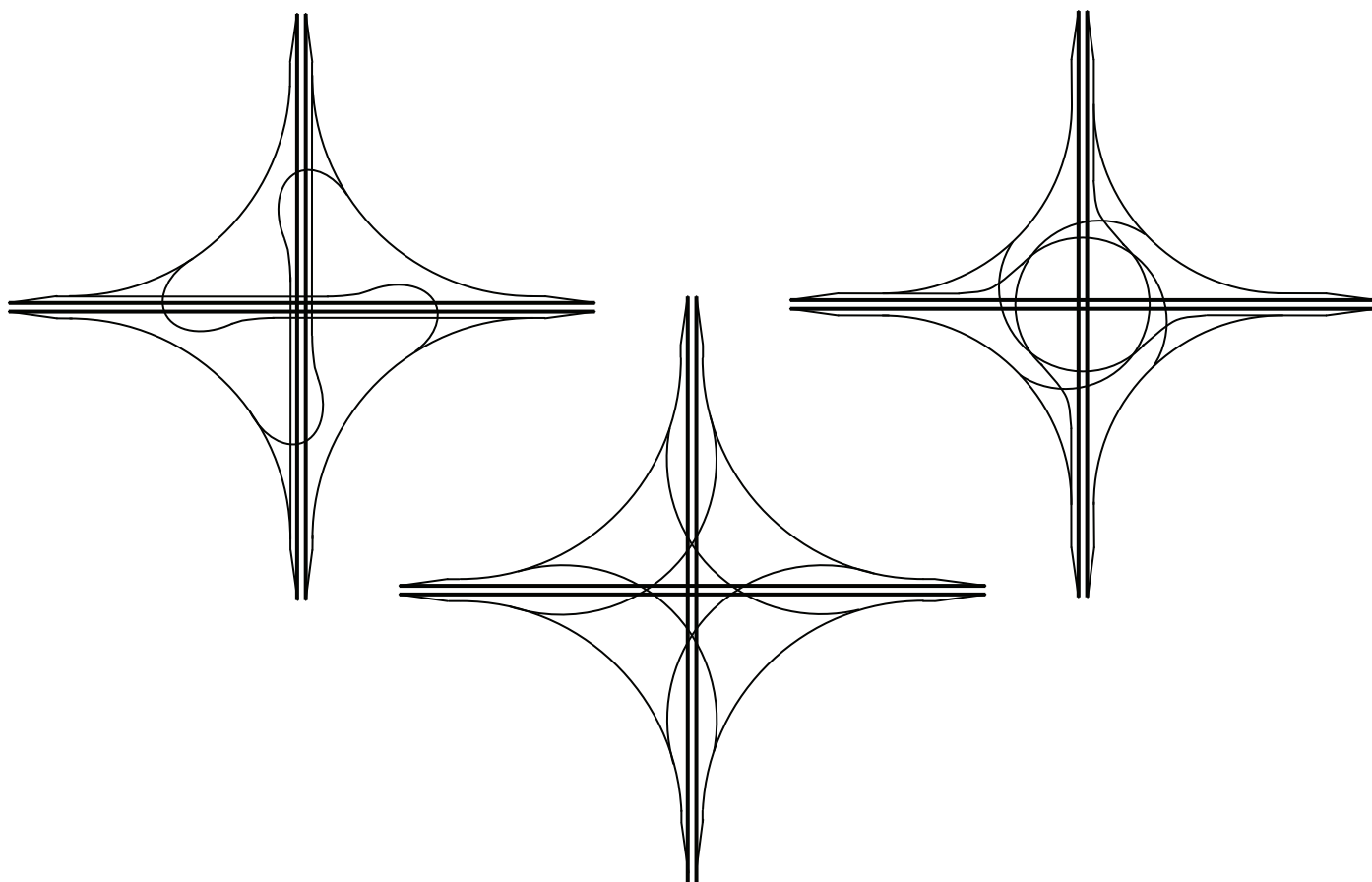
Afbeelding 3.12. Klverturbine (links), klaverster (midden) en klavermolen (rechts).

De hierboven getoonde klverturbine is gebaseerd op de eerder besproken turbinevormen. Door de andere ligging van de twee semi-directe verbindingswegen, blijven er in dit geval echter helemaal geen weefvakken meer over. Dit betekent ook voor de ondergeschikte rijrichtingen een capaciteits-stijging. Opvallend is dat bij de principeschets in het ROA van dit type knooppunt de hoofdstroom van noord naar oost rechts invoegt op de verbindingsweg van zuid naar oost. Volgens Wenting (2009) geniet omgekeerd de voorkeur, omdat dat meer aansluit bij de gebruikelijke wijze van invoegen en daarmee logischer is in de beleving van de weggebruiker. Volgens Barendrecht (2012) heeft dit ook zijn weerslag in de capaciteit: bij invoegen vanaf rechts is er in de meeste gevallen een betere verkeersafwikkeling.

De beide andere typen wijken op enkele punten af. De klavermolen heeft kleinere boogstralen in de verbindingswegen en daardoor een circa 20% lagere capaciteit dan de turbine. De derde principe-oplossing, de klaverster, geeft voor de linksafbewegingen van de hoofdstromen een zeer directe verbinding met vloeiend verloop. Kleinere stromen voegen in alle gevallen rechts in op de hoofdstromen. Voor alle drie de vormen geldt, dat de gevolgen voor de normaliter ondergeschikte richtingen beperkt blijven tot het vervallen van de weefvakken.

3.4.5 Overige knooppunttypen

Verdere optimalisatie van de verkeersafwikkeling van afbuigende richtingen vindt plaats bij de varianten voor drie of vier belangrijke afbuigende relaties. De configuraties voor die laatste categorie zijn te zien in afbeelding 3.13.



Afbeelding 3.13. Windmolen (links), ster (midden) en turbine (rechts).

Deze knooppuntvormen kennen geen indirecte verbindingswegen meer. Verkeer dat linksaf wil, rijdt ook direct naar links en niet eerst naar rechts. Daarmee zijn deze knooppuntvormen in de beleving van de weggebruiker logisch (Wenting, 2009). Ten aanzien van de capaciteit zijn de knelpunten voor afbuigend verkeer grotendeels weggenomen, zeker in de turbine- en stervorm. Weefvakken en verbindingswegen met een lage ontwerpsnelheid komen niet meer voor, zodat alleen de in- en uitvoegpunten nog potentiële knelpunten kunnen vormen.

3.5 Conclusie

Dit hoofdstuk heeft inzicht gegeven in de knooppuntelementen en de mate waarin deze een capaciteitsknelpunt kunnen vormen. Onderstaande tabel toont de landelijk aangehouden capaciteiten.

Knooppuntelementen en hun capaciteiten			
Element	Variant	Capaciteit (pae/u)	Opmerking
Wegvak	1 strook < 1.500 meter	2.415	
	1 strook > 1.500 meter	2.185	
	2 stroken	4.830	
	3 stroken	7.245	
	4 stroken	9.430	
Verbindingsweg/ rangeerbaan	1 strook < 1.500 meter	2.415	
	1 strook > 1.500 meter	2.185	
	1 strook 50 km/u	1.930	
	2 stroken	4.830	
In-/samenvoeging	Capaciteit is gelijk aan het aantal overblijvende rijstroken		
Uitvoeging	1 strook	1.500	Waarde Oost-Nederland
	2 stroken (taper)	2.500	Waarde Oost-Nederland
	2 stroken (regulier)	3.000	Waarde Oost-Nederland
Splitsing	De capaciteit van de wegvakken na de splitsing is maatgevend		
Weefvak	1+1, 200m, 100% weven	2.000	

Een belangrijke conclusie is dat de weefvakken vaak als maatgevend element gelden en daarom aangepakt zouden moeten worden. Ook de andere onderdelen in het knooppunt vormen echter capaciteitsknelpunten en worden maatgevend in een situatie waarbij er geen weefvakken zijn, zoals bij drie- en sommige vierarmige knooppunten en in rijrichtingen die geen weefvak passeren. Daarnaast geldt, zoals eerder benoemd, dat knooppunten veelal maatwerk zijn en dus kunnen afwijken van de basisvormen. Om omleidingsverkeer in knooppunten beter te kunnen verwerken, moet dus verder worden gekeken dan de weefvakken. Daarom zullen voor alle in dit hoofdstuk besproken elementen de mogelijke maatregelen worden geïnventariseerd. Het volgende hoofdstuk gaat hier nader op in.

4 Inventarisatie maatregelen



In hoofdstuk 3 is duidelijk geworden welke elementen een rol spelen bij de capaciteit. De volgende stap is het inventariseren van mogelijke maatregelen om de problemen te bestrijden. Dit hoofdstuk geeft per knooppuntelement een overzicht van die ingrepen. Een nadere uitwerking van de effecten van de maatregelen en een beoordeling volgen in hoofdstuk 5.

Foto: viaduct Schelmseweg over de A12

4.1 Introductie maatregelen

Maatregelen bestaan in allerlei vormen. Zo zijn er ingrepen mogelijk in het knooppunt zelf, gericht op een bepaald aspect zoals capaciteit, veiligheid of milieu. Daarnaast zijn er maatregelen buiten een knooppunt mogelijk om mensen te bewegen een andere route of een ander vervoermiddel te kiezen. Verder valt er nog onderscheid te maken tussen statische en dynamische maatregelen. Statische maatregelen zijn van blijvende aard, dynamische maatregelen zijn ingrepen die naar behoefte ingezet kunnen worden, zoals het gebruiken van de vluchtstrook als spitsstrook gedurende drukke perioden.

De inventarisatie in dit hoofdstuk is vooral gericht op statische en dynamische maatregelen die de capaciteit kunnen verhogen: de aanleiding voor deze studie ligt immers in doorstromingsproblemen. Daarnaast zijn maatregelen die verkeer kunnen herrouteren van belang, omdat ook dat de doorstroming kan verbeteren. Andere maatregelen, die geen invloed uitoefenen op capaciteit, zijn niet relevant en blijven daarom buiten beschouwing. Hetzelfde geldt voor maatregelen die mensen moeten verleiden een ander vervoermiddel te nemen: calamiteiten treden spontaan op en geven mensen in de meeste gevallen niet meer de mogelijkheid een andere vervoerwijze te kiezen.

De paragrafen 4.2 tot en met 4.5 bevatten mogelijke maatregelen per element. Paragraaf 4.6 gaat in op buffering en paragraaf 4.7 op de maatregelen buiten het knooppunt. Daarna volgt paragraaf 4.8 over de wijze van invoering van maatregelen. Paragraaf 4.9 sluit het hoofdstuk af met een concluderend maatregelenoverzicht.

4.2 Verbindingsweg, rangeerbaan, hoofdrijbaan

In hoofdstuk 3 is inzichtelijk gemaakt dat er drie mogelijke oorzaken zijn voor een doorstromingsknelpunt op verbindingswegen, rangeerbanen of hoofdrijbanen:

- het aantal rijstroken;
- de lengte van een weg met één rijstrook;
- de lage ontwerpsnelheid van de indirecte verbindingsweg.

Het laatste punt is alleen te wijzigen door de boogstraal te verruimen en dat zou een grootschalige ombouw betekenen. Binnen dit onderzoek behoort dat niet tot de mogelijkheden, zodat wegnemen van dit knelpunt niet mogelijk is.

Als het capaciteitsgebrek ontstaat door te weinig rijstroken of een te lange weg met één strook, is ingrijpen wel mogelijk. Het openstellen van de vluchtstrook kan dan een extra rijstrook opleveren, zie afbeelding 4.1.



Afbeelding 4.1. Openstellen vluchtstrook.

Idealiter gebeurt de openstelling in een hele rijrichting om meer capaciteit te bieden. Alternatief is de maatregel ook over korte afstand denkbaar, alleen om het inhalen van langzame voertuigen mogelijk te maken. De capaciteitswinst is hierbij echter kleiner: alleen de capaciteitsbeperking van circa 20% die een lange weg met één strook oplevert, kan daardoor worden weggenomen.

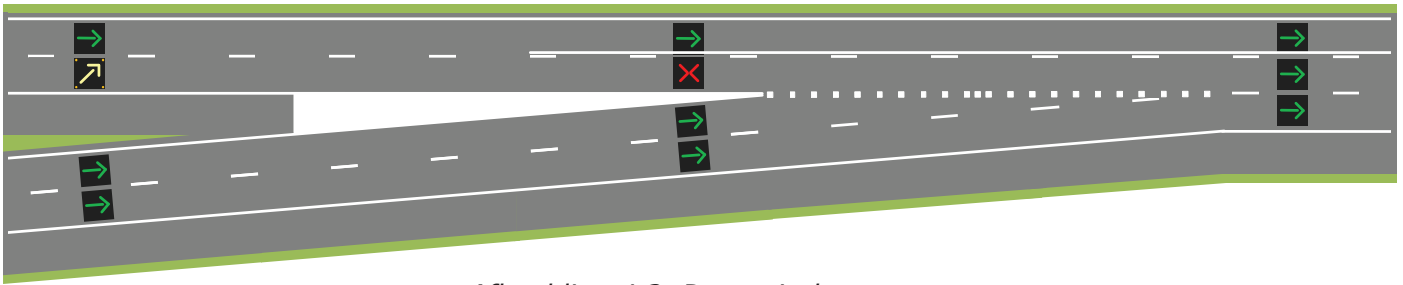
Een ondersteunende maatregel om de capaciteit beter te benutten, is het instellen van een snelheidsbeperking op de snelheid van 80-90 km/u waarbij de maximale capaciteit wordt bereikt. Dit neemt snelheidsverschillen weg, wat de verkeersafwikkeling bevordert. Er ontstaat minder snel file en er kan daardoor theoretisch langer een hogere capaciteit behaald worden. De afrijcapaciteit (capaciteit van de weg in filesituatie) is namelijk altijd lager dan de capaciteit bij rijdend verkeer (Barendrecht, 2012). Dit homogeniseren is ook op andere manieren mogelijk, zoals door blokrijden. Bij deze maatregel houdt een spitsteam de verkeersstroom op door relatief langzaam voor het verkeer uit te rijden.

4.3 In- en samenvoeging

Bij een in- of samenvoeging zijn er twee mogelijke knelpuntlocaties, zo bleek in hoofdstuk 3:

- het moeten afstropen van een rijstrook van de verbindingsweg omdat de invoeger maar één strook mag hebben (alleen van toepassing bij een invoeging);
- het punt van in-/samenvoegen inclusief het wegvak stroomafwaarts.

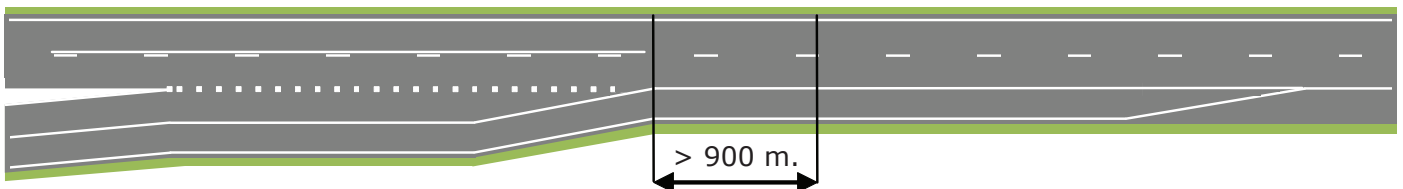
De enig denkbare maatregel voor het eerste knelpunt is het bieden van een tweede invoegstrook. Met twee stroken tegelijk invoegen is echter uit oogpunt van veiligheid niet gewenst, zo werd al eerder gesteld. Meer capaciteit bieden is op drie andere manieren echter wel denkbaar. De eerste is een dynamische taper, zie afbeelding 4.2. De aangegeven signalering dient alleen ter visualisatie van de geopende of afgesloten rijstroken en maakt geen onderdeel uit van de maatregel.



Afbeelding 4.2. Dynamische taper.

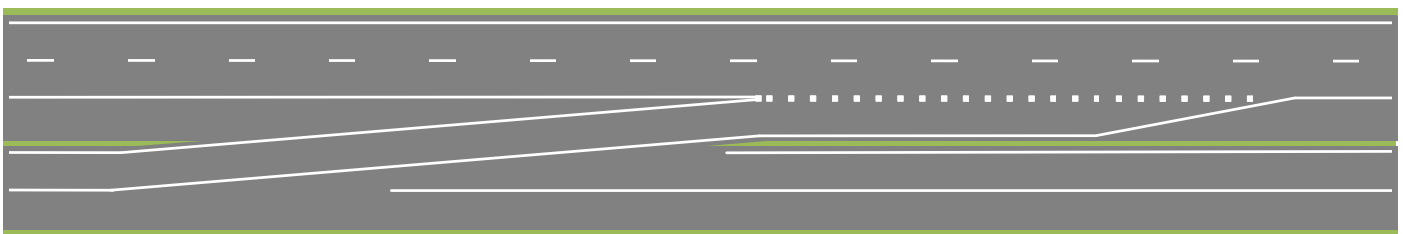
In de reguliere situatie is de hoofdrijbaan normaal geopend en de linker strook van de toeleidende weg afgesloten. Als op de toeleidende weg file ontstaat, gaat deze strook wel open ten koste van de rechter rijstrook op de hoofdrijbaan. Dit levert de situatie op zoals hierboven weergegeven. Op deze manier is de taper nooit als zodanig in gebruik, maar is er wel de ruimte het knooppunt dynamisch in te zetten.

De tweede optie, waarbij dit afkruisen niet nodig is, betreft het toepassen van een dubbele invoeger. Rechts van de reguliere invoegstrook wordt de vluchtstrook ingezet voor het bieden van de extra capaciteit. In verband met turbulentie, loopt deze strook voor het invoegen minimaal 900 meter door langs de hoofdrijbaan (Rijkswaterstaat, 2007a). Afbeelding 4.3 toont deze situatie.



Afbeelding 4.3. Dubbele invoegstrook.

De derde en laatste mogelijkheid die zorgt voor een lagere intensiteit op het gemeenschappelijke gedeelte van de verbindingsweg, is het maken van een doorsteek. Paragraaf 3.4 liet zien dat er op meerdere knooppunttypen rangeerbanen zijn, waar twee verkeersstromen gebruik van maken. Een doorsteek kan dit gemeenschappelijke gebruik wegnemen, zie afbeelding 4.4.



Afbeelding 4.4. Doorsteek.

De doorsteek heft het gemeenschappelijke stuk rangeerbaan op. Er ontstaan feitelijk twee rangeerbanen, die achter elkaar in- of uitvoegen op/van de hoofdrijbaan.

Als het knelpunt ligt in het gedeelte op en na het convergentiepunt, is het lastiger een oplossing te bieden. De capaciteit van het wegvak buiten het knooppunt is dan veelal maatgevend, zo bleek uit de analyse in hoofdstuk 3. Zonder wegverbreding of vluchtstrookgebruik buiten het knooppunt, zijn er dan twee categorieën maatregelen denkbaar om dit probleem aan te pakken:

- maatregelen gericht op het soepeler laten verlopen van het invoegproces, om zo de schokgolven te verminderen;
- maatregelen die het verkeer vanaf de toerit prioriteren ten koste van het doorgaande verkeer of andersom.

Een eerste maatregel die kan bijdragen aan een vloeiender invoegproces is een invoeghulp, zoals het systeem "Ritsen met elektronische gidsen". Daarbij bewegen lichtstrips met tussenafstanden mee met het verkeer op de hoofdrijbaan. Langs de weg staat "Geef elkaar de ruimte – Volg lichtspoor". Een weergave van deze maatregel is te zien in afbeelding 4.5.



Afbeelding 4.5. Ritsen met elektronische gidsen (bron: promotiefolder project).

Daarnaast is het verlengen van de invoegstrook een optie. Verkeersdeelnemers krijgen meer tijd om op snelheid te komen, een ruimte te zoeken en in te voegen. Ook kan de capaciteit ter hoogte van het convergentiepunt worden verhoogd door het invoeren van een verbod op rijstrookwisseling van links naar rechts, zoals onder andere aangegeven in afbeelding 4.7 op de volgende pagina. Er ontstaat hierdoor op de rechter rijstrook van de hoofdrijbaan meer ruimte voor het invoegende verkeer.

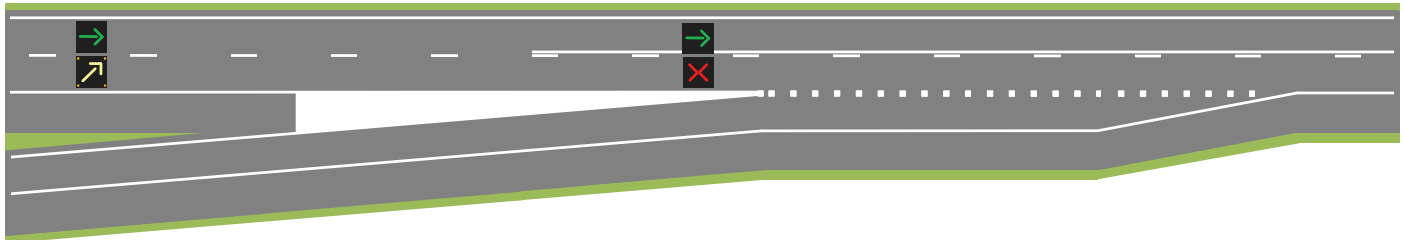
Een derde optie is het plaatsen van een toeritdoseerinstallatie voor de invoegstrook. Deze laat het invoegende verkeer in drukke perioden druppelsgewijs toe om de doorstroming op de hoofdrijbaan minder te belemmeren. Zie afbeelding 4.6.



Afbeelding 4.6. Toeritdoseerinstallatie.

Een laatste maatregel die kan bijdragen aan het beperken van de schokgolven is het instellen van de al besproken snelheidsbeperking. Door de kleinere volgfstanden, schuift de verkeersstroom in elkaar. Zodra de beperking na het knooppunt vervalt, kan verkeer vooraan in de stroom vrijuit weggrijden, zodat de harmonica in theorie weer uit elkaar zou worden getrokken en er geen congestievorming meer optreedt na het punt van samenvoegen.

Prioriteren van het toeritverkeer kan worden gedaan door een dynamische taper of het instellen van een dynamische samenvoeging. Deze maatregel is vergelijkbaar met de al besproken dynamische taper, alleen krijgt de invoeger geen tweede rijstrook. De capaciteit van de invoegstrook zelf neemt hierdoor niet toe, maar de capaciteit voor de doorgaande stroom neemt af. Het invoegende verkeer krijgt zo meer ruimte, ten koste van het doorgaande verkeer. Zie afbeelding 4.7.

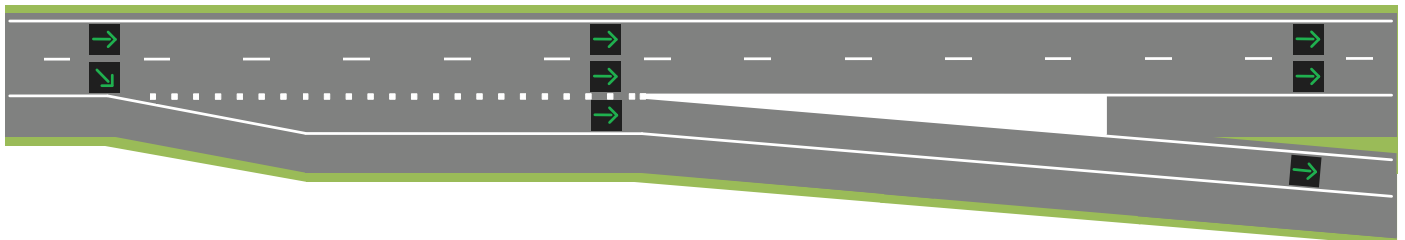


Afbeelding 4.7. Dynamische samenvoeging met verbod op rijstrookwisseling.

4.4 Uitvoeging/splitsing

In hoofdstuk 3 kwam naar voren dat een splitsing in beginsel geen capaciteitsbeperking tot gevolg heeft, mits de rijrichtingen tijdig staan aangegeven op de bewegwijzering. Een uitvoeger heeft een lagere capaciteit dan een rijstrook en kan zo wel een knelpunt vormen. Daarnaast kan een slechte benutting van de geboden uitvoegcapaciteit leiden tot onnodige congestie op de rechter rijstrook.

Het eerstgenoemde knelpunt is op verschillende manieren aan te pakken. Allereerst kan een uitvoeging worden gewijzigd in een dynamische splitsing. Doorgaand verkeer rijdt dan alleen over de linker strook, de rechter rijstrook is voorbehouden voor het afslaande verkeer. Zie afbeelding 4.8.



Afbeelding 4.8. Dynamische splitsing.

De uitvoeging kan op deze wijze toch de hogere capaciteit bereiken die voor een splitsing geldt, zij het dat dit ten koste gaat van het doorgaande verkeer. Bij een te groot aandeel doorgaand verkeer, kan dit alsnog leiden tot congestie, omdat de capaciteit van de doorgaande stroom daalt. Daar ondervindt dan ook het afslaande verkeer hinder door.

Daarnaast kan fysiek meer capaciteit geboden worden door een van de volgende maatregelen:

- creëren van een dubbele uitvoeging door het dynamisch openstellen van de vluchtstrook ter hoogte van de uitvoeging/splitsing;
- toepassen van een taperuitvoeging;
- verlagen van de intensiteit op de uitvoegstrook door het maken van een doorsteek.

Deze maatregelen zijn te vergelijken met de bij de in-/samenvoeging genoemde opties en worden hier daarom niet nogmaals apart behandeld.

Het tweede knelpunt, een slechte benutting, heeft niet te maken met de fysieke capaciteit, maar met het verkeersgedrag. Verkeersdeelnemers informeren over de te volgen route en de daarvoor beschikbare rijstroken is daarom de passende maatregel. Zeker bij omleidingen is dat belangrijk, omdat weggebruikers een ongebruikelijke en voor hen mogelijk onbekende route moeten volgen. Zij zijn dan niet op de hoogte van de aanwezige infrastructuur en zullen dus geneigd zijn snel voor te sorteren en de uitvoegstrook te gebruiken. Vooral bij een rijstrook die niet direct zichtbaar is, zoals de taper, zal dit leiden tot een slechte benutting. Onderzoek van Boekholt (1996) naar taperuitvoegingen wees uit dat slechts 29% van de weggebruikers zich bewust oriënteert op de aanwezigheid van een taper. Destijds stonden tapers niet aangegeven op de bewegwijzering, bij de nieuwe NBA-borden (Nieuwe Bewegwijzering Autosnelwegen, zie afbeelding 4.9) is dat wel het geval. In hoeverre mensen zich hiervan bewust zijn en dit ook tot een duidelijk betere benutting van de taperuitvoeging leidt, is niet bekend. Wel heeft onderzoek van Tebodin (2011) uitgewezen dat de NBA-bewegwijzering in het algemeen leidt tot een 3-7% hogere capaciteit.



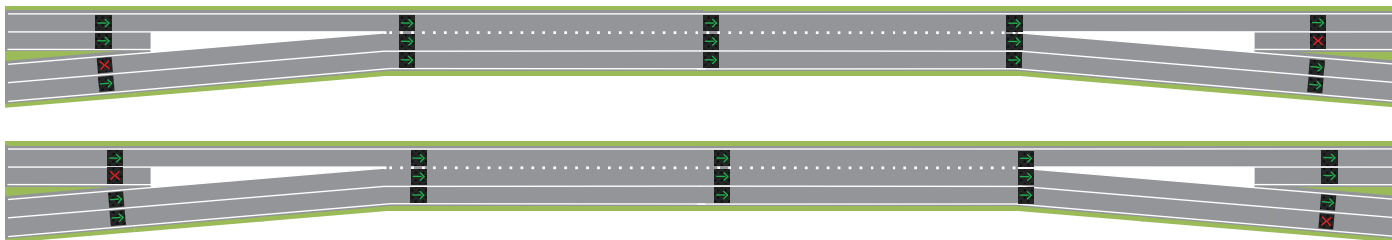
Afbeelding 4.9. NBA-bewegwijzering.

Bij het uitbreiden van de capaciteit van de uitvoeging om knelpunt 1 aan te pakken, dient wel bedacht te worden dat dit kan leiden tot extra voorsorteergedrag stroomopwaarts. Het kan in zulke gevallen noodzakelijk zijn over een grotere lengte voor het knooppunt de vluchtstrook open te stellen om zo het knelpunt als gevolg van voorsorteren te beperken. Een logisch punt om de strook open te stellen lijkt de locatie waar mensen zich gaan voorbereiden op de te volgen route in het knooppunt. Het eerste aankondigingsbord staat op 1.200 meter voor het knooppunt, de voorwegwijzer met bestemmingen erop staat op 600 meter. Het openen van de vluchtstrook is wenselijk tussen deze beide borden in: dit geeft tijdig de extra capaciteit, terwijl er niet teveel informatie tegelijk op de weggebruiker afkomt.

4.5 Weefvak

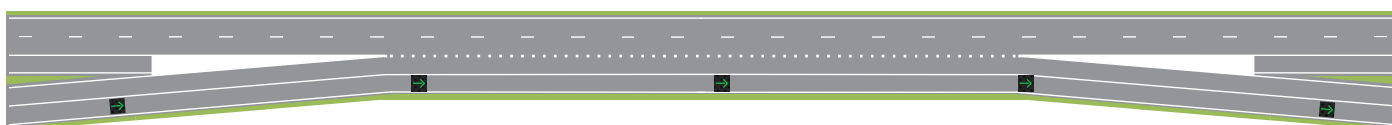
Uit de analyse in hoofdstuk 3 kwam naar voren, dat de capaciteit van een weefvak lager is dan die van een wegvak met hetzelfde aantal stroken vanwege het weefproces. Invloedsfactoren op deze capaciteit zijn snelheid, snelheidsverschillen, omvang en samenstelling van de verkeersstroom. Ingrijpen op het eerste en tweede punt is bij weefvakken aan de rand van een knooppunt mogelijk door het instellen van een snelheidsbeperking op 80 tot 90 km/u: dit heeft het bij andere knooppuntelementen al besproken homogeniserende effect. Op weefvakken in een knooppunt is dit zinloos, omdat die een ontwerpsnelheid van 50 km/u hebben.

Een andere denkbare maatregel is capaciteitsuitbreiding. Bij het omleiden van verkeer door een weefvak, zal de ene stroom in het weefvak beduidend groter zijn dan de andere. Het is dan wenselijk het weefvak zo in te richten, dat voor de hoofdstroom twee stroken beschikbaar zijn. In de meest complexe situatie, kan het voor beide richtingen noodzakelijk zijn meer capaciteit te bieden. Dit leidt tot de op de volgende pagina weergegeven situatie, waarbij voor beide richtingen vluchtstrookgebruik mogelijk is.



Afbeelding 4.10. Dynamisch strookgebruik weefvak.

Een variant op het bovenstaande is denkbaar voor weefvakken net buiten het knooppunt, een situatie die voorkomt als een knooppunt verweven is met een aansluiting. Bij onvoldoende capaciteit in het weefvak, kan het dan zinvol zijn om de vluchtstrook open te stellen voor het verkeer van linksonder naar rechtsonder in de afbeelding. Dit neemt een deel van het verkeer weg van het eigenlijke weefvak. Voor weefvakken in een knooppunt is dit niet interessant, omdat er (vrijwel) geen verkeer is dat van de ene naar de andere indirecte verbindingsweg rijdt: verkeer zou dan teruggaan in de richting waar het net vandaan komt.



Afbeelding 4.11. Vluchtstrookgebruik weefvak aan rand knooppunt.

Een andere mogelijkheid is het ingrijpen op de omvang van de verkeersstroom door het beperken van de instroom van de ondergeschikte rijrichting. Hiertoe kan een toeritdoseerinstallatie (TDI) geplaatst worden op de indirecte verbindingsweg of de rangeerbaan, afhankelijk van de te beperken instroomrichting. Een verdergaande maatregel is het tijdelijk afsluiten van een van de indirecte verbindingswegen. Hiermee verdwijnt de weeffunctie volledig en vormt het weefvak geen belemmering meer voor de doorstroming van de afbuigende stroom. Om deze maatregel effectief te laten zijn, is het in sommige knooppunttypen zoals het klaverblad noodzakelijk meerdere verbindingswegen tegelijk af te sluiten. Niet-omgeleide stromen ondervinden zo hinder van de ingestelde omleiding, want zij moeten omrijden via een andere route, bijvoorbeeld via een nabijgelegen aansluiting. De maatregel heeft dan verstrekende gevolgen.

4.6 Bufferen

Een maatregel die niet specifiek op een bepaald element is gericht, betreft het creëren van bufferruimte. Dit biedt meer opstelruimte voor verkeer in ondergeschikte rijrichtingen, waarvoor te weinig capaciteit is. Doel van dit type maatregel is het verminderen van de filelengte, zodat de doorstroming op andere rijrichtingen dan degene met het capaciteitsgebrek zoveel mogelijk kan worden behouden. In het algemeen heeft deze maatregel alleen effect op ondergeschikte stromen. Voor de omleidingsstroom biedt het geen extra capaciteit en draagt het ook niet bij aan een betere doorstroming. Om die redenen zijn buffermaatregelen in deze rapportage niet verder uitgewerkt.

4.7 Maatregelen buiten knooppunt

In de vorige paragrafen zijn diverse maatregelen genoemd die de doorstroming op een knooppunt moeten verbeteren. Het is echter ook mogelijk maatregelen te treffen die de hoeveelheid verkeer in een knooppunt doen afnemen. Bij omleidingen zijn de mogelijkheden hiervoor wel beperkt, omdat een calamiteit spontaan optreedt. Vervoersmanagement-achtige zaken die mensen moeten overhalen een andere vervoerwijze te nemen zijn daarom niet mogelijk. Het bieden van informatie aan de omleidingsstroom kan wel nuttig zijn om iedereen tijdig de juiste keuzes te laten maken. Naast informatie op panelen langs of boven de weg, kan daarbij ook worden gedacht aan het bieden van informatie in navigatiesystemen.

Daarnaast is het ook mogelijk meer verkeer te herrouteren om het verkeer uit het aanvankelijke omleidingsscenario beter af te kunnen wikkelen. Verkeer dat in een reguliere situatie over het knooppunt rijdt, zou zo via een andere route gestuurd kunnen worden.

4.8 Uitvoering maatregelen

Een deel van de hiervoor besproken maatregelen bestaat uit ander strookgebruik, een snelheidsbeperking of herrotering van verkeer. Dergelijke aanpassingen moeten aan de weggebruiker duidelijk worden gemaakt. Er zijn verschillende mogelijkheden dit te doen. Omdat dit van belang is voor de beoordeling in het volgende hoofdstuk, volgt hieronder alvast een introductie van deze mogelijkheden.

4.8.1 Signalering

De eerste mogelijkheid bestaat uit verkeerssignalering. Aan portalen boven de snelweg zijn matrix-sig-naalgevers aangebracht, die een snelheidsbeperking of afwijkend strookgebruik kunnen aangeven. Deze maatregel, te zien in afbeelding 4.12, is structureel boven de weg aanwezig.

4.8.2 Actiekar

Een variant op verkeerssignalering is de actiekar. Dit is een verplaatsbare aanhanger, die naar behoefte op of langs de weg kan worden geplaatst om bijvoorbeeld een afsluiting van een strook of een snelheidsbeperking aan te geven. Ook deze optie is in afbeelding 4.12 te zien.



Afbeelding 4.12. Verkeerssignalering (links) en actiekar (rechts).

4.8.3 DRIP

Een DRIP (Dynamisch Route Informatie Paneel) is een informatiebord, dat structureel boven de weg is aangebracht. Het kan informatie geven over files, maar ook over herrotering of andere zaken. Zie afbeelding 4.13.

4.8.4 Tekstkar

Het laatste hier besproken instrument is de tekstkar, getoond in afbeelding 4.13. Deze is, net als een actiekar, verplaatsbaar en biedt de mogelijkheid een boodschap te tonen aan het passerende verkeer.



Afbeelding 4.13. DRIP (links) en tekstkar (rechts).

4.9 Conclusie

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de maatregelen die in dit hoofdstuk zijn voorgesteld.

Denkbare maatregelen om omleidingsverkeer in knooppunten beter te kunnen verwerken		
Element	Knelpunt	Maatregel
Verbindingsweg/ rangeerbaan/ hoofdrijbaan	Aantal rijstroken	Extra rijstrook
	Ontwerpsnelheid 50 km/u	Geen
	Slechte benutting	Snelheidsbeperking
Invoeging/samenvoeging	Beperking tot 1 strook (invoeger)	Dubbele invoeging
		Dynamische taperinvoeging
		Doorsteek
	Convergentiepunt	Ritsen met elektronische gidsen
		Langere invoegstrook
		Verbod rijstrookwisseling
		Toeritdoseerinstallatie
		Snelheidsbeperking
		Dynamische samenvoeging
Uitvoeging/splitsing	Capaciteitsgebrek uitvoeger	Dynamische splitsing
		Dubbele uitvoeging
		Taperuitvoeging
		Doorsteek
	Slechte benutting	Informereren
		Gebruik vluchtstrook 1.000 m voor knooppunt
Weefvak	Wevend verkeer	Dynamische strookindeling
		Vluchtstrookgebruik weefvak
		Snelheidsbeperking
		Toeritdoseerinstallatie
		Afsluiting
Buiten knooppunt	-	Informereren omleidingsstroom
		Herrouteren verkeer

Daarnaast zijn de verschillende mogelijkheden geïntroduceerd voor implementatie van maatregelen die informatievoorziening aan de weggebruiker noodzakelijk maken: signalering, actiekar, DRIP en tekstkar. De volgende stap is het beoordelen van de verschillende maatregelen op hun effectiviteit en op andere gevolgen. Het volgende hoofdstuk bevat deze beoordeling.

5 Beoordeling maatregelen



Dit hoofdstuk bevat de beoordeling van de geïnventariseerde maatregelen om kansrijke ingrepen te selecteren. Het resultaat is een lijst van bruikbare maatregelen per element.

Foto: A12 ter hoogte van viaduct Schelmseweg Arnhem

De eerste paragraaf in dit hoofdstuk bevat informatie ten aanzien van de gebruikte beoordelingscriteria en -methode. In de paragrafen daarna volgt een beoordeling van de geïnventariseerde maatregelen per element. Paragraaf 5.2 bevat de beoordeling van maatregelen voor de verbindingsweg, rangeerbaan en hoofdrijbaan, paragraaf 5.3 voor ingrepen voor de in- en samenvoeging, paragraaf 5.4 voor die voor een uitvoeging of splitsing en paragraaf 5.5 voor maatregelen die ingrijpen op een weefvak. In paragraaf 5.6 komen maatregelen buiten het knooppunt aan de orde. Het resultaat van de beoordeling is een lijst met kansrijke maatregelen in paragraaf 5.7.

5.1 Beoordelingsmethode

Gezien de aanleiding van deze studie, zijn capaciteitseffecten en kosten belangrijke criteria voor de beoordeling: het is de bedoeling kosteneffectieve maatregelen te treffen. Er zijn echter meer factoren die een rol spelen en die ook in eerdere studies zoals de *Maatregelencatalogus* (Rijkswaterstaat, 2005b) als beoordelingsaspecten zijn meegenomen. Dit leidde tot de volgende lijst van beoordelingscriteria:

- effect op de capaciteit;
- praktische toepasbaarheid;
- investeringskosten;
- verkeersveiligheid;
- beleving van de weggebruiker;
- gevolgen voor het ruimtegebruik.

Onderhoud van een weg gebeurt veelal in grootschalige onderhoudscontracten en is per maatregel daarom lastig vast te stellen. Onderhoudskosten zijn daarom buiten beschouwing gelaten. Ook financiële baten zijn niet als criterium opgenomen, omdat die in algemene zin niet te bepalen zijn. De binnen Rijkswaterstaat gebruikelijke maatstaf daarvoor, de winst in voertuigverliesuren ten opzichte van de oude situatie, is alleen situatiespecifiek vast te stellen. Daarnaast gebeurt dat voor een netwerk en niet voor een los knooppunt. Om toch een indicatie te hebben van de (maatschappelijke) kosten die een grootschalige stremming oplevert, is in de applicatie Mapviewer gekeken naar de hoeveelheid extra voertuigverliesuren waar het voorbeeld uit de inleiding toe leidde. Dit blijken er alleen op de A12 en A50 al circa 5000 te zijn, wat een kostenpost van € 100.000 betekent.

De capaciteitseffecten zijn kwantitatief beoordeeld op basis van bestaande onderzoeken. Ook de kosten zijn gekwantificeerd, tenzij anders aangegeven op basis van richtprijzen die binnen Rijkswaterstaat worden gehanteerd en via de heer Jansen zijn verkregen. Overige indicatoren zijn niet kwantificeerbaar of er zijn onvoldoende kwantitatieve effecten bekend om alle maatregelen op die manier te kunnen beoordelen. Daarom is ervoor gekozen de overige criteria kwalitatief te beoordelen met ++/+/0/-/--, waarbij ++ staat voor een zeer positieve beoordeling en -- voor een zeer negatieve beoordeling. De beoordeling van deze criteria is toegekend op basis van de beschikbare informatie en vervolgens ter controle besproken met de heren Traag en Vermijs. Veiligheid, beleving en ruimtegebruik zijn daarbij beoordeeld ten opzichte van de huidige situatie. Voor het criterium praktische toepasbaarheid is dat niet mogelijk en zijn de maatregelen beoordeeld in verhouding tot elkaar.

Per element zijn op basis van deze criteria de zinvolle maatregelen geselecteerd. Daarbij vormden praktische toepasbaarheid, veiligheid en beleving van de weggebruiker randvoorwaarden. Maatregelen die daar negatief op scoorden, vielen direct af. Vervolgens is een keuze gemaakt op basis van de verhouding tussen kosten en capaciteitseffect, waarbij maatregelen met weinig gevolgen voor het ruimtegebruik de voorkeur hadden. Een echte multicriteria-analyse is niet uitgevoerd, omdat die een keuze maakt tussen varianten, terwijl maatregelen op een element elkaar vaak niet uitsluiten en er dus meerdere maatregelen per element geselecteerd (kunnen) worden.

5.2 Verbindingsweg, rangeerbaan, hoofdrijbaan

Deze paragraaf behandelt de maatregelen voor verbindingswegen, rangeerbanen en hoofdrijbanen. Het gaat om het bieden van een extra rijstrook en de snelheidsbeperking.

5.2.1 Extra strook

Bieden van een extra strook kan in de vorm van een volwaardige extra strook of door het openen van de vluchtstrook. Het eerstgenoemde kost meer dan € 400.000 per kilometer en is daarmee zeer kostbaar. Daarnaast is het verplicht diverse procedures te doorlopen, die de kosten verder doen oplopen. De beoordeling gaat daarom uit van vluchtstrookgebruik, zie afbeelding 5.1.



Afbeelding 5.1. Vluchtstrookgebruik.

Capaciteit

Het capaciteitseffect is afhankelijk van de vluchtstrookbreedte: een smallere strook heeft minder capaciteit dan een strook met reguliere breedte. Rijkswaterstaat (2011) stelt dat voor een strook smaller dan 2,80 meter een 20% lagere capaciteit geldt. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de te verwachten capaciteiten in pae's per uur.

Verwachte capaciteiten op verbindingsweg/rangeerbaan/hoofdrijbaan (pae/uur)					
Variant	1 strook	2 stroken regulier	2 stroken waarvan 1 versmald	3 stroken regulier	3 stroken waarvan 1 versmald
< 1.500 m	2.415	4.830	4.345	7.245	6.760
> 1.500 m	2.185	4.830	4.345	7.245	6.760
50 km/u	1.930	3.860	3.470	n.v.t.	n.v.t.

De tabel laat voor een uitbreiding van 1 naar 2 stroken een capaciteitstoename van 80-120% zien. Toevoegen van een derde strook op een locatie waar er voorheen twee waren levert 40 tot 50% meer capaciteit op. In de nieuwe situatie ontbreekt de vluchtstrook wel; op basis van metingen stelt Rijkswaterstaat (2011) echter dat de invloed hiervan op de capaciteit gering is.

Praktische toepasbaarheid

De weg moet een vluchtstrook hebben, uit oogpunt van veiligheid met kantmarkering (Rijkswaterstaat, 2003). Verder geldt verkeerssignalering als voorwaarde. Omdat die slechts incidenteel aanwezig is boven vluchtstroken, zou dat vrijwel overal investeringen betekenen van € 36.000/km voor extra matrixsignaalgevers tot € 186.000/km voor geheel nieuwe plaatsing. Er is hier echter sprake van zeer incidenteel gebruik van de vluchtstrook: calamiteiten komen immers niet dagelijks voor. De kosten van signalering zijn in verhouding met andere maatregelen dan zeer hoog. Bovendien gaat de plaatsing in tegen het nieuwe beleid dynamische maatregelen te versoberen (besluit RWS bestuur dd. 24 februari 2012). Daarom wordt voorgesteld geen signalering te plaatsen en het openen van de vluchtstrook inclusief snelheidsbeperking aan te geven met tekstkarren. Met deze methode zijn eerder succesvolle proeven gedaan op de A50 (Vermijs, 2002). Door deze keuze, blijft alleen de aanwezigheid van een vluchtstrook over als voorwaarde. De toepasbaarheid van de maatregel is daarmee zeer positief: ++.

Kosten

Onderstaande tabel geeft inzicht in de kosten van vluchtstrookgebruik.

Kosten voor vluchtstrookgebruik				
Kostenpost	Eenheid	Kosten per eenheid	Eenheden per km	Kosten per km
Verharding	m ²	€ 100	0*	€ 0
Inzet tekstkar	12 uur	€ 1.320	1	€ 1.320
Markering (kantlijn)	km	€ 8.400	1	€ 8.400
Totale kosten per kilometer				€ 9.720

*Bij een standaard vluchtstrook van 3,15 m (Rijkswaterstaat, 2007a), is extra verharding niet nodig.

Verkeersveiligheid

Het ontbreken van de vluchtstrook beperkt de ruimte voor stuurcorrecties, uitwijken en passeren van een defect voertuig. Dit maakt een weg zonder vluchtstrook doorgaans 23-40% onveiliger dan een regulier wegvak (Rijkswaterstaat, 2005a). Bij de evaluatie van een spitsstrook op de A28 werd echter niet meer onveiligheid waargenomen (Rijkswaterstaat, 2005b), omdat het wegnemen van de file leidt tot een stijging van de veiligheid. Het aantal kop-staartbotsingen neemt af en dat blijkt de toegenomen onveiligheid als gevolg van het verdwijnen van de vluchtstrook teniet te doen.

Daarnaast kan de extra strook smaller zijn dan een normale rijstrook. Ook dit levert minder ruimte voor correcties op en zorgt daarmee voor een daling van de verkeersveiligheid. Een simulatorstudie heeft aangetoond dat problemen ontstaan bij stroken smaller dan 2,75 meter: het ongevalsrisico zou dan met een factor 4 tot 7 toenemen (Rijkswaterstaat, 2003). Uitgaande van de standaard vluchtstrookbreedte van 3,15 meter (Rijkswaterstaat, 2007a), zijn echter geen problemen te verwachten. Al met al verandert de verkeersveiligheid niet duidelijk, wat leidt tot de beoordeling 0.

Beleving weggebruiker

Spitsstroken zijn geaccepteerd door weggebruikers (Rijkswaterstaat, 2005b). Er is geen reden om aan te nemen dat vluchtstrookgebruik in knooppunten wel tot problemen leidt. Het zichtbaar bieden van extra capaciteit is positief, waardoor dit criterium de beoordeling + krijgt.

Gevolgen ruimtegebruik

Bij een vluchtstrook conform de richtlijnen, zijn er geen gevolgen voor het ruimtegebruik. De maatregel scoort daarom een 0.

5.2.2 Snelheidsbeperking

De snelheidsbeperking geldt als randvoorwaarde voor de hiervoor besproken openstelling van de vluchtstrook. Het is echter ook toepasbaar als maatregel op zich en in die vorm wordt het hier beoordeeld.

Capaciteit

Een snelheidsbeperking zorgt voor kleinere snelheidsverschillen en zou zo in theorie moeten leiden tot een betere doorstroming. De praktijkervaringen zijn echter wisselend. De proef Dynamische Verlaging Snelheidslimieten liet zien dat files werden uitgesteld en ook een proef op de A12 bij Harmelen gaf een positief beeld (Rijkswaterstaat, 2005b). Onderzoek van Tebodin (2011) liet echter geen betere doorstroming zien en een wisselend capaciteitseffect van -2 tot +5%. In het algemeen is er dus geen positief effect op de doorstroming. Een mogelijke verklaring hiervoor zit in het verkeersgedrag: de stroom voertuigen rijdt nooit precies even snel, er zullen dus altijd fluctuaties blijven. Als effect van de maatregel geldt daarom de beoordeling 0%.

Praktische toepasbaarheid

Dynamische snelheidsbeheersing is alleen toepasbaar bij aanwezigheid van signalering, kantelwalsborden of verplaatsbare borden op bijvoorbeeld een tekstkar. De eerste twee opties zijn vanwege het eerder genoemde beleid te versoberen minder haalbaar, de tekstkar is wel mogelijk. Daarom is de maatregel redelijk goed toepasbaar: +.

Investeringskosten

Bij aanwezige dynamische bewegwijzering zijn er geen kosten, anders bedragen ze € 1.320 per 12 uur voor de tekstkar.

Verkeersveiligheid

Door de lagere gemiddelde snelheid en de kleinere snelheidsverschillen zal de veiligheid licht toenemen (Rijkswaterstaat, 2005b). Daarom geldt de beoordeling +.

Beleving weggebruiker

Als de maatregel past bij de verwachting van de weggebruiker (voldoende drukte of bijpassend wegbeeld), is de ingreep begrijpelijk. Dit zal niet altijd het geval zijn, bijvoorbeeld tijdens een rustiger periode, zodat de beoordeling 0 passend is.

Ruimtegebruik

Een tekstkar heeft geen blijvende invloed op het ruimtegebruik, de beoordeling is daarom 0.

5.2.3 Conclusie

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de beoordeling van de maatregelen.

Beoordeling maatregelen voor verbindingsweg, rangeerbaan, hoofdrijbaan						
Maatregel	Capaciteit	Toepasbaarheid	Kosten/km	Veiligheid	Beleving	Ruimtegebruik
Extra strook	+40-120%	++	€ 9.720	0	+	0
Snelheidsbeperking	0%	+	€ 1.320	+	0	0

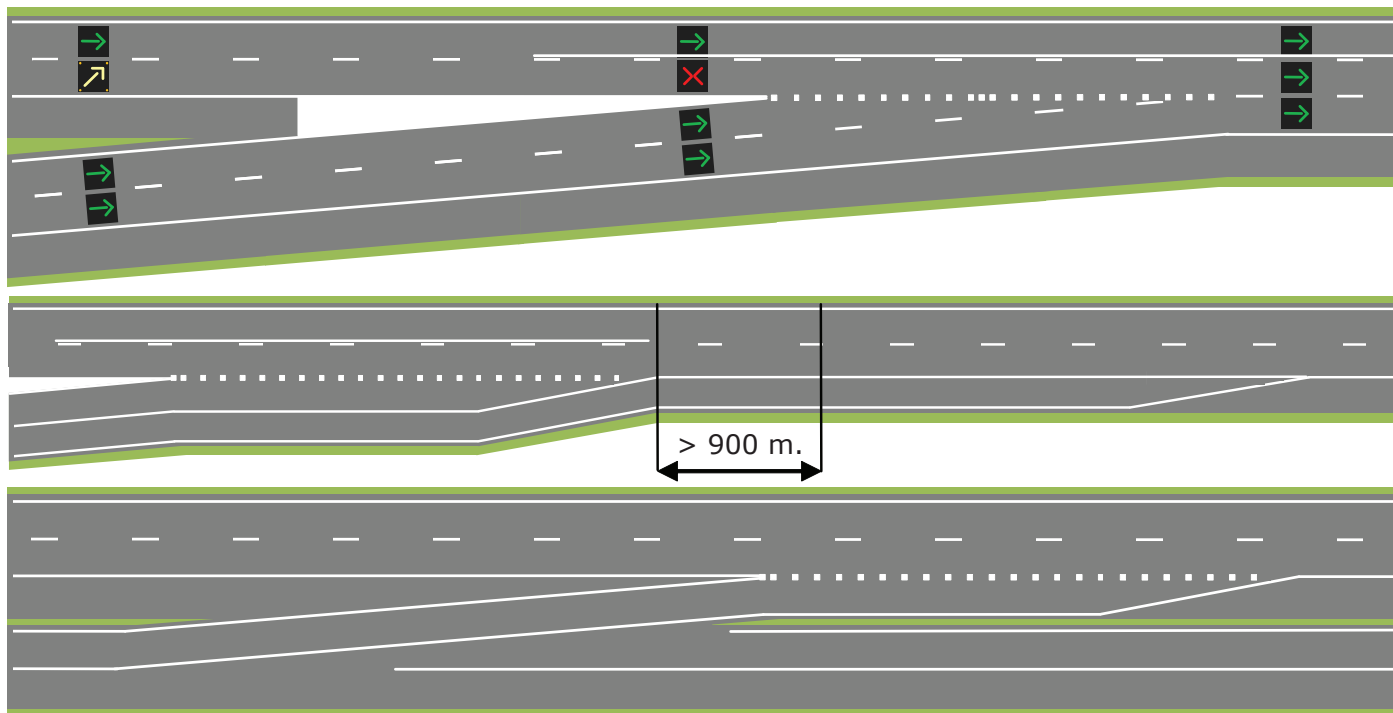
De tabel laat zien dat de snelheidsbeperking op zichzelf geen toegevoegde waarde heeft. De extra strook is daarmee de enige zinvolle maatregel voor een capaciteitsgebrek op een rangeerbaan, verbindingsweg of hoofdrijbaan. Daarbij is de snelheidsbeperking wel een randvoorwaarde.

5.3 In- en samenvoeging

Deze paragraaf gaat eerst in op de maatregelen die ingrijpen op de beperking tot één invoegstrook (dubbele invoeging, dynamische taper en doorsteek), daarna volgen de ingrepen gericht op het convergentiepunt (ritsen met elektronische gidsen, langere invoegstrook, verbod op rijstrookwisseling, TDI en dynamische samenvoeging). De snelheidsbeperking bleek hiervoor al niet zinvol en blijft dus achterwege.

5.3.1 Beperking tot één invoegstrook

De drie mogelijke maatregelen (dubbele invoeger, dynamische taper en doorsteek, zie de afbeelding hieronder) worden hieronder vergeleken met de standaard in- en samenvoegconfiguraties.



Afbeelding 5.2. Dynamische taper (boven), dubbele invoeging (midden) en doorsteek (onder).

Capaciteit

De volgende tabel toont de te verwachten capaciteiten op de hoofdrijbaan voor de invoeging (HRv), de toeleidende weg (TW) en de hoofdrijbaan na de invoeging (HRn).

Verwachte capaciteiten op in-/samenvoeging (pae/u)					
Type	HRv	TW	HRn	Zinvol bij verkeersverhouding*	Negatieve gevolgen bij andere situatie
Invoeging	4.830	2.415	4.830	= <50% vanaf TW	Capaciteit invoeging onvoldoende
Samenvoeging	2.415	2.415	4.830	50% vanaf TW	Capaciteit invoeging of HRv onvoldoende
Dubbele invoeging	4.830	4.830	4.830	>50% vanaf TW	Geen, want HRv heeft capaciteit genoeg
Dynamische taper	2.415	4.830	4.830	>50% vanaf TW en wens verkeer vanaf TW te prioriteren	Geen, want omschakelbaar
Doorsteek	4.830	4.830	4.830	>50% vanaf TW, maar bij reguliere invoegers maximaal 2.415 pae per strook	Geen, want HRv heeft capaciteit genoeg

*De waarden gelden voor een volledig benutte hoofdrijbaan met twee stroken. Bij drie stroken ligt het omslagpunt bij 33% in plaats van 50%.

Behalve bij de samenvoeging, is de som van de capaciteiten voor de invoeging (HRv+TW) hoger dan de capaciteit van het wegvak HRn. Dit betekent dat de capaciteiten van de toeleidende wegen nooit allebei volledig benut kunnen worden. De configuraties met hoge capaciteiten voor de invoegende stroom zijn daarom alleen zinvol bij een groot aandeel invoegend verkeer in combinatie met voldoende capaciteit stroomafwaarts.

Praktische toepasbaarheid

Alle maatregelen zijn onmogelijk in combinatie met een geopende spitsstrook door het knooppunt. Verder is voor de dubbele invoeging de aanwezigheid van een vluchtstrook nodig. Volgens Rijkswaterstaat (2007a) mag binnen de turbulentieafstand van 600 meter bij 100 km/u geen afrit liggen. Aangenomen wordt, dat voor de incidentele situaties waarbij de maatregel ingezet gaat worden een kortere afstand geen problemen op zal leveren. De dubbele invoeging scoort daarom ++.

Een dynamische taper is op twee manieren denkbaar. De eerste is het structureel aanleggen van de taper als rijstrook, waarbij met signalering een van beide toeleidende stroken wordt afgesloten. Vanwege de daarvoor benodigde investeringen in signalering, lijkt deze versie hier niet realistisch. De tweede optie is het berijden van het verdrijvingsvlak zonder verdere ingrepen. Zie afbeelding 5.3.



Afbeelding 5.3. Verdrijvingsvlak in een knooppunt (luchtfoto Rijkswaterstaat).

Deze optie is mogelijk als de toeleidende weg twee stroken heeft, waarvan de linker wordt afgestreept. Verder moet er genoeg asfalt liggen achter de beëindigde linker strook om over door te kunnen rijden. Openen van de strook kan met twee actiekarren: één op de hoofdrijbaan en één op de toeleidende weg. Deze tweede optie lijkt beduidend kansrijker en is daarom als basis gebruikt voor de beoordeling. Omdat de praktische toepasbaarheid afhankelijk is van de aanwezigheid van asfalt, is de beoordeling 0.

Een dynamische doorsteek betekent dat zowel de oude als de nieuwe route berijdbaar moet blijven en dat een van beide dynamisch afgesloten moet worden. Een doorsteek is in beginsel dus een statische maatregel. De toepasbaarheid is afhankelijk van de situatie: eventuele kunstwerken en obstakels kunnen het zeer kostbaar maken. Ook moeten de twee in- of uitvoegingen in verband met turbulentie minimaal 900 meter uit elkaar liggen. In het algemeen is de toepasbaarheid beoordeeld met een 0, omdat deze sterk situatieafhankelijk is.

Kosten

Onderstaande tabel geeft een beeld van de kosten van de verschillende maatregelen.

Kosten maatregelen in-/samenvoeging						
Maatregel	Kostenpost	Eenheid	Kosten p/ eenheid	Eenheden p/ stuk	Kosten p/stuk	Kosten totaal
Dubbele invoeging	Verharding	m ²	€ 100	0*	€ 0	
	Kantmarkering	km	€ 8.400	1,25	€ 10.500	
	Totaal					€ 10.500
Dyn. taper	Tekstkar	12 uur	€ 1.320	2	€ 2.640	€ 2.640
Doorsteek	Verharding	m ²	€ 100	325	€ 32.500	
	Kantmarkering	km	€ 8.400	0,4	€ 3.360	
	Blokmarkering	km	€ 8.400	0,25	€ 2.100	
	Totaal					€ 37.960

*Bij een standaard vluchtstrook van 3,15 m (Rijkswaterstaat, 2007a), is extra verharding niet nodig.

**De waarde van 325 m² is afgeleid van een bestaande situatie in knooppunt Hoevelaken.

Verkeersveiligheid

De al besproken effecten bij het berijden van de vluchtstrook gelden ook hier. Verder zijn geen negatieve gevolgen te verwachten. Alle varianten zijn daarom beoordeeld met een 0.

Beleving weggebruiker

In de beleving van de weggebruiker is de dubbele invoeging positief (+), omdat zichtbaar meer capaciteit geboden wordt. De dynamische taper is positief voor de invoegende stroom, maar negatief voor de doorgaande stroom, en daarom beoordeeld met een 0. De doorsteek als blijvende maatregel heeft geen duidelijke invloed en krijgt daarom eveneens een 0.

Gevolgen ruimtegebruik

De dubbele invoeging en dynamische taper scoren een 0, omdat ze geen gevolgen hebben voor het ruimtegebruik. Een doorsteek heeft dat wel en is daarom met een - beoordeeld.

5.3.2 Ritsen met elektronische gidsen

Het systeem "Ritsen met elektronische gidsen", waarvan hieronder een illustratie is opgenomen, is in 2003-2004 getest op de A9 en was toen vooral gericht op verbetering van de veiligheid. In de beoordeling wordt echter uitgegaan van een toepassing bij een invoeging om het invoegproces soepeler te laten verlopen.



Afbeelding 5.4. Ritsen met elektronische gidsen (bron: promotiefolder project).

Capaciteit

Kwantitatieve effecten als gevolg van het soepeler invoegproces zijn niet bekend. De maatgevende wegcapaciteit bij een rijstrookbeëindiging ligt echter na het invoegpunt en verandert dus niet, zodat het uiteindelijke effect beperkt zal blijven.

Praktische toepasbaarheid

De maatregel is in beginsel goed toepasbaar, zodat dit criterium als ++ is beoordeeld.

Kosten

Ten tijde van de proef op de A9 werd als richtprijs € 1.000 per meter gehanteerd. Het proefproject op de A9 kostte € 750.000 per kilometer lichtspoor.

Verkeersveiligheid

Het verkeersbeeld wordt rustiger. Bij de proef voelde 40% van de weggebruikers zich veiliger. Over de objectieve veiligheid is geen informatie bekend, een positief effect ligt echter voor de hand. Daarom scoort de maatregel een +.

Beleving weggebruiker

Als weggebruikers gewend zijn aan het systeem, is er een positieve invloed, getuige de gestegen subjectieve veiligheid. Een + is daarom een passende beoordeling.

Ruimtegebruik

Er is geen extra ruimtegebruik, zodat de maatregel een 0 als beoordeling krijgt.

5.3.3 Langere invoegstrook

Capaciteit

Een langere invoeger verandert de maatgevende capaciteit niet. Het effect blijft beperkt tot een betere benutting in situaties waarbij dat onvoldoende gebeurt, bijvoorbeeld bij een toerit die steil omhoog loopt. In het algemeen is de beoordeling 0% passend.

Praktische toepasbaarheid

Het verlengen van een invoeger is een statische maatregel: in een dynamische vorm zou structureel over markering heen gereden moeten worden. Afhankelijk van de situatie, kan extra verharding nodig zijn om de vereiste lengte voor een invoegstrook te bieden. In algemene zin kan niet bepaald worden of dat mogelijk is, zodat de maatregel een 0 scoort.

Kosten

De kosten zijn afhankelijk van de wijze waarop de verlenging wordt uitgevoerd. Het verleggen van het convergentiepunt zonder de verharding te verlengen kost € 12.000 tot 16.000. Een situatie met een verlegd convergentiepunt en extra verharding kost € 70.000 (Rijkswaterstaat, 2005b).

Verkeersveiligheid

In situaties waarbij de langere strook nuttig is, kan verkeer gelijkmatiger invoegen dan voorheen. De verkeersveiligheid neemt hierdoor toe: +.

Beleving weggebruiker

De maatregel zorgt voor een rustiger wegbeeld en een betere veiligheid en scoort dus een +.

Ruimtegebruik

Zoals al benoemd, kan extra verharding noodzakelijk zijn. De maatregel scoort daarom een -.

5.3.4 Verbod op rijstrookwisseling



Afbeelding 5.5. Invoeging met verbod op rijstrookwisseling.

Capaciteit

De ingreep leidt tot een rustiger verkeersbeeld (Arcadis, 2007; Grontmij, 2002). Verder rijdt er minder verkeer op de rechter rijstrook, waardoor het invoegende verkeer meer ruimte krijgt. Dit leidt volgens Rijkswaterstaat (2007c) tot 2% meer capaciteit.

Praktische toepasbaarheid

De maatregel bestaat uit het aanbrengen van markering in statische of dynamische vorm over de lengte van de invoegstrook. Er zijn daarmee geen beperkingen ten aanzien van de praktische toepasbaarheid: ++.

Kosten

Statische markering kost € 8.400 per kilometer. Bij een standaard invoegstrook van 350 meter (Rijkswaterstaat, 2007a) bedragen de kosten dan circa € 3.000. De kosten voor dynamische markering zijn vergelijkbaar met de kosten voor een lichtlijn bij "Ritsen met elektronische gidsen" en komen daarmee uit op € 350.000. Gezien deze hoge kosten, is hier uitgegaan van een statische variant.

Verkeersveiligheid

De maatregel voorkomt weefconflicten tussen verkeer dat invoegt en verkeer dat van de linker naar de rechter rijstrook wisselt. Het leidt dus tot een betere verkeersveiligheid: +.

Beleving weggebruiker

Er zijn naar verwachting geen gevolgen voor de beleving van de weggebruiker.

Gevolgen ruimtegebruik

De maatregel heeft geen gevolgen voor het ruimtegebruik en scoort dus een 0.

5.3.5 Toeritdoseerinstallatie



Afbeelding 5.6. Toeritdoseerinstallatie bij de aansluiting Zevenaar op de A12.

Capaciteit

Op toeritten van aansluitingen leidt toepassing van een TDI gemiddeld tot een capaciteitsstijging van enkele procenten (Rijkswaterstaat, 2005b). In een knooppunt zullen naar verwachting vergelijkbare effecten optreden.

Praktische toepasbaarheid

Gebruik van een TDI vereist voldoende opstelruimte en afstand om weer op snelheid te komen. Dit zal niet altijd mogelijk zijn, zodat de toepasbaarheid negatief scoort: -.

Kosten

Als richtprijs voor een TDI geldt een bedrag van € 100.000.

Verkeersveiligheid

Stilzetten van verkeer op de snelweg brengt risico's met zich mee. In situaties waarbij deze maatregel ingezet wordt, is er sprake van hoge intensiteiten. In combinatie met de geringe beschikbare opstelruimte in een knooppunt, kan dit voor gevaarlijke situaties zorgen. Een TDI in een knooppunt scoort daarom negatief op het aspect verkeersveiligheid: -.

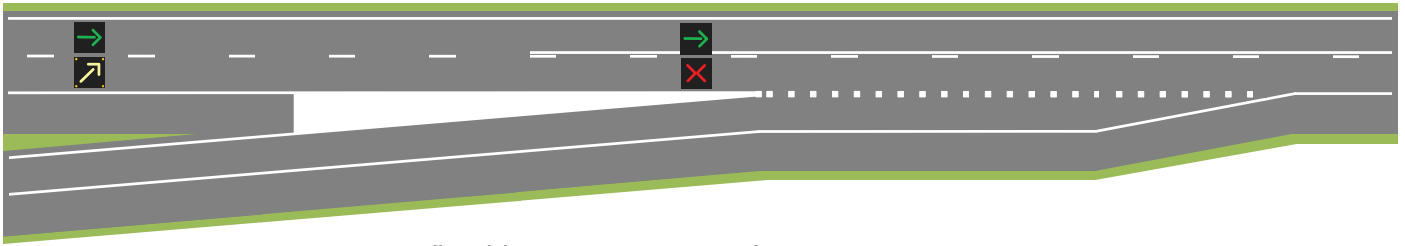
Beleving weggebruiker

Een TDI op de snelweg is ongebruikelijk en verkeersonveilig, zodat een - is toegekend.

Ruimtegebruik

Een TDI heeft geen gevolgen voor het ruimtegebruik en krijgt dus de beoordeling 0.

5.3.6 Dynamische samenvoeging



Afbeelding 5.7. Dynamische samenvoeging.

Capaciteit

Een dynamische samenvoeging prioriteert het invoegende verkeer door de instroom van het doorgaande verkeer te beperken. In feite ontstaat er zo een samenvoeging en er kan geen knelpunt meer ontstaan bij het convergentiepunt. Het knelpunt wordt verplaatst naar een locatie stroomopwaarts van het knooppunt, waar file zal ontstaan op de hoofdrijbaan. Het effect is dus wisselend per stroom.

Praktische toepasbaarheid

De afsluiting kan geschieden door verkeerssignalering (als die aanwezig is) of door inzet van een actiekar. Om te voorkomen dat er ongewenste weefconflicten plaatsvinden is het instellen van een verbod op rijstrookwisseling wenselijk. Al met al is de maatregel eenvoudig in te stellen, zodat de toepasbaarheid is beoordeeld als zeer positief: ++.

Kosten

De kosten bestaan uit de inzet van een actiekar (€ 1.320 per 12 uur) en de kosten voor het aanbrengen van de markering voor het verbod op rijstrookwisseling, € 3.000.

Verkeersveiligheid

De maatregel maakt invoegen overbodig en neemt de weefconflicten weg. Daar staat tegenover dat stroomopwaarts op de hoofdrijbaan (meer) file ontstaat, wat een negatief effect heeft op de verkeersveiligheid, zoals beschreven in paragraaf 5.2.1. De maatregel heeft daardoor een neutraal effect op de verkeersveiligheid: 0.

Beleving weggebruiker

Het afkruisen van een rijstrook op de hoofdrijbaan kan als storend worden ervaren, maar de invoegende stroom kan wel beter doorstromen. Gemiddeld is de beleving daarom neutraal, 0.

Gevolgen ruimtegebruik

De maatregel heeft geen gevolgen voor het ruimtegebruik en scoort daarom een 0.

5.3.7 Conclusie

De beoordeling van de verschillende maatregelen is samengevat in de volgende tabellen. De eerste tabel bevat de maatregelen die ingezet kunnen worden om de beperking tot één invoegstrook aan te pakken, de tweede tabel gaat in op de maatregelen rond het convergentiepunt.

Beoordeling maatregelen voor invoeging rond de invoegstrook						
Maatregel	Capaciteit	Toepasbaarheid	Kosten	Veiligheid	Beleving	Ruimtegebruik
Dubbele invoeger	+100%	++	€ 10.500	0	+	0
Dynamische taper	+100%/-50%*	0	€ 2.640	0	0	0
Doorsteek	+100%	0	€ 37.960	0	0	-

*Invoegende stroom +100%, doorgaande stroom -50%.

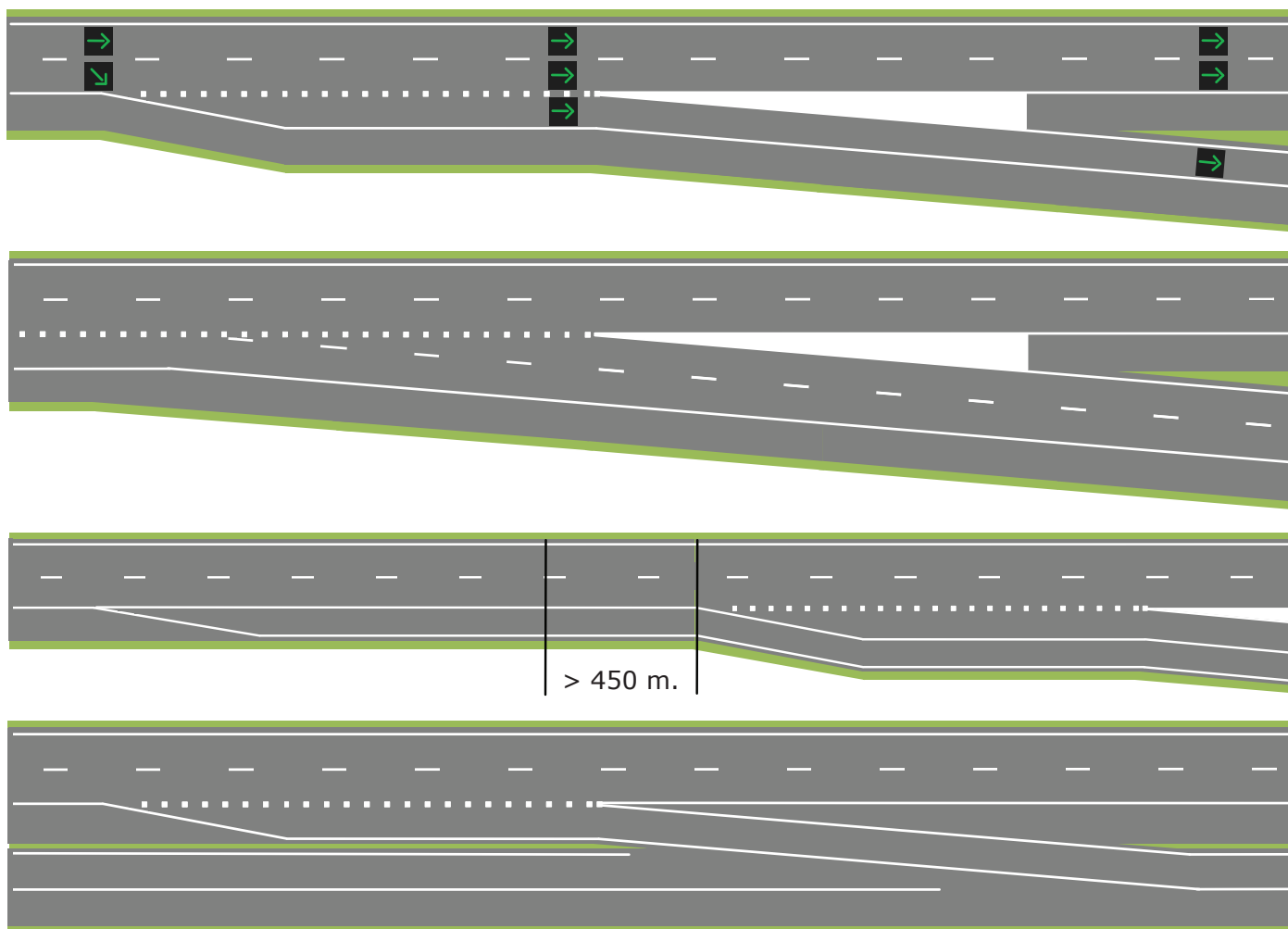
Uit de tabel blijkt dat de dynamische taper verreweg de goedkoopste oplossing is. De toepasbaarheid is echter beperkt, omdat deze maatregel alleen toepasbaar is bij een probleem ter hoogte van een invoeging door het afstrepen van de linker strook. In overige gevallen verdient de dubbele invoeger de voorkeur vanwege de toepasbaarheid en de relatief lage kosten.

Beoordeling maatregelen voor invoeging rond het convergentiepunt						
Maatregel	Capaciteit	Toepasbaarheid	Kosten	Veiligheid	Beleving	Ruimtegebruik
Ritsen met elektronische gidsen	0%	++	€ 1.000.000	+	+	0
Langere invoegstrook	0%	0	€ 16.000 – € 70.000	+	+	-
Verbod op rijstrookwisseling	+2%	++	€ 3.000	+	0	0
Toeritdoseerinstallatie	+2%	-	€ 100.000	-	-	0
Snelheidsbeperking	0%	+	€ 1.320	+	0	0
Dyn. samenvoeging	prioritering	++	€ 4.320	0	0	0

De eerste beide maatregelen en de snelheidsbeperking hebben geen toegevoegde waarde. Een verbod op rijstrookwisseling is een ondersteunende maatregel met een licht positieve uitwerking op zowel de capaciteit als de veiligheid en is dus zinvol. Een toeritdoseerinstallatie is relatief kostbaar en bovendien verkeersonveilig en valt dus af. Een dynamische samenvoeging is wel bruikbaar, maar alleen om de invoegende stroom een hogere prioriteit te geven als er na de invoeging onvoldoende capaciteit is. Het verbod op rijstrookwisseling is dus zonder meer aan te bevelen, de dynamische samenvoeging alleen in bepaalde gevallen.

5.4 Uitvoeging/splitsing

De mogelijke maatregelen zijn hieronder vergeleken met de normale configuraties.



Afbeelding 5.8. Van boven naar beneden: dynamische splitsing, taperuitvoeging, dubbele uitvoeging en doorsteek.

Capaciteit

De volgende tabel geeft de verwachte capaciteiten op de hoofdrijbaan voor de uitvoeging/splitsing (HRv), van de uitvoeging of splitsing (US) en de hoofdrijbaan stroomafwaarts (HRn). Als referentie geldt een hoofdrijbaan met twee rijstroken zowel voor als na de uitvoeging of splitsing, waarbij HRv volledig benut wordt. Dit wegvak bepaalt immers de hoeveelheid verkeer die kan instromen.

Verwachte capaciteiten uitvoeging/splitsing (pae/u)				
Type	HRv	US	HRn	Toepasbaarheid
Uitvoeging	4.830	1.500	4.830	= <30% naar US
Splitsing 1+1	4.830	2.415	2.415	50% naar US
Dyn. splitsing	4.830	2.415	2.415	50% naar US 30-50% naar US en wens verkeer naar US te prioriteren, wel kans op file
Taper	4.830	2.500	4.830	= <50% naar US
Dubbele uitvoeging	4.830	3.000*	4.830	= <60% naar US
Doorsteek	4.830	3.000	4.830	= <60% naar US, max. 30% per strook

*Voor een goede benutting is het gewenst al 1.000 meter voor het knooppunt de vluchtstrook te openen.

Indien wordt afgeweken van de in de tabel genoemde percentages, terwijl HRv volledig benut wordt, zal de capaciteit van US of HRn onvoldoende zijn. Er ontstaat dan congestie voor het divergentiepunt.

Praktische toepasbaarheid

De dynamische splitsing en dubbele uitvoeger kennen geen beperkingen; voor de laatste is alleen een vluchtstrook vereist. Beide maatregelen scoren daarom ++. De taper is niet mogelijk in dynamische vorm: een uitvoegende taper bijschakelen kan niet uit oogpunt van veiligheid, zie afbeelding 5.9.



Afbeelding 5.9. Dynamische taperuitvoeging.

De afbeelding laat zien dat er een onduidelijke situatie ontstaat, waarbij markering over elkaar loopt. De uitvoeger zou daarom blijvend tot een taper omgebouwd moeten worden. Dit vereist een grotere lengte en extra verharding (Rijkswaterstaat, 2007a). De taper scoort daarom negatief: -. Voor de doorsteek geldt wederom dat het een statische maatregel is, waarvan de toepasbaarheid afhankelijk is van de situatie ter plaatse, zoals al eerder beschreven. De doorsteek is daarom beoordeeld met een 0.

Kosten

De kosten voor de verschillende maatregelen zijn hieronder weergegeven.

Kosten maatregelen uitvoeging/splitsing						
Maatregel	Kostenpost	Eenheid	Kosten p/ eenheid	Eenheden p/st	Kosten per post	Kosten totaal
Dyn. splitsing	Kantelwalsborden	stuk	€ 50.000	3*	€ 150.000	€ 150.000
Taper**	Verharding	m ²	€ 100	1200	€ 120.000	
	Kantmarkering	km	€ 8.400	0,9	€ 7.560	
	Onderbroken lijn	km	€ 8.400	0,2	€ 1.680	
	Blokmarkering	km	€ 8.400	0,45	€ 3.780	
	Pijlmarkering	stuk	€ 90	6	€ 540	
	Bebording	stuk	€ 1.500	3	€ 4.500	
	Totaal					€ 138.060
Dubbele uitvoeging	Verharding	m ²	€ 100	0***	€ 0	
	Verdrijvingsvlak	m ²	€ 47	31,25	€ 1.475	
	Kantmarkering	m ²	€ 8.400	1,25	€ 10.500	
	Tekstkar	12 uur	€ 1.320	1	€ 1.320	
	Totaal					€ 13.295
Doorsteek	Verharding	m ²	€ 100	325	€ 32.500	
	Kantmarkering	km	€ 8.400	0,4	€ 3.360	
	Blokmarkering	km	€ 8.400	0,25	€ 2.100	
	Bebording	stuk	€ 1.500	3	€ 4.500	
	Totaal					€ 42.460

*Op 1.200 meter, 600 meter en op het uitvoegpunt (Rijkswaterstaat, 2009).

**Waarden zijn exclusief noodzakelijke ingrepen na het divergentiepunt en verwijderingskosten van de bestaande configuratie.

***Bij een standaard vluchtstrook van 3,15 m (Rijkswaterstaat, 2007a), is extra verharding niet nodig.

Verkeersveiligheid

Bij duidelijke bewegwijzering zijn geen problemen te verwachten, als beoordeling geldt daarom een 0.

Beleving weggebruiker

De dubbele uitvoeging biedt zichtbaar meer capaciteit en zal daarom positief scoren in de beleving van de weggebruiker: +. De overige maatregelen scoren een 0.

Ruimtegebruik

De taper en de doorsteek kunnen een uitbreiding van het ruimtegebruik betekenen en scoren daarom een -. De beide andere maatregelen hebben geen gevolgen en scoren een 0.

De volgende tabel vat de beoordelingen samen.

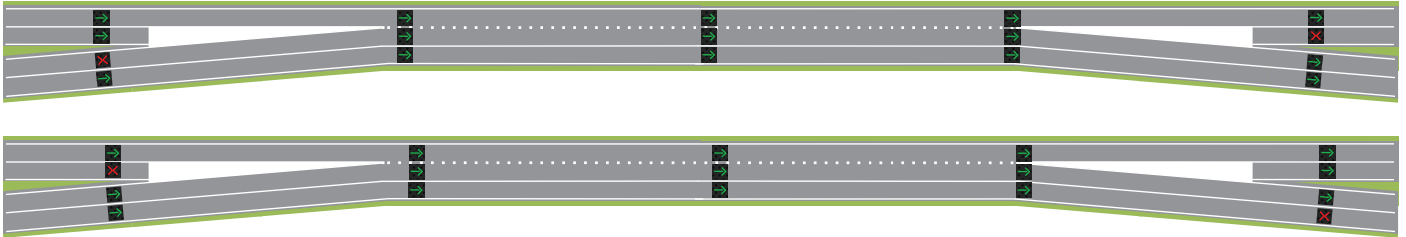
Beoordeling maatregelen voor uitvoering/splitsing						
Maatregel	Capaciteit	Toepasbaarheid	Kosten	Veiligheid	Beleving	Ruimtegebruik
Dyn. splitsing	+60%	++	€ 150.000	0	0	0
Taper	+65%	-	€ 138.060	0	0	-
Dubbele uitvoeger	+100%	++	€ 13.295	0	+	0
Doorsteek	+100%	0	€ 42.460	0	0	-

Uit het geheel blijkt, dat de dubbele uitvoeger op alle fronten het beste scoort. Deze maatregel heeft daarom de voorkeur. Een doorsteek biedt hetzelfde effect voor meer geld en is een optie als de dubbele uitvoeger niet mogelijk is, bijvoorbeeld bij het ontbreken van een vluchtstrook.

5.5 Weefvak

Deze paragraaf beoordeelt achtereenvolgens de dynamische strookindeling, vluchtstrookgebruik en afsluiting. De toeritdoseerinstallatie (TDI) is hiervoor al behandeld en wordt daarom niet nogmaals volledig beschreven.

5.5.1 Dynamische strookindeling



Afbeelding 5.10. Dynamisch strookgebruik weefvak.

Capaciteit

Er ontstaat een asymmetrisch weefvak $1+2 > 2+1$ of $2+1 > 1+2$. Voor het eerste type met 100% wevend verkeer geeft Rijkswaterstaat (2011) een waarde van 5.500 pae. Deze waarde geldt echter voor een weefvaklengte van 800 meter, een afstand die in knooppunten niet gehaald zal worden. De capaciteitstoename zal dus lager uitvallen; hoeveel is niet bekend.

Praktische toepasbaarheid

Verkeerssignalering is een voorwaarde. Daarnaast is de maatregel uit oogpunt van veiligheid alleen toegestaan bij langere weefvakken, zie ook hieronder, en daarmee niet bruikbaar op korte weefvakken in knooppunten. Al met al is de toepasbaarheid van de maatregel zeer slecht, zodat het is beoordeeld met --.

Kosten

De kosten zijn niet nader uitgewerkt, omdat deze maatregel vanuit oogpunt van verkeersveiligheid niet mogelijk is op de korte weefvakken in knooppunten.

Verkeersveiligheid

De ondergeschikte verkeersstroom moet over korte lengte twee keer van strook wisselen. Dat wordt zo onveilig geacht, dat de maatregel alleen is toegestaan bij weefvakken langer dan 700 meter, uitgaande van een ontwerpsnelheid van 80 km/u (Rijkswaterstaat, 2007a). In een knooppunt zijn weefvakken normaliter slechts 200 meter, zodat gesteld kan worden dat de maatregel daar zeer verkeersonveilig is. Als beoordeling geldt daarom --.

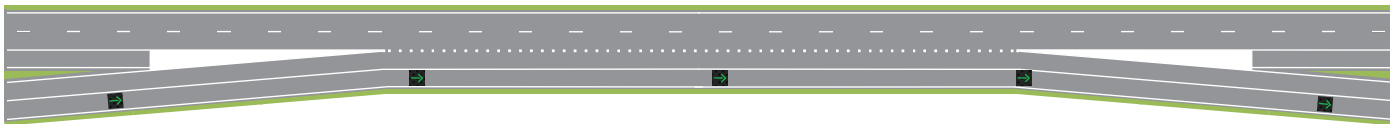
Beleving weggebruiker

Het meermaals van strook moeten wisselen, dwars door de grootste stroom heen, zal zeker bij een kort weefvak als gevaarlijk ervaren worden. De maatregel scoort dus ook op dit criterium zeer negatief.

Ruimtegebruik

Uitgaande van vluchtstrookgebruik, zijn er geen gevolgen voor het ruimtegebruik.

5.5.2 Vluchtstrookgebruik



Afbeelding 5.11. Vluchtstrookgebruik weefvak aan rand knooppunt.

Capaciteit

De capaciteit neemt toe met één strook, die alleen voor het verkeer geopend is dat van de toeleidende weg komt en direct na het weefvak weer afbuigt naar de afleidende weg. Er zal in alle gevallen meer capaciteit ontstaan, een algemeen kwantitatief effect is echter niet te geven omdat dit sterk afhankelijk is van de weefvakconfiguratie.

Praktische toepasbaarheid

De enige voorwaarde is de aanwezigheid van een vluchtstrook, zodat ++ passend is.

Kosten

De kosten bestaan uit de markering (€ 8.400/km) en inzet van de tekstkar (€ 1.320).

Verkeersveiligheid

De extra strook is alleen geopend voor het verkeer dat direct weer afslaat, weefconflicten zullen zo niet optreden. Daarom verandert er in feite niets en scoort de maatregel een 0.

Beleving weggebruiker

Er zijn geen toepassingen van deze maatregel bekend. In feite gaat het echter weer om het openstellen van de vluchtstrook, waar goede ervaringen mee zijn. Als beoordeling geldt daarom een 0.

Ruimtegebruik

Uitgaande van de aanwezigheid van een vluchtstrook, zijn er geen gevolgen.

5.5.3 Afsluiting van een lus

De meest rigoureuze maatregel die op een weefvak mogelijk is, betreft het opheffen van de weeffunctie door het afsluiten van de lus waar de ondergeschikte verkeersstroom over wordt afgewikkeld.

Capaciteit

Door het vervallen van de weeffunctie, stijgt de capaciteit met circa 20%. Deze capaciteit wordt echter alleen nog ter beschikking gesteld aan de geprioriteerde verkeersstroom, zodat de effectieve toename groter zal zijn. Ander verkeer wordt benadeeld en moet omrijden.

Praktische toepasbaarheid

De afsluiting kan op verschillende manieren plaatsvinden. Opstellen van vaste DRIP's en het plaatsen van verkeerssignalering voor het incidenteel afsluiten van een lus is kostbaar en biedt geen fysieke afsluiting. Slagbomen bieden die wel, maar vergen ook investeringskosten van € 50.000 per stuk terwijl de maatregel maar incidenteel ingezet wordt. Het is daarom het meest praktisch een actieteam in te zetten om de strook af te zetten. Aanvullend hierop, moet de afsluiting stroomopwaarts worden aangegeven aan de weggebruikers op een tekstkar of op een permanente DRIP als die al aanwezig is.

Verder is de toepasbaarheid afhankelijk van de mogelijkheden de verkeersstromen via een andere route te laten rijden. Deze alternatieve route moet voldoende capaciteit bieden en voor weggebruikers nog een acceptabele omweg zijn. Bij Rijkswaterstaat is geen maximale omrijdafstand bekend, zodat contact is gezocht met de TU Delft, waar in het verleden veel onderzoek is gedaan naar omrijdfactoren. Uit een gesprek met de heer Wiggenraad van de TU Delft bleek echter dat ook daar geen onderzoek naar acceptabele omrijdafstanden of -factoren voor doorgaand verkeer op autosnelwegen bekend is. Het is ook de vraag of daar in algemene zin één getal voor te noemen is, omdat er diverse factoren een rol spelen. Zo is het denkbaar dat er verschillen bestaan tussen personen- en vrachtverkeer en tussen verschillende reismotieven. Verder is een acceptabele omrijdafstand of -factor gerelateerd aan de totale afstand die tijdens een verplaatsing afgelegd wordt.

In deze studie kunnen daarom geen algemene uitspraken gedaan worden over acceptabele omrijdafstanden. In de uitwerking en toetsing zal per geval worden ingeschat of een afsluiting een acceptabele maatregel kan zijn. De praktische toepasbaarheid is beoordeeld met een -, omdat de gevolgen van de afsluiting verregaand zijn.

Kosten

De kosten bestaan uit de inzet van een tekstkar en medewerkers, € 1.320 voor 12 uur.

Verkeersveiligheid

De weefconflicten vervallen, met positieve gevolgen voor de veiligheid. De veiligheid op de omleidingsroute kan niet in algemene zin beoordeeld worden. Vanwege het positieve effect op het knooppunt is de maatregel beoordeeld met een +.

Beleving weggebruiker

Voor de bevooroordeelde groep is de maatregel positief, voor de andere groep negatief. Gemiddeld leidt dit tot een beoordeling 0.

Ruimtegebruik

De maatregel heeft geen gevolgen voor het ruimtegebruik en scoort dus een 0.

5.5.5 Conclusie

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de beoordeling.

Beoordeling maatregelen voor invoeging rond de invoegstrook						
Maatregel	Capaciteit	Toepasbaarheid	Kosten	Veiligheid	Beleving	Ruimtegebruik
Dyn. strook-indeling	+175%	--	onbekend	--	--	0
Vluchtstrook-gebruik	+onbekend	++	€ 1.320	0	0	0
TDI	+2%	-	€ 100.000	-	-	0
Afsluiting	+20%, minder verkeer	-	€ 1.320	++	0	0

Vluchtstrookgebruik op weefvakken aan de rand van het knooppunt scoort als enige positief op de toepasbaarheid. Binnen het knooppunt is deze optie echter niet bruikbaar en moet dus een andere maatregel gekozen worden. De afsluiting is dan de beste van alle kwaden. De andere maatregelen hebben zulke negatieve gevolgen voor de verkeersveiligheid en/of zijn zo kostbaar, dat ze geen optie zijn.

5.6 Maatregelen buiten knooppunt

Buiten het knooppunt kan de omgeleide verkeersstroom op navigatiesystemen worden geïnformeerd over de te volgen route. Effecten hiervan zijn niet bekend. Voor DRIP's geldt dit wel; deze paragraaf gaat hier nader op in.

Capaciteit

Een DRIP of tekstkar heeft in principe geen capaciteitseffecten. Als er een sturende tekst op wordt neergezet, is het wel van belang te weten hoeveel effect dit heeft. Een evaluatie-onderzoek naar DRIP's rond Breda (Rijkswaterstaat, 2001) heeft uitgewezen dat een grote meerderheid van 86% bereid is zijn of haar verkeersgedrag aan te passen op basis van informatie op DRIP's. Rijkswaterstaat (2004) meldt dat 41% van de weggebruikers zijn of haar gedrag vaak of altijd aanpast, de Ruhr-Universität Bochum (2011) spreekt van 40% opvolging, terwijl een onderzoek naar internationaal omleidingsverkeer van Witteveen en Bos (2009) meldt dat 50% van de doelgroep reageerde op de aanwijzingen. Hieruit valt af te leiden, dat toepassing van DRIP's kan leiden tot een aanzienlijke reductie van verkeer in het knooppunt.

Praktische toepasbaarheid

Bij aanwezigheid van een goede alternatieve route, is de toepasbaarheid zeer positief: ++.

Kosten

Indien er een DRIP aanwezig is op de aanrijdroute, zijn er geen kosten. Als dat niet zo is, geldt de prijs van € 1.320 per 12 uur voor een tekstkar inclusief bemensing.

Veiligheid

De veiligheid van alternatieve routes kan afwijken van die van de standaard route, maar de maatregel heeft op zich geen veiligheidseffect en scoort dus 0.

Beleving weggebruiker

Moeten omrijden is negatief, maar in de file staan is dat nog meer. Bij uitleg over de reden van de omleiding en een fatsoenlijk alternatief, zullen er naar verwachting dan ook geen problemen ontstaan. Om weggebruikers de tijd te geven te anticiperen op de omleiding, is het van belang de tekstkar al voor het beslispoint te plaatsen. Plaatsen voor het eerste aankondigingsbord van het knooppunt lijkt de beste optie, omdat verkeersdeelnemers dan voor het knooppunt al weten dat ze een alternatieve route kunnen gaan volgen.

Ruimtegebruik

Er zijn geen gevolgen voor het ruimtegebruik, zodat de score 0 passend is.

Een DRIP of tekstkar kunnen allebei zinvol zijn om weggebruikers te informeren en/of hen te bewegen een alternatieve route te kiezen.

5.7 Conclusie

De beoordeling in dit hoofdstuk heeft laten zien dat de volgende maatregelen kansrijk zijn om het knelpunt op het betreffende knooppuntelement aan te pakken:

Kansrijke maatregelen voor het verwerken van omleidingsverkeer per element		
Element	Maatregel	Opmerkingen
Rangeerbaan/verbindingsweg/ hoofdrijbaan	Vluchtstrookgebruik	
Invoeging: invoegstrook	Dubbele invoeger	
	Dynamische taper	berijden verdrijvingsvlak achter afstreping, zie afbeelding 5.12
	Doorsteek	als dubbele invoeger niet kan
In-/samenvoeging: convergentiepunt	Verbod rijstrookwisseling	
	Dynamische samen- voeging	bij wens tot prioritering invoegende stroom
Uitvoeging/splitsing	Dubbele uitvoeger	
	Doorsteek	als dubbele uitvoeger niet kan
Weefvak	Vluchtstrookgebruik	alleen aan rand knooppunt
	Afsluiting	
Buiten knooppunt	DRIP/tekstkar	



Afbeelding 5.12. Verdrijvingsvlak in een knooppunt (luchtfoto Rijkswaterstaat).

Per element is nu duidelijk welke maatregelen zinvol zijn. In werkelijkheid vormen de elementen echter gezamenlijk een geheel knooppunt, zodat de samenhang tussen verschillende maatregelen ook gezien moet worden. Het volgende hoofdstuk gaat hierop in.

6 Combineren maatregelen



In hoofdstuk 5 zijn kansrijke maatregelen per element geselecteerd. Dit hoofdstuk maakt de stap van elementen naar knooppunten door de verbanden tussen maatregelen te onderzoeken.

Foto: A12 Velperbroek - Waterberg

Veel van de in hoofdstuk 5 als kansrijk bestempelde maatregelen hebben een groter invloedsgebied dan het knooppuntelement waarop ze worden toegepast. Verkeer dat op een verbindingsweg over de vluchtstrook rijdt, moet verderop in het knooppunt immers ook ergens blijven. Daarom wordt in dit hoofdstuk geanalyseerd welke ruimtelijke verbanden er tussen de verschillende maatregelen bestaan. De paragrafen 6.1 tot en met 6.3 gaan op dit vraagstuk in. Verder kunnen prioriterende maatregelen elkaar versterken en zo gezamenlijk sterke gevolgen hebben voor een verkeersstroom; in paragraaf 6.4 wordt deze problematiek nader belicht. Als derde is het van belang naar de toegevoegde waarde van een maatregel te kijken: het is onzinnig maatregelen te treffen die het probleem alleen verplaatsen naar een ander punt in dezelfde rijrichting. Paragraaf 6.5 behandelt deze verbanden, waarna de conclusie in paragraaf 6.6 het hoofdstuk afsluit.

6.1 Ruimtelijke invloedsfeer maatregelen

De eerste stap in het analyseren van de ruimtelijke combineerbaarheid, is het bepalen van de invloedsfeer van de kansrijke maatregelen. Zoals het hierboven beschreven voorbeeld illustreert, hebben ingrepen die een extra strook aanbieden altijd gevolgen voor andere elementen. Dit betekent dat de ruimtelijke combineerbaarheid van de volgende maatregelen nader geanalyseerd moet worden:

- openstelling vluchtstrook;
- dubbele invoeger;
- dynamische taper;
- doorsteek bij invoeger;
- dubbele uitvoeger;
- doorsteek bij uitvoeger.

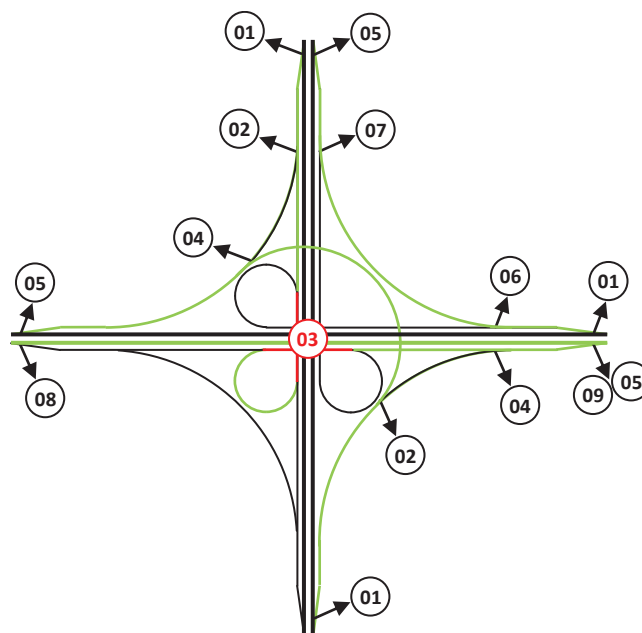
Andere ruimtelijke ingrepen, de dynamische samenvoeging en de afsluiting van een verbindingsweg, wijken af van bovengenoemde maatregelen. In plaats van meer capaciteit, bieden deze maatregelen juist minder capaciteit voor bepaalde verkeersstromen. Dit heeft geen ruimtelijke gevolgen; wel leidt de prioritering tot het doseren van de ondergeschikt geachte verkeersstroom, zie paragraaf 6.4.

Voor andere maatregelen geldt, dat ze slechts een lokale invloed hebben en zonder meer toegepast kunnen worden. Zo heeft een verbod op rijstrookwisseling slechts een plaatselijke werking, die niet afhankelijk is van de verdere configuratie van het knooppunt. Ook informeren van weggebruikers over de te volgen route heeft geen gevolgen, anders dan sturing van het verkeer. Hiermee zijn deze maatregelen zonder meer aan te bevelen.

6.2 Analyse ruimtelijke combineerbaarheid

Van de zes in de vorige paragraaf genoemde maatregelen, wijkt er één duidelijk af. De dynamische taper biedt de extra capaciteit aan de linkerkzijde van de reguliere rijstrook, waar alle andere maatregelen meer capaciteit bieden rechts van de normale rijstrook. Daarnaast bleek uit de beoordeling in hoofdstuk 5 al dat de dynamische taper een specifieke toepassing kent, namelijk na het afstropen van de linkerstrook. De dynamische taper is daarom wel te combineren met overige maatregelen, maar geen alternatief daarvoor.

De overige maatregelen bieden extra capaciteit aan de rechterzijde van de reguliere rijstrook/rijstroken en bestaan in feite dus uit het berijden van de vluchtstrook. De ruimtelijke combineerbaarheid van deze maatregelen is geanalyseerd door de vluchtstrook over de gehele lengte van een rijrichting in het knooppunt open te stellen. In de praktijk zal dit veelal niet nodig zijn, maar het overal openen van de vluchtstrook brengt mogelijke problemen aan het licht. Dit is voor alle verschillende rijrichtingen gedaan en vervolgens is per rijrichting in kaart gebracht welke situatie ontstaat op de discontinuïteiten. Hieruit komen de ruimtelijke inpassingsproblemen naar voren. Als knooppuntvorm is het verbeterde klaverblad met semi-directe verbindingsweg gebruikt, omdat hoofdstuk 3 liet zien dat deze knooppuntvorm alle elementen bevat. Afbeelding 6.1 op de volgende pagina toont dit knooppunt met de vier te analyseren rijrichtingen en een nummering van de discontinuïteiten.



Afbeelding 6.1. Rijrichtingen waarop de geopende vluchtstrook is gesimuleerd (in groen), discontinuïteiten (genummerd) en het weefvak (in rood).

De gevolgen die het openstellen van de vluchtstrook op de verschillende discontinuïteiten heeft, zijn weergegeven in onderstaande tabel. De nummering komt overeen met die in afbeelding 6.1.

Ruimtelijke gevolgen vluchtstrookgebruik op de discontinuïteiten van een verbeterd klaverblad		
Nr	Configuratie	Gevolgen/aandachtspunten
01	Het vluchtstrookgebruik creëert een dubbele uitvoeger vanaf de hoofdrijbaan.	Geen.
02	De vluchtstrook is geopend voor de rijrichting rechtdoor, rechtsaf is er alleen de reguliere strook. De geopende vluchtstrook rechtdoor loopt over de uitvoegstrook voor rechtsaf slaand verkeer heen.	Onduidelijke situatie. Verkeer dat rechtsaf wil, moet voorsorteren op de vluchtstrook. Volgen van de bebording leidt er echter juist toe dat het verkeer op de linker strook terecht komt; dit kan tot gevaarlijke situaties leiden.
03	Openstelling van de vluchtstrook op een weefvak is niet mogelijk: het weefvak zou dan een taper worden. Afsluiting is daarom noodzakelijk.	Ruimtelijk gezien geen gevolgen.
04	De geopende vluchtstrook in de groen gemarkeerde rijrichting loopt over de invoegstrook van de toeleidende weg heen.	Gevaarlijke situatie. De toeleidende weg komt direct uit op de extra aangeboden rijstrook en wordt zo een taper zonder invoegstrook.
05	Door de vluchtstrookopenstelling is er een dubbele invoeger naar de hoofdrijbaan.	Geen ruimtelijke gevolgen. Het pas later invoegen van de tweede strook moet te snel invoegen met turbulentie als gevolg voorkomen.
06	De vluchtstrook is geopend voor de rijrichting rechtsaf, rechtdoor is er alleen de reguliere strook.	Geen, de extra strook loopt rechtsaf mee en kruist daarmee geen andere stroken.
07	De geopende vluchtstrook voegt vanaf rechts in op de rangeerbaan.	Geen, de extra strook kan verder lopen over de vluchtstrook van de rangeerbaan.
08	Ter hoogte van de splitsing naar de rangeerbaan wordt de vluchtstrook opengesteld voor het verkeer dat rechtdoor over de hoofdrijbaan verder rijdt.	Duidelijker situatie dan bij punt 02, omdat verkeer dat rechtsaf wil slaan altijd al rechts zal rijden. Er is echter geen duidelijke uitvoegstrook meer.
09	De opengestelde vluchtstrook langs de hoofdrijbaan gaat bij de samenvoeging over in de rechter rijstrook.	De toeleidende weg tapert direct in en er ontstaat dus een gevaarlijke situatie.

Openstelling van de vluchtstrook levert op de meeste discontinuïteiten geen probleem op. Problematisch zijn wel de locaties 02, 04, 08 en 09: de situaties waarbij de doorgaande stroom meer capaciteit krijgt, terwijl er een weg op invoegt of vanaf uitvoegt. Paragraaf 6.3 gaat hier nader op in.

6.3 Inpassing extra strook op discontinuïteiten

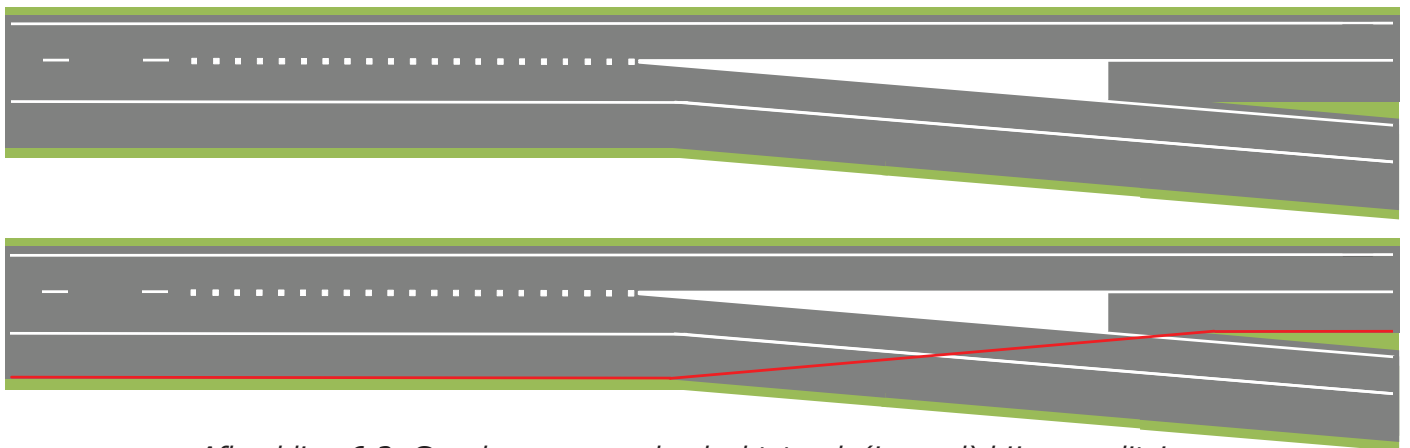
6.3.1 Probleembeschrijving

De voorgaande analyse heeft inzichtelijk gemaakt dat de inpassing van een extra strook rond een invoeging, samenvoeging, uitvoeging en splitsing voor problemen kan zorgen. Om meer inzicht te krijgen in de problemen op die locaties, zijn de ruimtelijke gevolgen voor de verschillende configuraties van de elementen nader bekeken. Voor vijf configuraties zijn de ruimtelijke gevolgen hieronder weergegeven. De standaard configuratie is weergegeven, waarbij een rode lijn is ingetekend die de geopende vluchtstrook weergeeft.



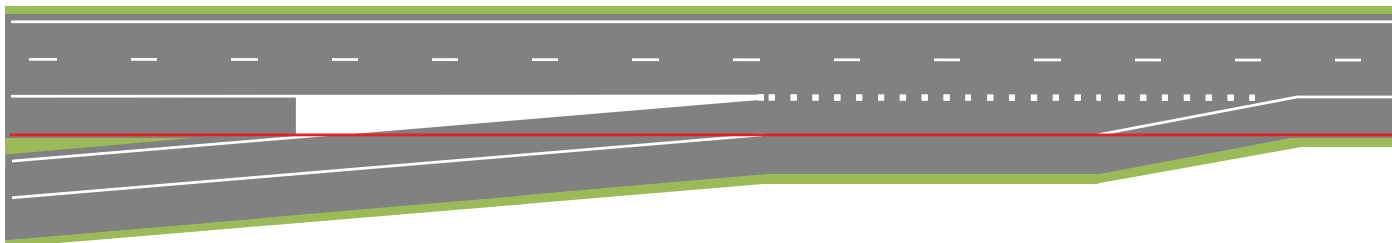
Afbeelding 6.2. Gevolgen geopende vluchtstrook (in rood) op reguliere en dubbele uitvoeger.

Bij de boven in afbeelding 6.2 aangegeven uitvoeger loopt de geopende vluchtstrook over de uitvoeger heen. Bij een dubbele uitvoeger, afbeelding 6.2 onder, blijft er dan nog één uitvoegstrook over, bij de overige varianten is er geen uitvoeger meer over.



Afbeelding 6.3. Gevolgen geopende vluchtstrook (in rood) bij een splitsing.

Bij een splitsing leidt toevoegen van een extra strook op zowel het deel voor als na het divergentiepunt (afbeelding 6.3 onder) tot het kruisen van de reguliere strook voor rechtsaf slaand verkeer. Indien de extra strook pas wordt toegevoegd na het splitsingspunt zoals in de bovenste situatie van afbeelding 6.3, speelt dit probleem niet.



Afbeelding 6.4. Gevolgen geopende vluchtstrook (in rood) op een invoeging.

Bij een in- of samenvoeging wordt de toeleidende weg een taper zonder invoegstrook, zoals afbeelding 6.4 toont. Bij hoge intensiteiten is dit zeer gevaarlijk, zoals al eerder beschreven in hoofdstuk 3.

6.3.2 Mogelijke oplossingen

De mogelijkheden om de hiervoor getoonde knelpunten aan te pakken zonder de vormgeving van het knooppunt te veranderen zijn beperkt. Bij een uitvoeging moet duidelijk zijn dat verkeer dat rechtsaf wil slaan moet voorsorteren op de rechter rijstrook. Over markering heen rijden is niet te voorkomen, al hoeft dat geen probleem te zijn getuige de positieve ervaringen die daar eerder mee zijn opgedaan bij Hoenderloo (Vermijs, 2002). Voor het toevoegen van een strook zowel voor als na de splitsing (zoals in afbeelding 6.3 boven) geldt dat het strookgebruik aangepast moet worden. Het rechtdoor rijdende verkeer moet beide reguliere stroken gebruiken, de vluchtstrook zou in gebruik moeten komen voor het rechtsaf slaande verkeer. Zie afbeelding 6.5.



Afbeelding 6.5. Alternatief vluchtstrookgebruik (in rood) bij een splitsing.

Het gevaarlijke intaperen bij een in- of samenvoeging is zonder fysieke aanpassingen maar op één manier te voorkomen: de toeleidende weg laten invoegen via de vluchtstrook. Zie afbeelding 6.6.

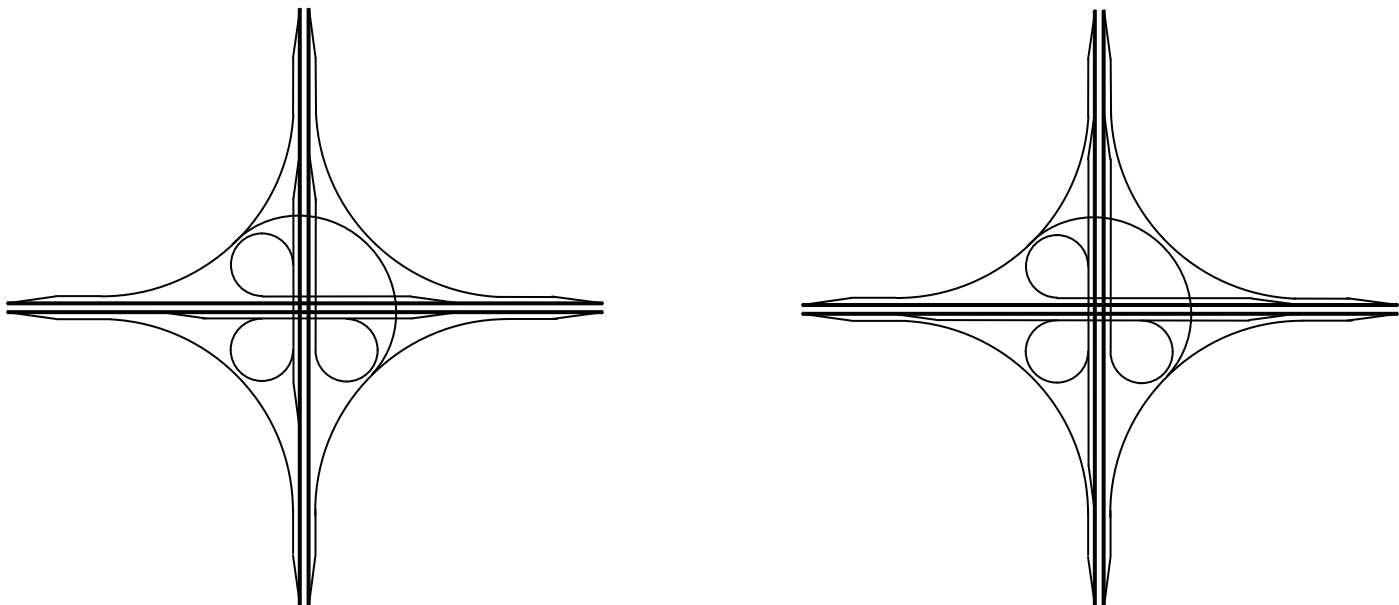


Afbeelding 6.6. Vluchtstrookgebruik op de hoofdrijbaan in combinatie met invoegen via de vluchtstrook.

Met de hierboven genoemde maatregelen, kan worden getracht de moeizame inpassing op deze discontinuïteiten soepeler te laten verlopen. Een echt overzichtelijke en simpele verkeerssituatie ontstaat er echter niet door: met tekstkarren wordt niet alleen meer capaciteit vrijgegeven, maar ook een ander strookgebruik aangegeven dan de reguliere bebording doet. Daarom zou het nog beter zijn het knooppunt zo in te richten dat de problematische locaties 02, 04, 08 en 09 uit afbeelding 6.1 vervallen.

Voor de locaties 08 en 09 op de hoofdrijbaan kan dit alleen door het gebruiken van een vluchtstrook aan de linkerzijde van de rijbaan. Die zal echter vrijwel nooit aanwezig zijn: een dergelijke strook werd in het oude ROA uit 1975 alleen voorgeschreven vanaf vier rijstroken per richting. De kans dat bij zoveel stroken het nog zinvol en noodzakelijk is in het knooppunt de vluchtstrook te openen, is uiterst klein. In de nieuwere richtlijnen (NOA 2007, ROA 2010) is deze eis ook niet meer opgenomen. Een vluchtstrook aan de linkerzijde komt dus vrijwel niet meer voor.

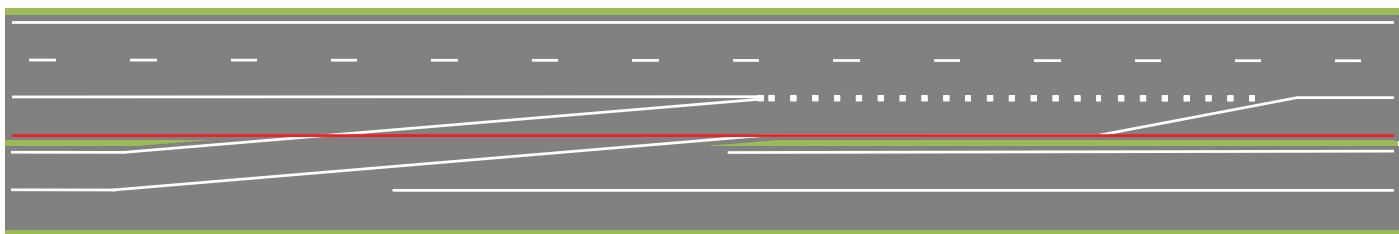
Wegnemen van de locaties 02 en 04 op de rangeerbanen is wel goed mogelijk. De al genoemde doorsteek neemt het probleem op die locaties namelijk weg. Er dienen dan doorsteken gemaakt te worden tussen de rangeerbaan en de hoofdrijbaan. Afbeelding 6.7 op de volgende pagina toont het eerder getoonde knooppunt na het maken van deze doorsteken.



Afbeelding 6.7. Knooppunt met doorsteken (links) en zonder doorsteken (rechts).

Vrijwel alle knelpunten zijn weggenomen. Alleen het gemeenschappelijke gedeelte vanuit het zuiden is blijven bestaan, omdat een doorsteek aldaar minder eenvoudig te realiseren is. De afstand tussen de hoofdrijbaan en de rangeerbaan is groot en er is sprake van hoogteverschil. Grotere ingrepen zijn daar nodig om de doorsteek te kunnen maken.

Bij het maken van doorsteken zijn twee kanttekeningen te plaatsen. De eerste speelt alleen als zowel een capaciteitsuitbreiding op de hoofdrijbaan als op de verbindingsweg nodig kan zijn. Een doorsteek gaat in veel gevallen namelijk ten koste van de vluchtstrook; bij een geopende vluchtstrook langs de hoofdrijbaan zou verkeer vanaf de doorsteek dus toch gedwongen moeten intaperen op de rechter strook van de hoofdrijbaan. Zie afbeelding 6.8.



Afbeelding 6.8. Vluchtstrookgebruik bij een doorsteek.

Om in deze gevallen alsnog de mogelijkheid te hebben beide richtingen extra capaciteit te bieden, zou de doorsteek dan toch dynamisch inzetbaar moeten zijn. In een reguliere situatie is de doorsteek dan geopend en wordt de 'oude' route met barriers afgezet of andersom. Zodra openstelling van de extra strook nodig is, verplaatst een actieteam de barriers en rijdt het verkeer over de andere route.

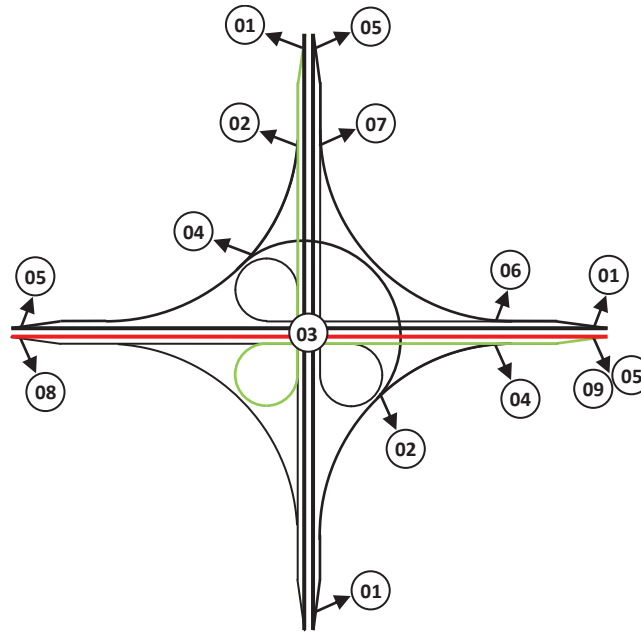
Een tweede opmerking die geldt voor het uitvoegen bij een doorsteek is, dat de gewenste openstelling van de vluchtstrook op 1.000 meter voor het uitvoegen nu niet mogelijk zal zijn. Pas vanaf het moment dat de rechtsaf slaande verkeersstroom is uitgevoerd, zou de vluchtstrook geopend kunnen worden voor de linksaf slaande stroom. Daar staat tegenover dat er minder verkeer tegelijk uitvoegt en onduidelijke verkeerssituaties voorkomen worden. De doorsteek verdient om die reden toch de voorkeur in situaties waarbij linksaf-bewegingen in het knooppunt meer capaciteit nodig hebben.

Al met al is de conclusie te trekken dat de inpassing van vluchtstrookgebruik enige aandachtspunten oplevert. Het maken van doorsteken tussen de rangeerbaan en hoofdrijbaan zorgt ervoor, dat verschillende onduidelijke verkeerssituaties vervallen. In principe kunnen deze doorsteken statisch gemaakt worden, tenzij de hoofdrijbaan ook meer capaciteit moet kunnen krijgen. In die situaties zou de doorsteek dynamisch inzetbaar moeten zijn.

6.4 Overige gevolgen

Naast ruimtelijke gevolgen, kan het instellen van een maatregel ook overige gevolgen hebben. Prioriterende maatregelen kunnen elkaar dusdanig versterken, dat er hinder ontstaat voor verkeer tot ver buiten het knooppunt. Deze problematiek treedt op bij de maatregelen die capaciteitsbeperkend werken: de dynamische samenvoeging, dynamische taper en de afsluiting van een verbindingsweg.

Om het verband dat tussen deze maatregelen kan optreden te verklaren, toont afbeelding 6.9 nogmaals het eerder besproken knooppunt. Als voorbeeld geldt een situatie, waarbij de omleidingsstroom van noord naar oost prioriteit krijgt boven het verkeer van west naar oost, de indirecte verbindingsweg van noord naar oost extra capaciteit krijgt en er sprake is van onvoldoende capaciteit op het wegvak richting oosten.



Afbeelding 6.9. Geprioriteerde omleidingsstroom waarop de vluchtstrook is geopend (in groen), de ondergeschikte rijrichting waarop file ontstaat (in rood) en discontinuïteiten (genummerd).

Als prioriteringsmaatregel, zal bij locatie 05 een dynamische samenvoeging worden ingesteld. Het verkeer van west naar oost krijgt dan minder capaciteit en er ontstaat congestie. Omdat het weefvak van west naar oost ook is afgesloten als gevolg van de capaciteitsuitbreiding op de verbindingsweg, wordt de verkeersstroom van west naar oost echter nog groter dan normaal. Dit zal leiden tot grote hinder voor alle verkeer uit het westen. Dit kan een keuze zijn, maar er dient wel te worden bedacht dat het instellen van deze maatregelen tegelijk een negatieve uitwerking zal hebben op dezelfde verkeersstroom.

6.5 Toegevoegde waarde

Een laatste aspect dat van belang is, betreft de toegevoegde waarde van een maatregel. In een rijrichting over een knooppunt kunnen meerdere beperkende elementen zitten. Om de afwikkeling van het omgeleide verkeer dan daadwerkelijk te verbeteren, heeft het de voorkeur al die elementen aan te pakken. Als maar op een deel van die elementen een uitbreiding van de capaciteit plaatsvindt, terwijl de andere ongemoeid blijven, zal er toch congestie ontstaan.

Het treffen van maatregelen in het bovengenoemde geval is wel zinvol als daarmee het maatgevende element, dus het element met de hoogste i/c -verhouding, meer capaciteit krijgt. Ook als elders in het knooppunt dan nog een flessenhals aanwezig is, verkort deze maatregel de wachttijd. De meest beperkende factor wordt immers weggelaten, zodat een ander, minder beperkend element het nieuwe maatgevende punt wordt.

Het ingrijpen op een ander knelpunt zonder het maatgevende punt te veranderen, heeft maar in bepaalde gevallen een positief effect op de afwikkeling van de omleidingsstroom. In principe blijft de maatgevende capaciteit dan tenslotte gelijk. De enige vooruitgang bestaat in die situatie uit het bieden van meer bufferruimte, iets wat niet bijdraagt aan een betere afwikkeling van het omleidingsverkeer en dus ook niet aan het doel van dit onderzoek. Uitzondering hierop vormt de situatie waarbij achter het maatgevende element eerst een knooppuntelement met een lagere i/c -verhouding (bezetting) volgt en daarna weer een nieuw knelpunt. Het verkeer krijgt in die situatie namelijk na het eerste knelpunt met een tweede file te maken en wegnemen daarvan draagt wel bij aan een betere verkeersafwikkeling.

6.6 Conclusie

De analyse van ruimtelijke combineerbaarheid heeft aan het licht gebracht dat de dynamische taper geen alternatief kan zijn voor vluchtstrookgebruik op hetzelfde element en dus slechts in specifieke situaties toepasbaar is. Maatregelen die bestaan uit openstelling van de vluchtstrook zijn doorgaans goed combineerbaar, al verdient de inpassing bij in-/uitvoeringen in het knooppunt aandacht. Doorsteken in statische of dynamische vorm kunnen hierbij soelaas bieden.

Andere maatregelen kennen minder aandachtspunten. Informeren van weggebruikers op DRIP's of tekstkarren en het instellen van een verbod op rijstrookwisseling is altijd mogelijk. De afsluiting van een verbindingsweg en maatregelen die prioriteren kennen ruimtelijk gezien geen beperkingen. Samen zorgen ze wel voor grote negatieve gevolgen voor de ondergeschikte verkeersstroom.

De inzichten in dit hoofdstuk hebben niet geleid tot het afvallen van maatregelen die in hoofdstuk 5 nog kansrijk werden geacht, wel zijn er enkele opmerkingen bij de maatregellentabel te plaatsen:

Kansrijke en combineerbare maatregelen voor het verwerken van omleidingsverkeer per element		
Element	Maatregel	Opmerkingen
Rangeerbaan/verbindingsweg/ hoofdrijbaan	Vluchtstrookgebruik	
Invoeging: invoegstrook	Dubbele invoeger	
	Dynamische taper	berijden verdrijvingsvlak, alleen als op zichzelf staande ingreep mogelijk
	Doorsteek	gewenste ingreep om capaciteitsuitbreiding in de vorm van een dubbele invoeger in alle richtingen mogelijk te maken
In-/samenvoeging: convergentiepunt	Verbod rijstrookwisseling	
	Dynamische samen-voeging	bij wens tot prioritering invoegende stroom
Uitvoeging/splitsing	Dubbele uitvoeger	
	Doorsteek	gewenste ingreep om capaciteitsuitbreiding in de vorm van een dubbele uitvoeger in alle richtingen mogelijk te maken
Weefvak	Vluchtstrookgebruik	alleen aan rand knooppunt
	Afsluiting	
Buiten knooppunt	DRIP/tekstkar	

Verder dient bedacht te worden dat het nemen van maatregelen alleen dan bijdraagt aan een betere afwikkeling van het omleidingsverkeer, wanneer een hele rijrichting van voldoende capaciteit wordt voorzien. Indien dit niet mogelijk is, hebben maatregelen toch zin als daarmee in ieder geval het maatgevende element wordt aangepakt. Ook als achter het maatgevende element een nieuw knelpunt ontstaat, is het zinvol maatregelen te treffen om nieuwe filevorming te voorkomen.

Op basis van de in hoofdstuk 5 gekozen maatregelen en de inzichten uit dit hoofdstuk, kan nu een eerste aanbeveling voor een maatregelenpakket worden gedaan. Hoofdstuk 7 bevat deze aanbeveling.

7 Eerste aanbeveling



Op basis van de kennis en inzichten uit de vorige hoofdstukken, wordt in dit hoofdstuk een eerste aanbeveling gedaan voor een maatregelenpakket dat moet leiden tot een betere afwikkeling van omleidingsverkeer in knooppunten.

Foto: A12 voor Velperbroek

In de vorige hoofdstukken is duidelijk geworden, dat een deel van de te nemen maatregelen bestaat uit statische aanpassingen die een knooppunt voorbereiden op het verwerken van omleidingsverkeer. Daarnaast zijn er dynamische maatregelen die kunnen worden ingezet zodra het omleidingsscenario daadwerkelijk in werking treedt. Beide categorieën maatregelen worden hierna behandeld.

7.1 Statische vereisten

Uit de beoordeling in hoofdstuk 5 en de analyse van combineerbaarheid in hoofdstuk 6 zijn drie aspecten naar voren gekomen, die in statische vorm aanwezig moeten zijn om een knooppunt in te kunnen richten op omleidingsverkeer.

De eerste voorwaarde is de aanwezigheid van een vluchtstrook van minimaal 2,80 meter en liefst minimaal 3 meter breed. Bij snelwegen die voldoen aan de actuele richtlijnen (Rijkswaterstaat, 2007a) zou dat het geval moeten zijn, daarom is er bij de kostenberekeningen vanuit gegaan dat bij voorbaat al aan deze eis wordt voldaan. Waar nog geen brede vluchtstrook ligt, is aanleg hiervan noodzakelijk om het knooppunt in te kunnen richten op omleidingsverkeer.

Daarnaast geldt, specifiek voor situaties waarin de dynamische taper toepassing vindt, dat na een afgestreepte linker rijstrook voldoende verharding aanwezig moet zijn om over door te rijden. Vergroten van de capaciteit van de toeleidende weg is alleen dan mogelijk.

De derde en laatste voorwaarde is een verbod op rijstrookwisseling van links naar rechts ter hoogte van een in- en samenvoeging. Dit werkt licht capaciteitverhogend voor de invoegende stroom, is een randvoorwaarde voor enkele invoegmaatregelen en verhoogt daarnaast de verkeersveiligheid.

Naast deze drie voorwaarden, gelden er nog enkele aanbevelingen die niet strikt noodzakelijk zijn om de maatregelen uit te kunnen voeren. Deze aanbevelingen volgen in paragraaf 7.3.

7.2 Aanbevelingen voor knooppuntontwerp

Naast de in paragraaf 7.1 beschreven vereisten, zijn er nog enkele aanbevelingen ten aanzien van het knooppuntontwerp. Deze aanpassingen zijn geen absolute randvoorwaarden, maar zorgen voor een betere veiligheid of minder grote beperkingen bij een omleidingsstroom.

De eerste aanbeveling geldt voor knooppunten, die gemeenschappelijke stukken rangeerbaan voor twee in- of uitvoegende verkeersstromen kennen en waarbij de linksaf buigende beweging meer capaciteit moet kunnen krijgen. In die gevallen is het maken van doorsteken tussen de rangeerbaan en de hoofdrijbaan wenselijk. Dit zorgt voor een betere inpassing van de extra strook op de in- en uitvoegingen. In principe kan dit in een blijvende vorm gebeuren. Slechts in de situaties, waarbij ook het bieden van extra capaciteit op de hoofdrijbaan noodzakelijk kan zijn, moet uit oogpunt van veiligheid ook de oude route (van voor het realiseren van de doorsteek) berijdbaar blijven.

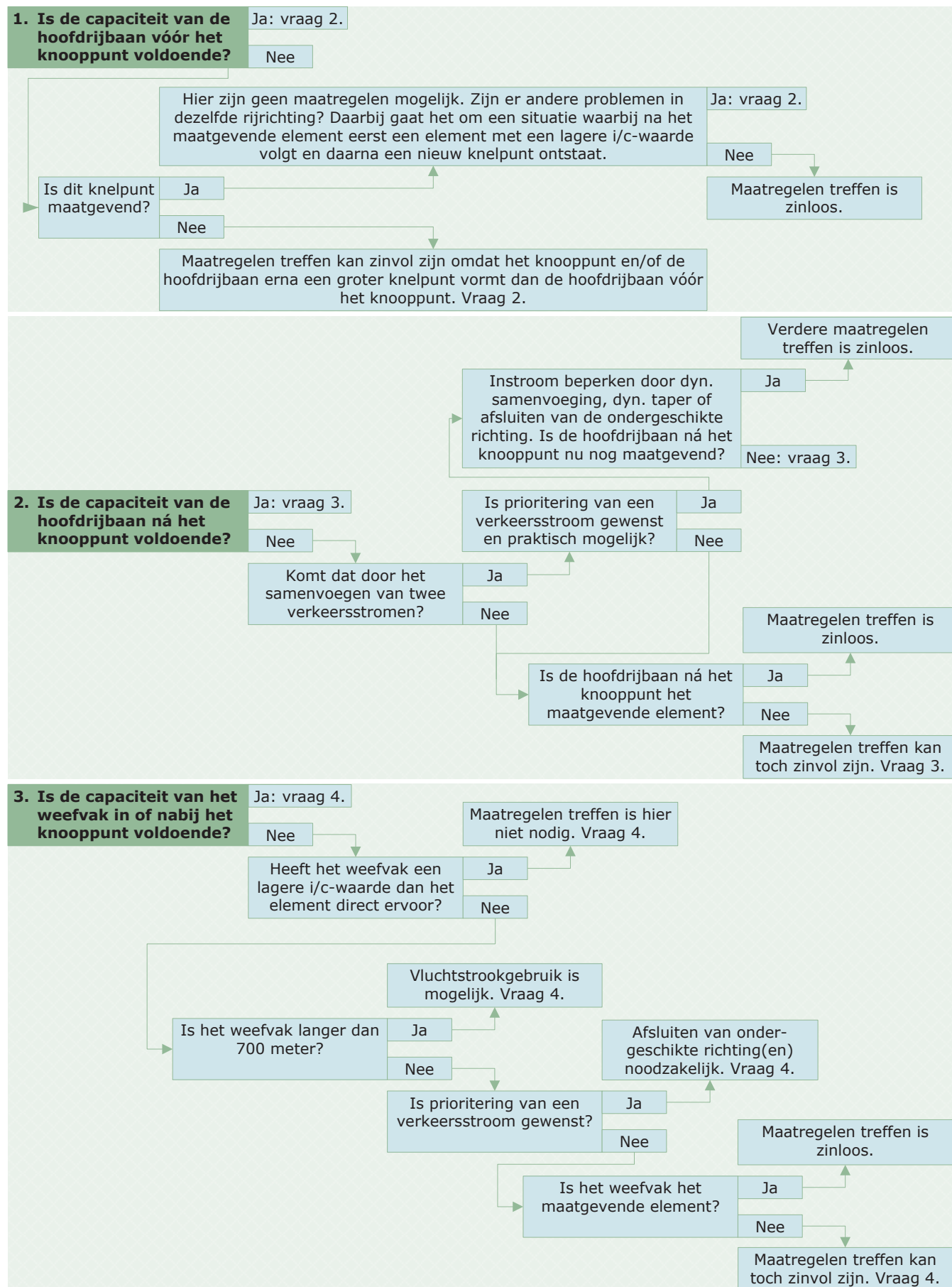
Daarnaast is het aan te bevelen in de toekomst zo min mogelijk weefvakken in knooppunten toe te passen. Bij een stijgende intensiteit op een linksaf slaande beweging in het knooppunt, leidt dit knooppuntelement tot grote beperkingen. Deze beperkingen zijn alleen aan te pakken door een afsluiting, met verregaande gevolgen voor de ondergeschikte verkeersstroom. Het verdient daarom de voorkeur weefvakken zoveel mogelijk te vermijden bij het ontwerpen of reconstrueren van knooppunten.

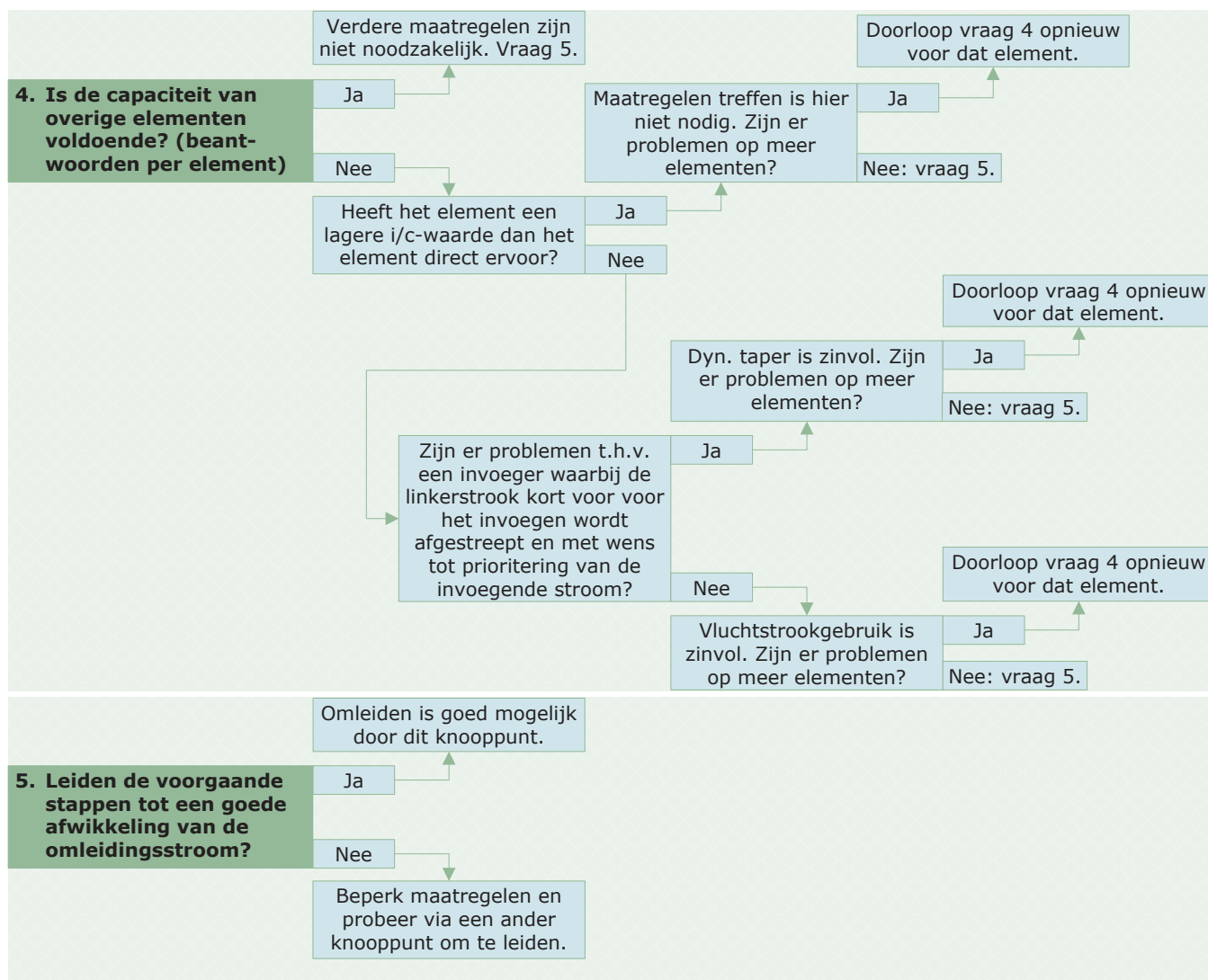
7.3 Maatregelen bij instellen scenario

Als aan de in paragraaf 7.1 genoemde vereisten wordt voldaan, kan het knooppunt met verschillende maatregelen worden ingesteld op de verkeersstroom die ontstaat bij een bepaald omleidingsscenario. Hierbij kunnen de in hoofdstuk 5 en 6 gekozen maatregelen worden ingezet. De exact te nemen maatregelen zijn afhankelijk van de verkeersstromen, de wens tot prioritering en de (capaciteit van de) aanwezige infrastructuur. Het op de volgende pagina's opgenomen stappenplan geeft inzicht in de te doorlopen acties om te komen tot de gewenste aanpak. Dit stappenplan is opgesteld op basis van enerzijds de gekozen maatregelen per element en anderzijds de analyse van toegevoegde waarde in paragraaf 6.5.

Stappenplan

Op deze beide pagina's is het stappenplan weergegeven waarmee te in te zetten dynamische maatregelen in een knooppunt geselecteerd kunnen worden. Het schema moet worden doorlopen per rijrichting waarin problemen (i/c-waarden boven 0,85) ontstaan als gevolg van een grootschalige omleiding.





Structureel optredende problemen kunnen met dit stappenplan niet aangepakt worden. Bij het bepalen of maatregelen al dan niet zinvol zijn, dienen deze structurele problemen echter wel te worden meegenomen.

De capaciteitsstijging die de maatregelen in dit stappenplan opleveren, wisselt per element. Maximaal is een stijging van 120% mogelijk.

7.4 Conclusie

Dit hoofdstuk heeft een overzicht gegeven van vereisten voor het dynamisch inzetten van knooppunten:

- een vluchtstrook van minimaal 2,80 en liefst 3 meter breed;
- genoeg verharding om bij een strookbeëindiging aan de linkerzijde toch verkeer succesvol over het verdrijvingsvlak heen af te kunnen wikkelen;
- invoeren van een verbod op rijstrookwisseling van links naar rechts ter hoogte van een invoeging.

Indien aan deze voorwaarden voldaan wordt, kan het knooppunt met behulp van het gepresenteerde stappenplan dynamisch worden ingesteld op het verwerken van omleidingsverkeer. Dit kan leiden tot maximaal 120% meer capaciteit op een element, afhankelijk van de bestaande configuratie en het type knooppuntelement.

Verder gelden de volgende twee aanbevelingen voor knooppuntontwerpen:

- maken van doorsteken tussen hoofdrijbaan en rangeerbaan ten behoeve van een veiliger inpassing van vluchtstrookgebruik op discontinuïteiten;
- in de toekomst zoveel mogelijk vermijden van weefvakken op knooppunten vanwege de geringe mogelijkheden dit element in te richten op omleidingsverkeer.

In hoeverre de in dit hoofdstuk beschreven aanbevelingen in de praktijk echt kunnen bijdragen aan een betere verkeersafwikkeling tijdens omleidingen en of de maatregelen ruimtelijk gezien passen op een knooppunt, zal in de volgende hoofdstukken worden getoetst.

8 Verkeerskundige toets: introductie



Dit hoofdstuk introduceert het netwerk en de methode voor de verkeerskundige toetsing van het in hoofdstuk 7 aanbevolen maatregelenpakket. De toetsing zelf volgt in hoofdstuk 9.

Foto: A12 Waterberg - Velperbroek

8.1 Introductie

Om te bepalen welke bijdrage het voorgestelde maatregelenpakket kan leveren aan het beter verwerken van omleidingsverkeer, zal een verkeerskundige toetsing van het pakket worden uitgevoerd. Deze toetsing bestaat uit een toepassing in een concreet netwerk, dat verderop in dit hoofdstuk nader geïntroduceerd wordt. Op basis van de verkeerskundige toetsing moet inzichtelijk worden of met het implementeren van het maatregelenpakket de doorstromingsproblemen als gevolg van calamiteiten-scenario's kunnen worden opgelost.

8.2 Netwerkbeschrijving

De verkeerskundige toets gebeurt in de zogenaamde 'acht', het snelwegennetwerk in Midden- en Oost-Nederland dat bestaat uit de A1, A12, A27, A28, A30 en A50. Zeven knooppunten verbinden de snelwegen in het netwerk, zie afbeelding 8.1. Daarnaast is er de aansluiting Barneveld, die de A1 en A30 verbindt. In deze knooppuntenstudie blijft deze aansluiting buiten beschouwing.



Afbeelding 8.1. Toetsingsnetwerk met de knooppunten.

De volgende tabel geeft inzicht in de namen van de hierboven aangegeven knooppunten.

Knooppunten in het toetsingsgebied			
Nummer	Knooppuntnaam	Snelweg 1	Snelweg 2
1	Grijsoord	A12	A50
2	Waterberg	A12	A50
3	Beekbergen	A1	A50
4	Maanderbroek	A12	A30
5	Barneveld (aansluiting)	A1	A30
6	Lunetten	A12	A27
7	Rijnsweerd	A27	A28
8	Hoevelaken	A1	A28

8.3 Calamiteitenscenario's

Voor de toetsing is een aantal scenario's opgesteld. Bij elk scenario wordt een wegvak op de hoofdrijbaan tussen twee knooppunten afgesloten, zodat het verkeer een andere route moet kiezen. Er zijn binnen het netwerk in theorie honderden scenario's mogelijk. Binnen dit onderzoek was het echter niet haalbaar en zinvol om die allemaal door te rekenen, zodat is volstaan met acht varianten. In overleg met de heren Bannink, Traag en Vermijs zijn deze zo gekozen, dat ze naar verwachting de meeste gevolgen voor de verkeersstromen op de te toetsen knooppunten hebben. Dit leidde tot de op de volgende pagina weergegeven scenario's.



Afbeelding 8.2. Scenario's in het toetsingsgebied.

Onderstaande tabel toont de exacte locaties van de afgesloten wegvakken per scenario.

Scenario's toetsingsgebied	
Scenario	Afgesloten wegvak
1a	A1 Hoevelaken -> Barneveld
1b	A1 Barneveld -> Hoevelaken
2a	A50 Schaarsbergen -> Hoenderloo
2b	A50 Hoenderloo -> Schaarsbergen
3a	A12 Wageningen -> Oosterbeek
3b	A12 Oosterbeek -> Wageningen
4a	A12 Bunnik -> Driebergen
4b	A12 Driebergen -> Bunnik

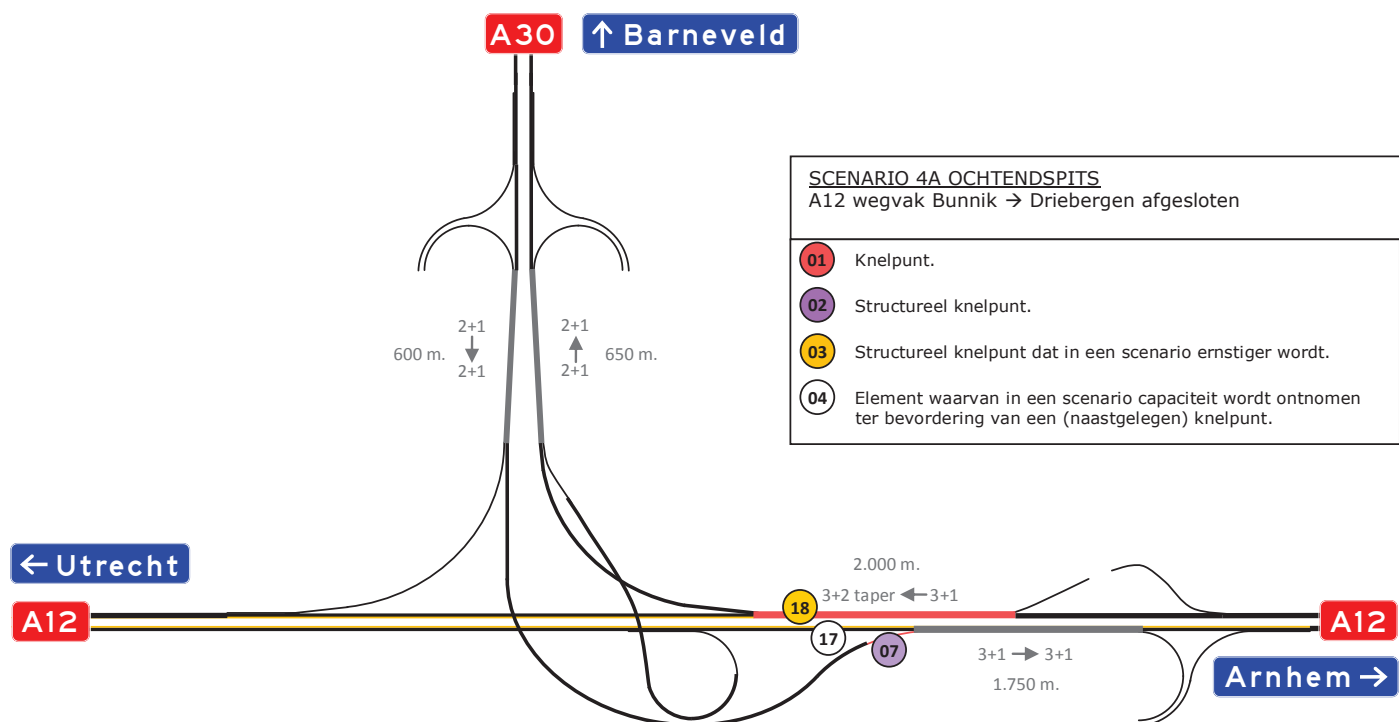
8.4 Toetsingsmethode

De toetsing van het maatregelenpakket gebeurt door capaciteiten van knooppuntelementen af te zetten tegen verkeersintensiteiten in de reguliere situatie en verschillende scenario's. Dit levert verhoudingen tussen intensiteit en capaciteit op, de i/c-waarden. Een element is als knelpunt aangemerkt bij een i/c-waarde hoger dan 0,85: dan gaat er over het algemeen congestie ontstaan.

Het in kaart brengen van de i/c-verhoudingen in de reguliere situatie, het 'nulscenario', gebeurt om inzichtelijk te maken welke knelpunten er structureel zijn. Deze problemen mogen met de voorgestelde maatregelen niet aangepakt worden. De maatregelen zijn immers gericht op incidenteel gebruik en voldoen daarom niet aan alle (veiligheids)eisen die gelden voor permanent gebruik, zie ook hoofdstuk 5. De i/c-waarden in de scenario's maken duidelijk welke extra knelpunten er ontstaan als gevolg van de omleiding. Dit zijn de elementen die met de geselecteerde maatregelen aangepakt moeten worden. Onder deze knelpunten kunnen overigens zowel nieuwe elementen vallen als structurele probleemlocaties, die als gevolg van de omleiding nog zwaarder belast worden dan normaal.

Na het bepalen van intensiteiten, capaciteiten en i/c-verhoudingen, is per rijrichting waarop knelpunten ontstaan in de scenario's het stappenplan uit hoofdstuk 7 toegepast. Met behulp van dit stappenplan zijn per rijrichting de te nemen maatregelen bepaald. Daarna zijn de capaciteitswijzigingen die deze maatregelen opleveren doorgevoerd en zijn de i/c-waarden voor de betreffende elementen aangepast aan deze nieuwe capaciteiten. Zo bleek of de doorstromingsproblemen al dan niet opgelost kunnen worden met het maatregelenpakket.

Ter illustratie van de hiervoor beschreven methode, volgt op de volgende pagina een voorbeeld van de toetsing naar aanleiding van een scenario op knooppunt Maanderbroek.



Afbeelding 8.3. Knooppunt Maanderbroek, scenario 4a, ochtendspits.

De bovenstaande afbeelding toont knooppunt Maanderbroek, waarbij de voor dit scenario relevante elementen met genummerde bollen zijn aangegeven. Overige elementen zijn niet opgenomen, omdat ze geen problemen opleveren en niet van belang zijn voor te nemen maatregelen. De i/c-waarden van de drie genummerde elementen zijn in de volgende tabel weergegeven.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, scenario 4a, ochtendspits 2020	
7	1,10
17	0,32
18	0,86

Er zijn twee knelpunten: een structureel knelpunt op weefvak 18 in de rijrichtingen van oost naar west en van oost naar noord en een nieuw knelpunt in dit scenario op verbindingsweg 07 van noord naar oost. Omdat structurele problemen met het maatregelenpakket niet aangepakt mogen worden, gaat de aandacht alleen uit naar de rijrichting van noord naar oost. Voor deze rijrichting wordt het stappenplan uit hoofdstuk 7 doorlopen. Zie de volgende tabel.

Uitvoering stappenplan voor knooppunt Maanderbroek, scenario 4a, ochtendspits 2020		
Vraag	Antwoord	Vervolgactie
1: Is de capaciteit van de hoofdrijbaan voor het knooppunt voldoende?	Ja	Ga naar vraag 2
2: Is de capaciteit van de hoofdrijbaan na het knooppunt voldoende?	Ja	Ga naar vraag 3
3: Is de capaciteit van het weefvak in of nabij het knooppunt voldoende?	Ja	Ga naar vraag 4
4: Is de capaciteit van overige elementen voldoende?	Nee	Vraag hieronder
Heeft het element een lagere i/c-waarde dan het element direct ervoor?	Nee	Vraag hieronder
Zijn er problemen t.h.v. een invoeger waarbij de linkerstrook kort voor het invoegen wordt afgestreept en met wens tot prioritering van de invoegende stroom?	Ja	Dynamische taper is zinvol + vraag hieronder
Zijn er problemen op meer elementen?	Nee	Ga naar vraag 5
5: Leiden de voorgaande stappen tot een goede afwikkeling van de omleidingsstroom?	Zie volgende pagina	

Op basis van het stappenplan, is het instellen van een dynamische taper op element 07 dus aan te raden. Dit leidt tot een hogere capaciteit op element 07 en een lagere op element 17.

Het aanpassen van de capaciteiten op de elementen 07 en 17 leidt tot de volgende i/c-verhoudingen. De groene waarde bij element 07 staat voor een verbetering ten opzichte van de oude situatie, de rode bij element 17 staat voor een verslechtering ten opzichte van de oude situatie.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, scenario 4a, ochtendspits 2020, na nemen maatregelen	
7	0,52
17	0,47
18	0,86

De bovenstaande tabel toont, dat het instellen van de dynamische taper leidt tot een oplossing van het knelpunt op element 07, zonder dat dit zorgt voor een nieuw knelpunt op element 17. Vraag 5 van het stappenplan kan dan ook met "ja" beantwoord worden, waarmee het omleiden van verkeer in deze rijrichting goed mogelijk is in dit scenario.

Een belangrijke vraag is of de kosten van de te nemen maatregel opwegen tegen de voordelen die het oplevert vanwege de reductie van het aantal voertuigverliesuren. In de toetsing in het volgende hoofdstuk is dit niet nader uitgewerkt, omdat het voor succesvol omleiden en het terugbrengen van de voertuigverliesuren noodzakelijk is de doorstroming in het hele netwerk, ook buiten de knooppunten, op peil te hebben. Om toch een indicatie van de verhouding tussen kosten en baten te hebben, is dit voor het hierboven beschreven voorbeeld wel gedaan. De maatregel kost € 2.640 per 12 uur, wat tegenover het eerder genoemde schadebedrag van € 100.000 als gevolg van één incident (zij het op een andere locatie) gering te noemen is.

8.5 Herkomst gegevens

In het in paragraaf 8.4 besproken voorbeeld, worden diverse gegevens gebruikt. De intensiteiten zijn afkomstig uit het verkeersmodel NRM Oost-Nederland 2004, prognosejaar 2020. Dit model maakt onderscheid tussen ochtendspits, avondspits en restdag en bij voertuigcategorieën tussen auto en vracht. Voor alle perioden en categorieën deelt het model toe volgens de 'alles-of-niets'-methode, wat inhoudt dat het geen rekening houdt met wegcapaciteiten. Dit maakt inzichtelijk hoeveel verkeer echt via een route wil rijden. Een capaciteitsgevoelige toedeling zou verkeer bij het bereiken van de capaciteit gaan toedelen via andere routes en dat moet nu juist worden voorkomen. Aan de andere kant betekent het ook dat het model veel verkeer via het onderliggend wegennet kan gaan toedelen, als dat de snelste route is. Uit overleg met de heer Bannink, beheerder van het NRM Oost-Nederland bij Rijkswaterstaat, is gebleken dat dit toch de best mogelijke optie is om een beeld te krijgen van de omleidingsstromen. Waar bekend is dat verkeer onterecht via het onderliggend wegennet wordt toegedeeld, is hiervoor gecorrigeerd door doorgaand verkeer handmatig op de elementen van de autosnelweg toe te voegen. Deze situatie speelt bij knooppunt Beekbergen in de richting van noord naar oost.

Aanvankelijk was het de bedoeling om de toetsing toe te passen op alle knooppunten in het netwerk. In het model zijn de knooppunten Lunetten en Rijnsweerd echter te grof opgenomen om per element de intensiteiten te bepalen: zo missen er verbindingswegen. De toetsing is daarom beperkt tot de knooppunten Hoevelaken, Grijsoord, Waterberg, Maanderbroek en Beekbergen.

Naast de intensiteiten, moeten ook de knooppuntcapaciteiten helder zijn om te kunnen toetsen. Deze capaciteiten zijn voor 2020 bepaald om aan te sluiten bij het jaar van de verkeersprognose. Toekomstplannen die volgens de planning op het moment van schrijven (mei 2012) voor 2020 gerealiseerd worden, zijn dus meegenomen bij de capaciteitsbepaling.

Normaliter gelden als capaciteitswaarden de getallen uit het CIA. In Oost-Nederland blijken deze capaciteiten echter niet haalbaar, zoals in hoofdstuk 3 beschreven. Binnen de dienst Oost-Nederland zijn voor veel knooppuntelementen eigen waarden bepaald, die gemiddeld 4% onder de CIA-getallen liggen. De overige capaciteiten zijn bepaald door de CIA-getallen met 4% te verlagen, behalve bij de weefvakken. Het CIA geeft weefvakcapaciteiten naar gelang het percentage wevend verkeer, terwijl het in het model niet mogelijk was die percentages te bepalen. In overleg met de heer Vermijs, die simulatie-onderzoek heeft uitgevoerd naar weefvakcapaciteiten, is daarom een andere maatstaf gekozen: de capaciteit van het aantal rijstroken minus een halve rijstrook. Doorgaans is dit een goede benadering van de capaciteit. Bijlage 3 bevat een overzicht van de gebruikte capaciteitswaarden.

De aangepaste capaciteitswaarden als gevolg van de genomen maatregelen, zijn eveneens bepaald met behulp van de in de vorige alinea besproken capaciteitswaarden. Na het toevoegen van een strook op een verbindingsweg met één strook, is de capaciteit van de weg dus gewijzigd in die van een verbindingsweg met twee stroken.

8.6 Prioritering

Bij enkele maatregelen is de gewenste prioritering in het netwerk van belang. De reguliere prioritering van het hoofdwegennetwerk is hieronder weergegeven.



Afbeelding 8.4. Wegcategorisering Rijkswaterstaat, 7 juni 2011.

De vraag is of de prioritering moet wijzigen tijdens een calamiteit. Uit een gesprek met de heren Touw en Van Westing, verkeersmanagers bij de dienst Oost-Nederland, is gebleken dat hier geen beleid voor is geformuleerd. Bij de toetsing zijn daarom in voorkomende gevallen zowel de gevolgen van wel als niet prioriteren inzichtelijk gemaakt. Welke keuze bij het optreden van een calamiteit gemaakt wordt, is voor het toetsen van het concept niet van belang.

8.7 Uitgangspunten toetsing

Aanvullend op de beschreven methode, zijn er nog enkele uitgangspunten gehanteerd. Het eerste punt betreft een hogere intensiteit op structurele knelpunten, zoals in paragraaf 8.2 benoemd. Na het doorrekenen van de modellen bleek dat dit begrip enige nuance behoeft. Het model geeft soms namelijk verkeerstoenames van enkele pae's over een gehele periode; het is dan niet reëel te stellen dat het wegvak echt een zwaardere belasting krijgt. Er is daarom voor gekozen alleen toenames van meer dan 100 pae in een dagdeel te klasseren als 'zwaardere belasting'.

Een tweede aspect volgt uit de alles-of-niets-toedeling van het model. Er kunnen zo i/c-verhoudingen van boven de 1,0 optreden, met andere woorden: het model deelt meer verkeer toe dan er fysiek op de weg past. In werkelijkheid zal dit natuurlijk nooit het geval zijn. Daarom is in voorkomende gevallen de intensiteit teruggebracht tot de waarde waarvoor geldt $i/c = 1,00$. De lagere hoeveelheid inkomend verkeer is ook doorgerekend naar eventuele andere knelpunten in dezelfde rijrichting.

Tot slot zijn toe- en afritten waar het model een overbelasting op aangeeft buiten beschouwing gelaten. Dergelijke knelpunten kunnen weliswaar gevolgen hebben voor de doorstroming op de hoofdrijbaan, maar het aanpakken ervan is niet mogelijk met de voorgestelde maatregelen. Het maatgevende punt is veelal het kruispunt aan het einde van de afrit en daarvoor zijn geheel andere maatregelen van toepassing dan in een autosnelwegknooppunt.

8.8 Conclusie

Dit hoofdstuk heeft inzicht gegeven in het netwerk, de gebruikte toetsingsmethode en de gehanteerde uitgangspunten. Hoofdstuk 9 bevat de daadwerkelijke toetsing van de maatregelen op de knooppunten in het netwerk.

9 Verkeerskundige toets: toetsing



Nur de eerste aanbeveling voor het maatregelenpakket en de toetsingsmethode bekend zijn, kan de verkeerskundige toetsing worden uitgevoerd. Dit hoofdstuk bevat deze toetsing volgens de in hoofdstuk 8 beschreven methode.

Foto: aankondigingsbord knooppunt Waterberg op de A12

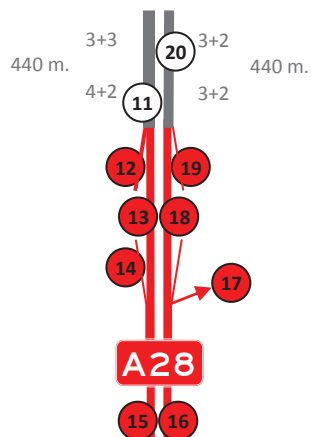
9.1 Introductie opzet hoofdstuk

Om de maatregelen te toetsen op een knooppunt, dient van alle knooppuntelementen de capaciteit afgezet te worden tegen de verwachte verkeersintensiteiten. Dit gebeurt in de drie dagdelen van het model (ochtendspits, avondspits en restdag) voor enerzijds de reguliere situatie (om de structurele knelpunten inzichtelijk te maken) en anderzijds de acht opgestelde scenario's, in vijf knooppunten. Dit levert een forse hoeveelheid data op, waarvan een groot deel geen nieuwe inzichten biedt. Voor de leesbaarheid van dit hoofdstuk is er daarom voor gekozen hier alleen in te gaan op de toetsing op de knooppunten Hoevelaken, Maanderbroek en de combinatie Grijsoord/ Waterberg. Deze locaties hebben de meeste inzichten geboden. De toetsing van de overige knooppunten is opgenomen in bijlage 4.

De knooppunten bestaan uit verschillende elementen, met allemaal een eigen capaciteit en intensiteit. Ten behoeve van de analyse, zijn de elementen allemaal genummerd. Deze nummering is per knooppunt apart gemaakt, bij ieder knooppunt is dus begonnen met nummer 01. Dit betekent dat element 01 van een bepaald knooppunt niets van doen heeft met element 01 van een ander knooppunt. De afbeeldingen en tabellen in het rapport bevatten alleen de knooppuntelementen waar knelpunten op ontstaan of waar maatregelen gevolgen voor hebben. De overige elementen zijn niet van belang voor de toetsing en zijn daarom niet opgenomen.

9.2 Knooppunt Hoevelaken

De eerste toetsing van het maatregelenpakket gebeurt op knooppunt Hoevelaken. Van dit knooppunt is de afrit aan de zuidzijde niet correct opgenomen in het NRM 2004, zodat de gegeven intensiteiten voor de elementen ten zuiden van de weefvakken – zie afbeelding 9.1 – niet correct zijn. Daarom zijn knelpunten op die locaties niet meegenomen in de toetsing.

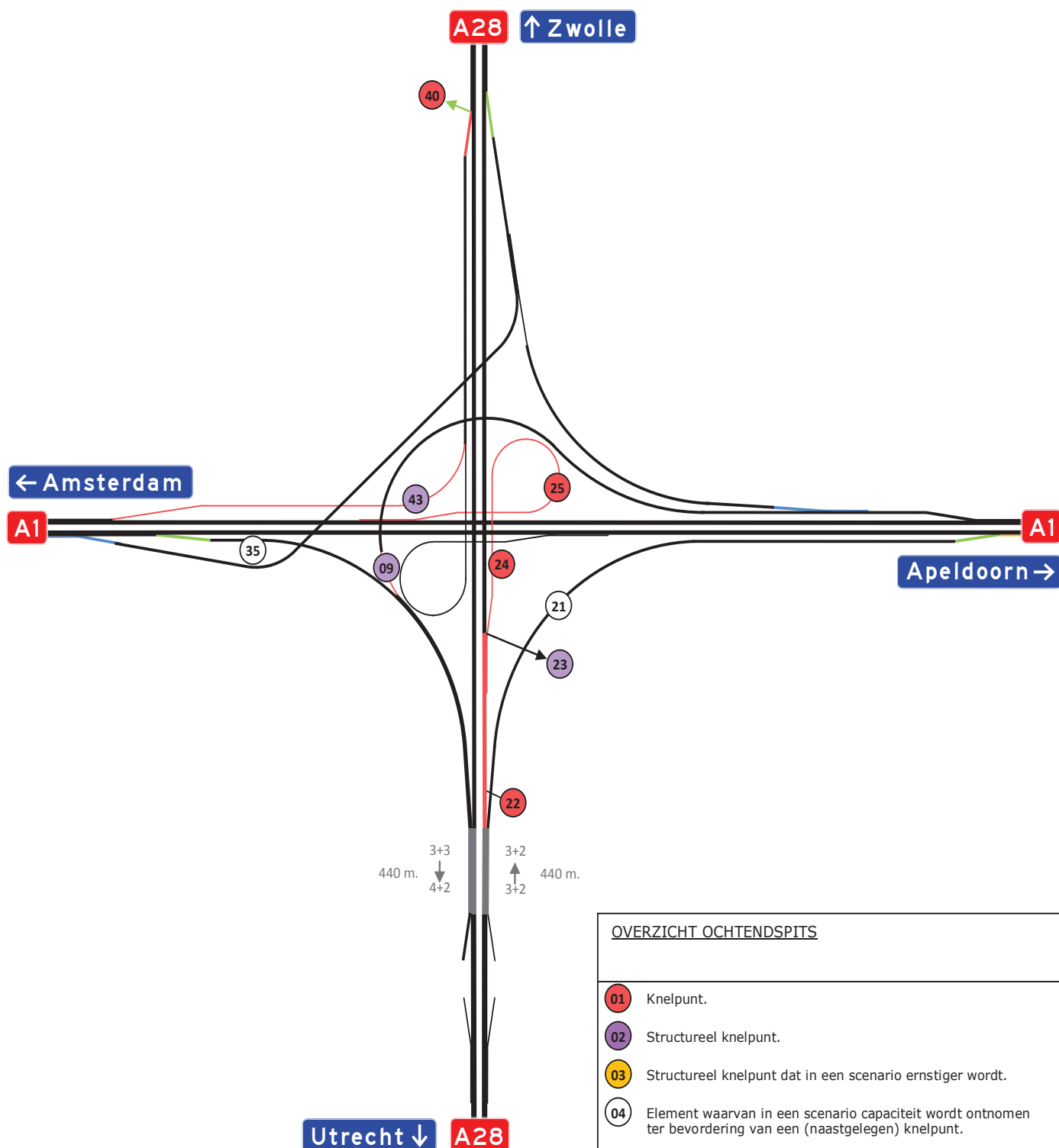


Afbeelding 9.1. Vervallen elementen knooppunt Hoevelaken (in rood).

De volgende pagina's gaan in op de toetsing van de overige elementen in het knooppunt.

Ochtendspits

De afbeelding hieronder toont de configuratie voor het jaar 2020. De locaties waarop bij een of meer scenario's knelpunten optreden zijn in de afbeelding opgenomen, evenals twee locaties die van belang zijn met het oog op de te nemen maatregelen. De kleuren van de knelpunten corresponderen met die van de i/c-verhoudingen in de tabel op de volgende pagina. Kaartjes met de knelpunten per scenario zijn opgenomen in bijlage 5.



Afbeelding 9.2. Doorstromingsknelpunten knooppunt Hoevelaken ochtendspits 2020.

De tabel op de volgende pagina toont de i/c-waarden van de genummerde elementen voor de ochtendspits.

I/c-verhoudingen knooppunt Hoevelaken, ochtendspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
09	0,94	0,94	0,00	0,94	1,06	0,94	0,99	0,94	0,99
21	0,42	0,00	0,42	0,57	0,42	0,44	0,42	0,44	0,42
22	0,50	0,51	0,88	0,54	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52
23	0,88	0,88	2,59	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,96
24	0,58	0,58	1,73	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,64
25	0,73	0,73	2,16	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,80
35	0,21	0,58	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,20
40	0,79	0,61	0,85	0,79	0,88	0,78	0,79	0,79	0,79
43	1,02	1,02	1,11	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02

Geel: structurele knelpunten

Rood: nieuwe knelpunten

Paars: structurele knelpunten die door de omleiding een nog groter probleem vormen

De verkeersstromen in de scenario's 1b, 2b, 3b en 4b leiden tot problemen. Voor deze stromen is per rijrichting het stappenplan uit hoofdstuk 7 doorlopen, met de volgende maatregelen als resultaat.

• Scenario 1b:

- In de richting van noord naar west krijgt verbindingsweg 43 een grotere belasting te verwerken. Andere problemen treden niet op, openen van de vluchtstrook is daarom de passende oplossing.
- In de richting van zuid naar west leveren de elementen 22-25 problemen op, waarbij de uitvoeger 23 maatgevend is. Ook hier is er geen capaciteitsgebrek voor of na het knooppunt en geen weefvak, zodat vluchtstrookgebruik op alle elementen (22-25) aan te raden is. Omdat verkeer aan het begin van element 22 dan gebruik maakt van de linker strook van de tapersplitsing naar nummer 21, zal de capaciteit van 21 dan wel dalen met maximaal 1.500 pae (de capaciteit van een uitvoegstrook).

• Scenario 2b:

- Element 40 is een knelpunt in de richtingen van noord naar oost en west. De hoofdrijbaan heeft voldoende capaciteit en er is geen weefvak, zodat vluchtstrookgebruik de juiste keuze is.
- In de richting van oost naar zuid levert element 09 een ernstiger probleem op dan normaal, verder zijn er geen knelpunten. Alleen met wens tot prioritering is het mogelijk een maatregel te treffen: het doortrekken van de afvallende strook op element 09 ten koste van een rijstrook op element 35.

• Scenario 3b: in de richting van oost naar zuid speelt hetzelfde probleem als bij scenario 2b.

- Scenario 4b: wederom geldt het al beschreven probleem op element 09. Daarnaast levert in de richting van zuid naar west de uitvoeger nummer 23 een groter knelpunt op dan normaal. Verdere knelpunten zijn er in die richting niet. Het stappenplan beveelt dan vluchtstrook aan.

De maatregelen leiden tot gewijzigde i/c-verhoudingen. Onderstaande tabel toont deze; groene getallen staan voor een verbetering en rode voor een verslechtering ten opzichte van de oude situatie.

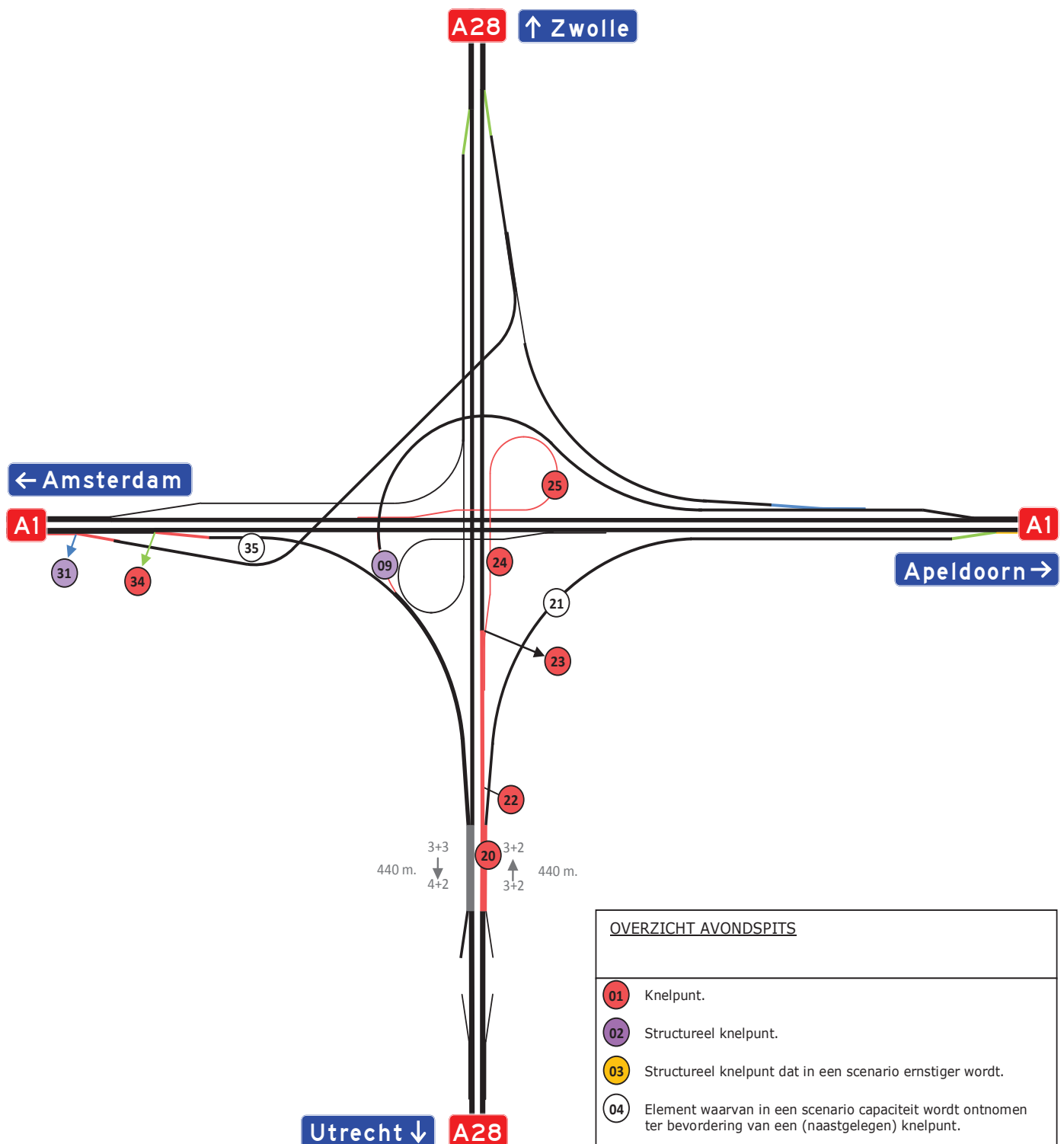
I/c-verhoudingen knooppunt Hoevelaken, ochtendspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
09	0,94	0,94	0,00	0,94	0,50	0,94	0,47	0,94	0,47
21	0,42	0,00	0,62	0,57	0,42	0,44	0,42	0,44	0,42
22	0,50	0,51	0,66	0,54	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52
23	0,88	0,88	1,04	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,48
24	0,58	0,58	0,82	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,64
25	0,73	0,73	1,08	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,80
35	0,21	0,58	0,21	0,21	0,43	0,21	0,43	0,22	0,43
40	0,79	0,61	0,85	0,79	0,63	0,78	0,79	0,79	0,79
43	1,02	1,02	0,53	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02

In de scenario's 2b, 3b en 4b kunnen de problemen geheel worden weggenomen, in scenario 1b blijft er in de richting van zuid naar west een knelpunt bestaan. De maatgevende capaciteit is echter wel duidelijk verhoogd, zodat de afwikkeling toch bevorderd wordt.

Knooppunt is *knelpunt*?

Avondspits

De afbeelding hieronder toont wederom knooppunt Hoevelaken, maar nu in de situatie voor de avondspits. De knelpunten die in een of meerdere scenario's optreden zijn weer aangegeven, bijlage 5 bevat afbeeldingen per scenario.



Afbeelding 9.3. Doorstromingsknelpunten knooppunt Hoevelaken avondspits 2020.

De i/c-waarden voor de relevante knooppuntelementen in de avondspits zijn in de tabel op de volgende pagina weergegeven.

I/c-verhoudingen knooppunt Hoevelaken, avondspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
09	0,91	0,91	0,00	0,91	1,02	0,91	0,95	0,91	0,95
20	0,69	0,47	0,90	0,79	0,69	0,70	0,69	0,70	0,69
21	0,49	0,00	0,49	0,66	0,49	0,51	0,49	0,51	0,49
22	0,67	0,68	0,98	0,70	0,67	0,67	0,67	0,66	0,67
23	0,74	0,74	2,13	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,78
24	0,50	0,50	1,42	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52
25	0,62	0,62	1,77	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65
31	0,87	0,95	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
34	0,36	1,03	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,40	0,36
35	0,29	0,82	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,31	0,29

Geel: structurele knelpunten

Rood: nieuwe knelpunten

Paars: structurele knelpunten die door de omleiding een nog groter probleem vormen

De tabel laat zien dat er bovenop de structurele zaken meer problemen verwacht mogen worden bij de scenario's 1a, 1b, 2b en 4b. Voor deze varianten wordt het stappenplan wederom doorlopen:

- Scenario 1a: in de richting van west naar zuid ontstaan er problemen op tapersplitsing 34, in de richting van west naar noord gebeurt dit op taperuitvoeging 31. In beide gevallen zijn er verder geen problemen, dus is vluchtstrookgebruik op beide elementen de te nemen maatregel.
- Scenario 1b: in de richting van zuid naar west zijn er problemen op de elementen 20 en 22-25. Element 20 geldt als toeleidende weg, omdat van de wegvakken ten zuiden ervan geen intensiteiten bekend zijn. Over het nut van ingrijpen daar is dus niets te zeggen. Nummer 20 is echter niet het maatgevende element, zodat het toch zinvol is op de elementen 22-25 in te grijpen door het openen van de vluchtstrook. Net als in de ochtendspits, gaat dit ten koste van de capaciteit van element 21.
- Scenario's 2b en 4b: in beide gevallen is er alleen sprake van een grotere belasting van element 09 dan in de reguliere situatie, zonder verdere problemen in de betrokken rijrichting van oost naar zuid. De passende maatregel is dan net als in de ochtendspits het bieden van een extra strook op 09 ten koste van een strook op element 35.

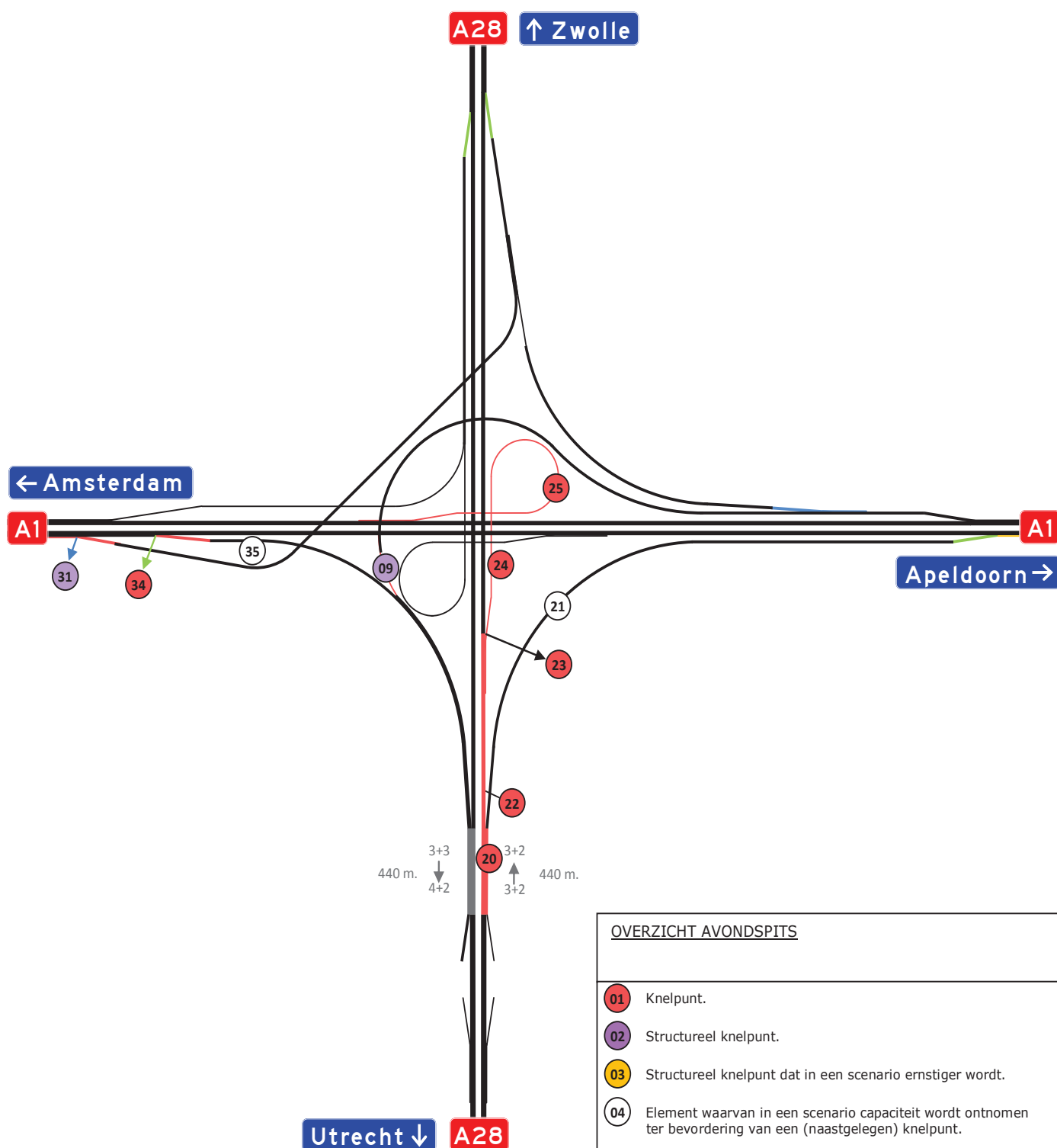
Het doorvoeren van de wijzigingen leidt tot de volgende i/c-verhoudingen:

I/c-verhoudingen knooppunt Hoevelaken, avondspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
09	0,91	0,91	0,00	0,91	0,48	0,91	0,45	0,91	0,45
20	0,69	0,47	0,90	0,79	0,69	0,70	0,69	0,70	0,69
21	0,49	0,00	0,71	0,66	0,49	0,51	0,49	0,51	0,49
22	0,67	0,68	0,73	0,70	0,67	0,67	0,67	0,66	0,67
23	0,74	0,74	0,85	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,78
24	0,50	0,50	0,67	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52
25	0,62	0,62	0,89	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65
31	0,87	0,59	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
34	0,36	0,74	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,40	0,36
35	0,29	0,82	0,29	0,29	0,61	0,29	0,61	0,31	0,61

De problemen kunnen in de meeste scenario's opgelost worden, alleen bij scenario 1b blijft de kans op congestie groot. Net als in de ochtend, is ook hier de capaciteit echter duidelijk gestegen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie.

Restdag

De problemen in de restdag blijven beperkt tot drie elementen in scenario 1b. De volgende afbeelding laat dit zien.



Afbeelding 9.4. Doorstromingsknelpunten knooppunt Hoevelaken restdag 2020.

In de richting van zuid naar west is de capaciteit van de uitvoeger en de daarop volgende indirecte verbindingsweg onvoldoende. Onderstaande tabel laat de knelpunten en het resultaat van de openstelling van de vluchtstrook op de betrokken elementen zien.

I/c-verhoudingen knooppunt Hoevelaken, restdag 2020		
Element	I/c scenario 1b	I/c na nemen maatregelen
23	1,56	0,78
24	1,04	0,49
25	1,30	0,65

In de restdag-periode zijn de problemen dus eenvoudig weg te nemen door vluchtstrookgebruik.

Conclusie

De problemen die ontstaan als gevolg van de scenario's zijn over het algemeen goed op te lossen met het maatregelenpakket. De enige uitzondering hierop is scenario 1b in de spitsperioden; de verkeers-toename op de elementen 23 en 25 is dan zo groot dat zelfs een extra strook onvoldoende capaciteit biedt. De elementen waarop vluchtstrookgebruik zinvol is in een of meerdere scenario's en dagdelen, zijn weergegeven in de volgende tabel.

Maatregelen knooppunt Hoevelaken: vluchtstrookgebruik op elementen		
Ochtendspits	Avondspits	Restdag
22	22	23
23	23	24
24	24	25
25	25	
40	31	
43	34	

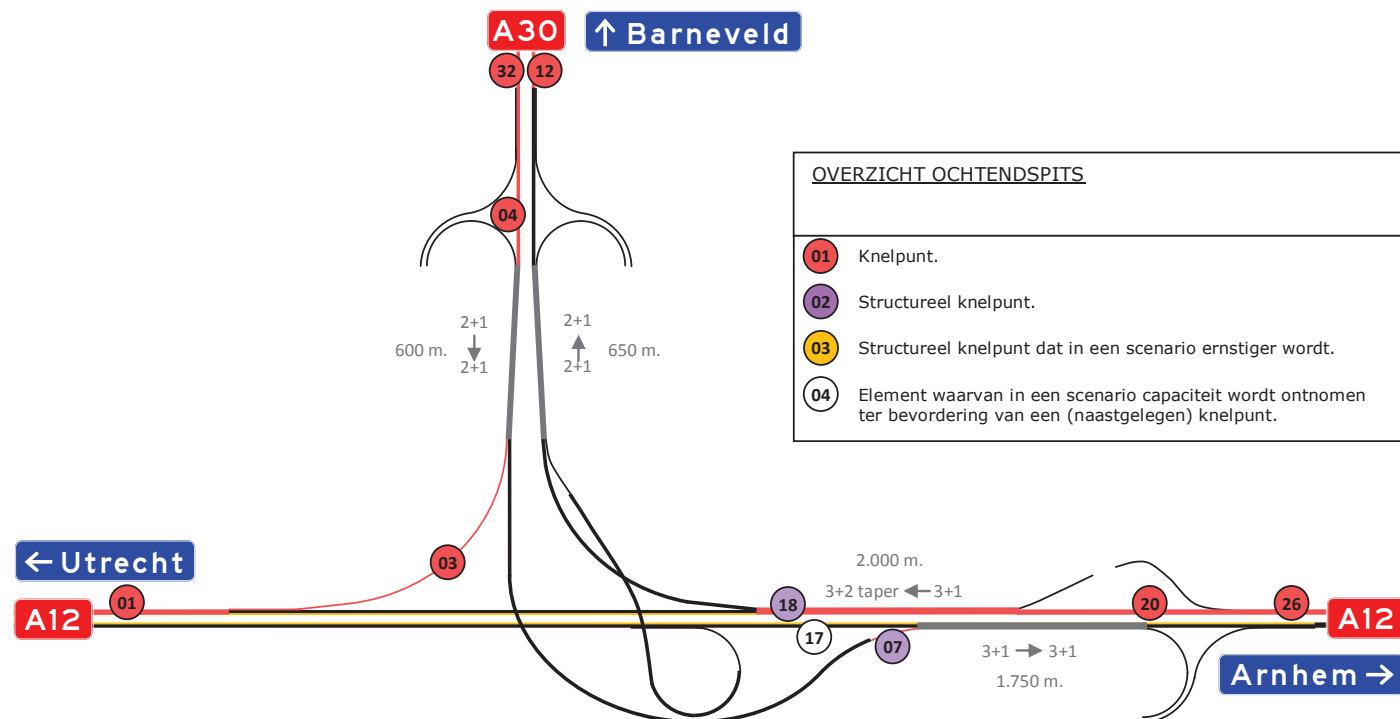
Verder valt op dat het toekomstige ontwerp structureel ondercapaciteit biedt voor element 09, terwijl onderdeel 35 ruim voldoende capaciteit heeft. Ook in de reguliere situatie zou het, afgaande op de hier gebruikte modelberekeningen, beter zijn om 09 twee stroken te geven en 35 slechts één.

9.3 Knooppunt Maanderbroek

Het tweede knooppunt is Maanderbroek, de driearmige verbinding tussen de A12 en A30.

Ochtendspits

De volgende illustratie toont knooppunt Maanderbroek, ochtendspits 2020, met de knelpunten voor alle scenario's. Ook voor dit knooppunt zijn kaartjes per scenario in bijlage 5 opgenomen.



Afbeelding 9.5. Doorstromingsknelpunten knooppunt Maanderbroek ochtendspits 2020.

Voor de genummerde elementen zijn de i/c-verhoudingen hieronder weergegeven.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, ochtendspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,73	0,72	0,93	0,73	0,73	0,73	0,61	0,73	0,62
03	0,55	0,50	0,60	0,55	0,65	0,55	1,11	0,56	0,52
04	0,68	0,56	0,71	0,68	0,81	0,52	0,95	0,72	0,67
07	1,05	0,84	1,05	1,04	1,21	0,68	1,05	1,10	1,05
12	0,76	0,78	0,63	0,88	0,75	0,85	0,53	0,75	0,83
17	0,38	0,51	0,38	0,36	0,38	0,21	0,38	0,32	0,38
18	0,86	0,86	0,97	0,90	0,82	0,86	0,45	0,86	0,80
20	0,74	0,74	0,87	0,79	0,70	0,75	0,27	0,74	0,68
26	0,81	0,82	0,94	0,86	0,77	0,75	0,34	0,81	0,75
32	0,79	0,66	0,81	0,79	0,92	0,62	1,08	0,83	0,78

Geel: structurele knelpunten

Rood: nieuwe knelpunten

Paars: structurele knelpunten die door de omleiding een nog groter probleem vormen

Te zien is dat de verkeersstromen in de scenario's 1b tot en met 4a voor problemen zorgen. Voor deze scenario's is het noodzakelijk om per rijrichting het stappenplan te doorlopen:

- Scenario 1b: in de richting van oost naar west zijn er problemen op de elementen 26, 20, 18 en 01. Het wegvak voor het knooppunt biedt dus onvoldoende capaciteit. Ook op het wegvak na het knooppunt mag congestie verwacht worden; prioriteren is hier echter niet mogelijk omdat verbindingsweg 03 standaard al één strook heeft. Afsluiten zou betekenen dat het verkeer volledig de verkeerde kant op moet rijden en dat lijkt ongewenst. Ook element 01 kan dus niet worden aangepakt. Maatgevend is echter element 18, het weefvak, en dat is lang genoeg om de vluchtstrook open te kunnen stellen. Op element 20 is ingrijpen niet nodig, omdat het een lagere i/c-verhouding heeft dan wegvak 26.
- Scenario 2a: er treden problemen op in de richting van oost naar noord, op de elementen 26, 18 en 12. Wederom is de capaciteit van het wegvak stroomopwaarts (26) onvoldoende, maar het is niet maatgevend. Het wegvak na het knooppunt (12) is ook een knelpunt, prioriteren is echter onmogelijk omdat de verbindingsweg 11 standaard maar één strook heeft. Afsluiten van de oprit 31 is evenmin mogelijk, omdat er op korte afstand noordelijk nog een oprit zit. Het probleem wordt dan alleen verplaatst. Het maatgevende element, weefvak 18, kan wel aangepakt worden door het openstellen van de vluchtstrook.
- Scenario 2b: het verkeer van noord naar oost levert problemen op bij elementen 32 en 07. De capaciteit voor het knooppunt is dus niet voldoende, maar niet maatgevend. Het knelpunt 07 kan daarom toch aangepakt worden. Het gaat om een situatie waarbij de invoeger wordt afgestreept, zodat een dynamische taper hier de juiste maatregel is. De capaciteit van wegvak 17 daalt hierdoor.
- Scenario 3a: in de richtingen west -> noord en oost -> noord ontstaat er een knelpunt op element 12, het wegvak na het knooppunt. Prioriteren is hier niet mogelijk, zo bleek bij scenario 2a al, zodat er geen maatregelen mogelijk zijn.
- Scenario 3b: problemen spelen in de rijrichting van noord naar west op de elementen 32, 04 en 03. De capaciteit voor het knooppunt is ontoereikend en maatgevend, element 04 volgt hier direct op en vormt dus geen eigen belemmering. Verderop in het knooppunt is er nog een tweede knelpunt op element 03. Ondanks de problemen op 32, is het dus toch zinvol hier de vluchtstrook te openen.
- Scenario 4a: in de richting van noord naar oost ontstaat er een ernstiger probleem dan gebruikelijk op element 07. Dit kan, net als in scenario 2b, worden opgelost door de dynamische taper in te stellen ten koste van element 17.

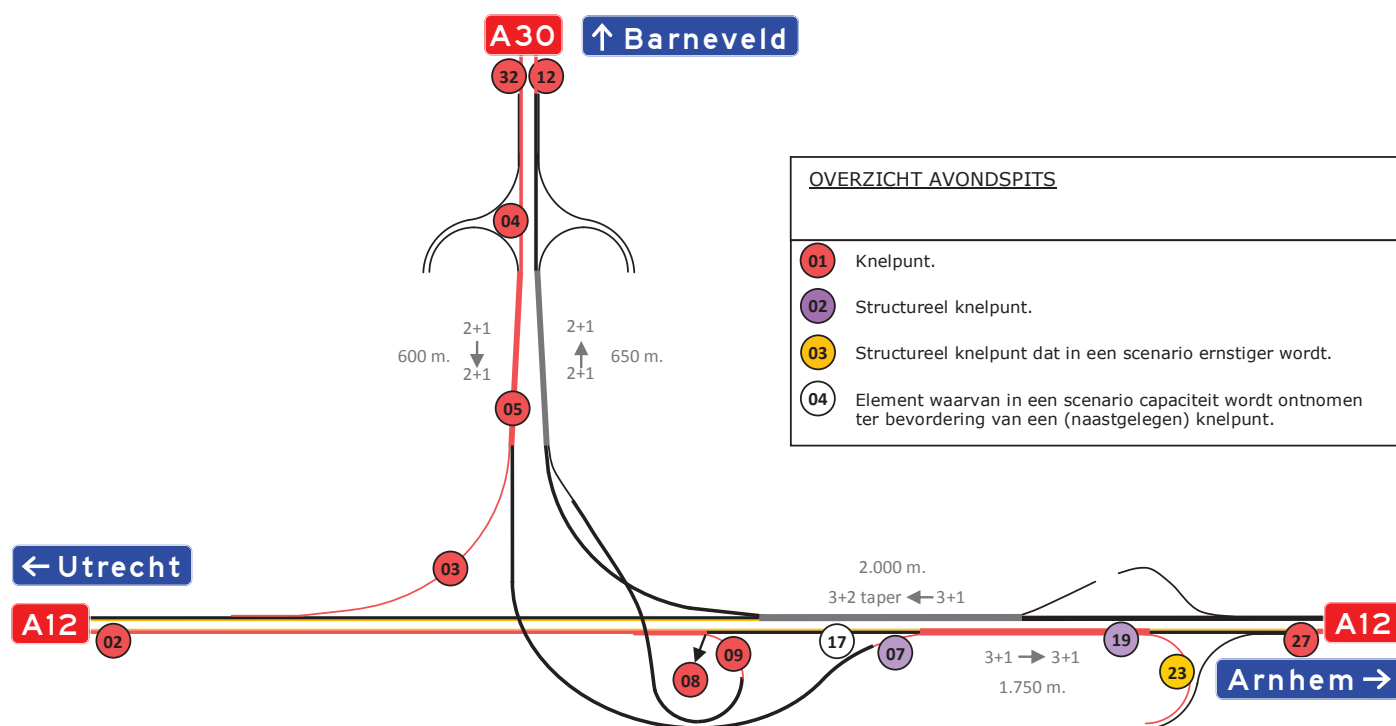
De gewijzigde i/c-verhoudingen als gevolg van de maatregelen zijn te zien in de volgende tabel.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, ochtendspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,73	0,72	0,93	0,73	0,73	0,73	0,61	0,73	0,62
03	0,55	0,50	0,60	0,55	0,65	0,55	0,49	0,56	0,52
04	0,68	0,56	0,71	0,68	0,81	0,52	0,88	0,72	0,67
07	1,05	0,84	1,05	1,04	0,58	0,68	1,05	0,52	1,05
12	0,76	0,78	0,63	0,88	0,75	0,85	0,53	0,75	0,83
17	0,38	0,51	0,38	0,36	0,57	0,21	0,38	0,47	0,38
18	0,86	0,86	0,76	0,71	0,82	0,86	0,45	0,86	0,80
20	0,74	0,74	0,87	0,79	0,70	0,75	0,27	0,74	0,68
26	0,81	0,82	0,94	0,86	0,77	0,75	0,34	0,81	0,75
32	0,79	0,66	0,81	0,79	0,92	0,62	1,00	0,83	0,78

Uit de tabel blijkt, dat de problemen in het knooppunt grotendeels oplosbaar zijn. Knelpunten op de wegvakken van de hoofdrijbaan (01, 12, 26 en 32) vormen bij sommige scenario's echter nog beperkende factoren.

Avondspits

In de volgende afbeelding zijn de knelpunten in de avondspits te zien. Overzichtskaarten per scenario zijn opgenomen in bijlage 5.



Afbeelding 9.6. Doorstromingsknelpunten knooppunt Maanderbroek avondspits 2020.

De gevolgen van de calamiteitenscenario's voor de i/c-waarden zijn te zien in de tabel.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, avondspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
02	0,71	0,91	0,69	0,71	0,71	0,54	0,71	0,59	0,71
03	0,51	0,44	0,54	0,51	0,59	0,51	0,95	0,54	0,48
04	0,78	0,62	0,80	0,77	0,91	0,46	0,99	0,85	0,77
05	0,74	0,61	0,76	0,73	0,84	0,55	0,91	0,80	0,73
07	1,45	1,17	1,45	1,43	1,62	0,94	1,45	1,56	1,45
08	0,79	0,90	0,71	0,94	0,79	1,21	0,79	0,73	0,81
09	0,66	0,75	0,59	0,78	0,66	1,01	0,66	0,61	0,67
12	0,78	0,81	0,67	0,91	0,77	0,92	0,58	0,76	0,81
13	0,51	0,51	0,44	0,60	0,50	0,51	0,31	0,51	0,53
17	0,54	0,72	0,54	0,51	0,54	0,28	0,54	0,43	0,54
19	0,85	0,93	0,86	0,83	0,90	0,49	0,86	0,79	0,86
23	0,88	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
27	0,80	0,89	0,80	0,77	0,85	0,30	0,80	0,73	0,80
32	0,84	0,67	0,86	0,83	0,97	0,52	1,07	0,92	0,83

Geel: structurele knelpunten

Rood: nieuwe knelpunten

Paars: structurele knelpunten die door de omleiding een nog groter probleem vormen

Met uitzondering van scenario 4b, leveren alle scenario's knelpunten op. Met behulp van het stappenplan heeft dit geleid tot de op de volgende pagina beschreven maatregelen.

• Scenario 1a:

- Van west naar noord zijn er problemen op de elementen 02 en 08. Wegvak 02 voor het knooppunt is maatgevend en element 08 kent een lagere bezetting, zodat geen maatregelen mogelijk zijn.
- Verkeer van west naar oost ondervindt problemen op elementen 02, 19 en 27. Hier is wegvak 02 niet maatgevend; prioriteren ten bate van element 27 is echter niet mogelijk. Aanpakken van weefvak 19 is wel mogelijk: het weefvak is 1,75 km lang en vluchtstrookgebruik is dan geen probleem.

• Scenario 1b: er ontstaat een probleem vanuit het noorden op wegvak 32. Dit is de toeleidende weg naar het knooppunt en het wegvak is maatgevend; maatregelen kunnen dus niet worden getroffen.

• Scenario 2a: de congestie treedt op in de rijrichting van west naar noord, op de elementen 08 en 12. Hier is het wel mogelijk het verkeer op wegvak 12 te prioriteren, want element 13 heeft twee stroken. Daarvan kan er dus een worden afgestreept. Voor uitvoeger 08 is vluchtstrookgebruik toepasbaar.

• Scenario 2b: er ontstaan problemen in de richting van noord naar oost, op de wegvakken 32, 04, 07, 19 en 27. De capaciteit op de hoofdrijbaan voor het knooppunt is onvoldoende, maar dit is niet het maatgevende element. Hetzelfde geldt voor de capaciteit na het knooppunt. Prioritering is mogelijk door bij element 07 een dynamische taper toe te passen ten koste van element 17. Dit levert echter op element 17 geen congestie op, zodat de maatregel geen effect heeft. Weefvak 19 levert nog wel een probleem op; vluchtstrookgebruik is daar mogelijk vanwege de lengte. Dan is er nog een probleem op het maatgevende element 07. In principe is dit een logische locatie voor toepassing van de dynamische taper, maar in verband met de ruimtelijke combineerbaarheid met de vluchtstrookopenstelling op element 19 is ook hier vluchtstrookgebruik passend. Element 04 tot slot heeft een lagere i/c-waarde dan het voorliggende wegvak 32, zodat geen maatregelen nodig zijn.

• Scenario 3a: de omleidingsrichting van west naar noord levert problemen op bij de elementen 08, 09 en 12. De capaciteit voor het knooppunt is voldoende, die erna niet. Prioritering is mogelijk door op element 13 één strook af te strepen. Vervolgens zijn er nog problemen op de elementen 08 en 09, waarbij vluchtstrookopenstelling de te nemen maatregel is.

• Scenario 3b: er ontstaan problemen in de rijrichting van noord naar west op de elementen 32, 04, 05 en 03. Voor het knooppunt is onvoldoende capaciteit en dit is in deze richting ook het maatgevende element. Verderop in dezelfde rijrichting ontstaat echter weer een nieuw knelpunt op nummer 03, zodat het daar toch zinvol is de vluchtstrook open te stellen.

• Scenario 4a: congestie treedt op in de richting van noord naar oost op de onderdelen 32, 04 en 07. De capaciteit voor het knooppunt is onvoldoende, maar niet maatgevend. Op element 04 is de i/c-verhouding lager dan op 32, zodat ingrijpen daar onnodig is. Wegvak 07 is maatgevend, capaciteitsuitbreiding kan plaatsvinden door een dynamische taper in te zetten ten koste van één strook op 17.

De effecten van deze maatregelen zijn inzichtelijk gemaakt in onderstaande tabel.

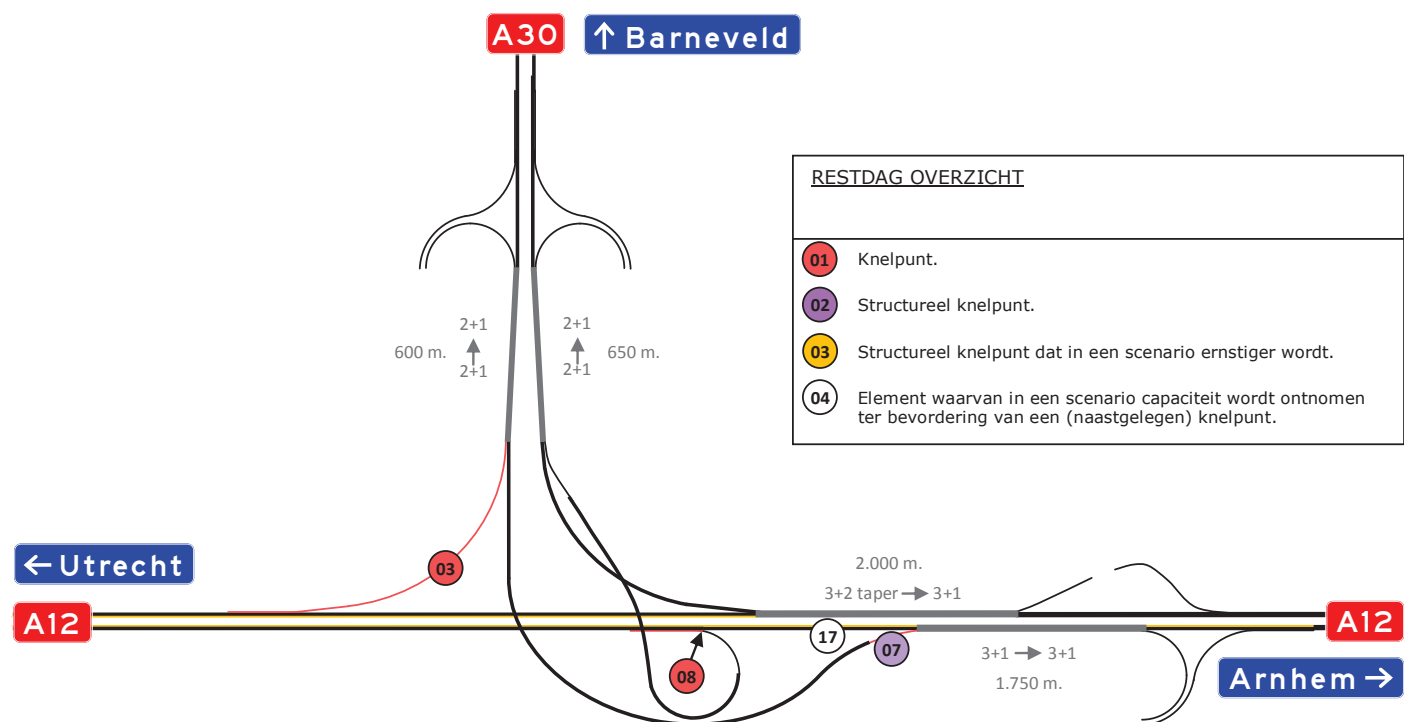
I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, avondspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b*	4a	4b
02	0,71	0,91	0,69	0,71	0,71	0,54	0,71	0,59	0,71
03	0,51	0,44	0,54	0,51	0,59	0,51	0,42	0,54	0,48
04	0,78	0,62	0,80	0,77	0,91	0,46	0,93	0,85	0,77
05	0,74	0,61	0,76	0,73	0,84	0,55	0,86	0,80	0,73
07	1,45	1,17	1,45	1,43	0,77	0,94	1,45	0,74	1,45
08	0,79	0,90	0,71	0,47	0,79	0,61	0,79	0,73	0,81
09	0,66	0,75	0,59	0,78	0,66	0,50	0,66	0,61	0,67
12	0,78	0,81	0,67	0,78	0,77	0,88	0,58	0,76	0,81
13	0,51	0,51	0,44	1,27	0,50	1,08	0,31	0,51	0,53
17	0,54	0,72	0,54	0,51	0,54	0,28	0,54	0,65	0,54
19	0,85	0,74	0,86	0,83	0,71	0,49	0,86	0,79	0,86
23	0,88	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
27	0,80	0,89	0,80	0,77	0,85	0,30	0,80	0,73	0,80
32	0,84	0,67	0,86	0,83	0,97	0,52	1,00	0,92	0,83

*Maatregel op element 3 en correctie voor i/c > 1,00.

De problemen op de elementen in het knooppunt kunnen doorgaans opgelost worden. Waar dat niet het geval is (scenario's 1a, 2b, 3b), zijn maatregelen niet zinvol. Knelpunten blijven nog bestaan op de toeleidende wegen naar het knooppunt en in mindere mate op de hoofdrijbaan na het knooppunt.

Restdag

Onderstaande afbeelding geeft inzicht in de relevante knooppuntonderdelen voor de restdag bij knooppunt Maanderbroek.



Afbeelding 9.7. Doorstromingsknelpunten knooppunt Maanderbroek restdag 2020.

De relevante i/c-verhoudingen zijn te zien in de volgende tabel.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, restdag 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
03	0,50	0,46	0,52	0,50	0,56	0,50	0,85	0,51	0,47
07	0,89	0,71	0,89	0,88	1,00	0,59	0,89	0,94	0,89
08	0,71	0,76	0,66	0,79	0,71	0,94	0,71	0,67	0,72
17	0,32	0,43	0,32	0,31	0,32	0,17	0,32	0,26	0,32

Er treden problemen op in de scenario's 2b, 3a, 3b en 4a. Voor deze maatregelen is wederom het stappenplan doorlopen:

- Scenario 2b: in de rijrichting van noord naar oost komt er een zwaardere belasting op element 07. Verdere problemen treden niet op, zodat de eerder besproken dynamische taper ingezet kan worden.
- Scenario 3a: in de richting van west naar noord treedt er een probleem op bij de uitvoeger, nummer 08. Verdere problemen zijn er niet, zodat vluchtstrookgebruik hier de juiste maatregel is.
- Scenario 3b: in de richting van noord naar west loopt element 03, de verbindingsweg, vol. Zowel voor als na het knooppunt is wel voldoende capaciteit, zodat de problemen opgelost kunnen worden door het openen van de vluchtstrook.
- Scenario 4a: hier treedt hetzelfde probleem op als bij scenario 2b.

De effecten van deze maatregelen zijn weergegeven in de volgende tabel.

I/c-verhoudingen knooppunt Maanderbroek, restdag 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
03	0,50	0,46	0,52	0,50	0,56	0,50	0,49	0,51	0,47
07	0,89	0,71	0,89	0,88	0,47	0,59	0,89	0,45	0,89
08	0,71	0,76	0,66	0,79	0,71	0,47	0,71	0,67	0,72
17	0,32	0,43	0,32	0,31	0,48	0,17	0,32	0,39	0,32

De knelpunten die ontstaan als gevolg van het ingestelde scenario kunnen allemaal met succes aangepakt worden.

Conclusie

Het maatregelenpakket kan de problemen in het knooppunt zelf met succes bestrijden. De hoofdrijbanen buiten het knooppunt, vooral op de A12, leveren echter nog beperkingen op die niet op te lossen zijn met de in deze studie voorgestelde maatregelen. Verdere aanpassingen op die hoofdrijbanen zijn daarom noodzakelijk om verkeer succesvol om te kunnen leiden. In knooppunt Maanderbroek is het openstellen van de vluchtstrook zinvol op de volgende elementen:

Maatregelen knooppunt Maanderbroek: vluchtstrookgebruik op elementen		
Ochtendspits	Avondspits	Restdag
03	03	03
18	07	08
	08	
	09	
	19	

Naast dit vluchtstrookgebruik, is het in de avondspits soms een optie een strook van element 13 af te strepen teneinde de instroom op de wegvakken daarachter te beperken. Verder is het in alle perioden aan te raden een dynamische taper in te zetten op element 07 ten koste van een deel van de capaciteit op element 17.

9.4 Knooppunten Grijsoord-Waterberg

De paragrafen hiervoor hebben inzicht gegeven in de bijdrage die het maatregelenpakket kan leveren aan de verkeersafwikkeling in een knooppunt, aan de hand van de voorbeelden Hoevelaken en Maanderbroek. De toetsing van de overige knooppunten is opgenomen in bijlage 4. De knooppunten staan echter niet op zich: ze vormen gezamenlijk een netwerk. Het is daarom ook zinvol te kijken naar de gevolgen van ingrepen op het gehele netwerk. Op basis van de beschikbare informatie, is dat echter maar beperkt mogelijk. De toe- en afritten tussen knooppunten hebben immers ook invloed op de verkeersafwikkeling. Zonder kennis over de situatie op deze aansluitingen, is het niet mogelijk uitspraken te doen over de gevolgen van maatregelen in knooppunt A op de verkeersafwikkeling in knooppunt B.

Binnen het netwerk zijn er echter twee knooppunten die wel in verband met elkaar gezet kunnen worden, namelijk Grijsoord en Waterberg. Tussen deze beide knooppunten ligt geen enkele aansluiting. Het is daarom hier wel mogelijk de gevolgen van maatregelen voor het andere knooppunt inzichtelijk te maken. Deze gevolgen spelen alleen bij prioriteringsmaatregelen: alleen dan verandert de hoeveelheid verkeer. Bij de afzonderlijke toetsing van de knooppunten Grijsoord en Waterberg is in zes gevallen voorgesteld in te grijpen op de hoofdrijbaan in de richting van het andere knooppunt door middel van prioritering, zie de tabel.

Prioriteringsvoorstellen Grijsoord en Waterberg					
Knooppunt	Periode	Scenario	Element	I/c voor maatregel	I/c na maatregel
Grijsoord	ochtend	1a	23	0,92	0,76
	avond	1a	23	1,11	0,94
		2a	23	0,99	0,84
Waterberg	ochtend	1b	11	1,12	0,90
	avond	1b	11	1,03	0,89
		2a	11	0,88	0,77

Omdat er tussen beide knooppunten geen discontinuïteiten liggen, geldt dat:

- element 11 van Waterberg = element 22 van Grijsoord
- element 12 van Waterberg = element 23 van Grijsoord

De veranderingen van de i/c-waarden op de elementen 23 en 11 gelden dus ook voor de elementen 12 en 22. Deze kleinere hoeveelheid verkeer zorgt ervoor dat ook verderop in dezelfde rijrichting minder verkeer zal worden afgewikkeld. De omvang van de daling kan niet met zekerheid worden vastgesteld, omdat niet bekend is welk deel van de daling doorwerkt in de ene rijrichting en welk deel in de andere. Er is in die gevallen voor gekozen de intensiteiten op beide takken gelijkmatig te verlagen.

Gevolgen prioritering Grijsoord op afwikkeling Waterberg

De gevolgen van prioritering in knooppunt Grijsoord op de verkeersafwikkeling in knooppunt Waterberg zijn hieronder in blauwe cijfers weergegeven.

I/c knooppunt Waterberg, na nemen maatregelen, inclusief gevolgen ingrepen Grijsoord						
Element	Scenario 1a ochtend		Scenario 1a avond		Scenario 2b avond	
	oud	nieuw	oud	nieuw	oud	nieuw
10	0,64	0,64	0,65	0,65	0,00	0,00
11	0,94	0,94	0,87	0,87	0,46	0,46
12	0,92	0,76	1,00	0,94	0,99	0,84
13	0,87	0,87	1,00	1,00	0,00	0,00
14	0,76	0,63	0,75	0,70	0,91	0,77
15	n.v.t.	n.v.t.	0,83	0,78	0,71	0,61
20	0,77	0,77	0,65	0,65	0,69	0,69

*Ook met de geringere instroom vanaf element 12, blijft het eerder voorgestelde vluchtstrookgebruik noodzakelijk: anders geldt een i/c-verhouding van 0,88 (ochtend) en 0,98 (avond).

De tabel laat zien, dat het prioriteren op knooppunt Grijsoord in alle gevallen leidt tot een betere verkeersafwikkeling in knooppunt Waterberg. In scenario 2b leidt prioriteren zelfs tot het vervallen van alle knelpunten, zonder dat verdere maatregelen nodig zijn.

Gevolgen prioritering Waterberg op afwikkeling Grijsoord

De volgende tabel geeft inzicht in de nieuwe situatie in knooppunt Grijsoord.

I/c knooppunt Grijsoord, na nemen maatregelen, inclusief gevolgen ingrepen Waterberg						
Element	Scenario 1b ochtend		Scenario 1b avond		Scenario 2a avond	
	oud	nieuw	oud	nieuw	oud	nieuw
01	0,84	0,75	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
02	n.v.t.	n.v.t.	0,80	0,80	0,74	0,74
03	0,84	0,84	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
06	0,36	0,36	0,45	0,45	0,44	0,44
08	0,37	0,37	0,36	0,31	0,36	0,31
09	0,82	0,82	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
15	0,54	0,54	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
16	0,67	0,67	0,69	0,69	0,08	0,08
19	0,91	0,82	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
20	n.v.t.	n.v.t.	0,77	0,77	0,67	0,67
21	n.v.t.	n.v.t.	0,86	0,77	0,79	0,69
22	1,00	0,90	1,00	0,89	0,88	0,77
23	0,81	0,81	0,97	0,97	0,50	0,50

Voor alle drie de varianten zijn in de afzonderlijke toetsing geen maatregelen aanbevolen, omdat het maatgevende punt op de toeleidende weg zat. De prioritering leidt tot een lagere intensiteit op dat wegvak en daarmee ook tot een lagere intensiteit op de wegvakken stroomafwaarts. In scenario 2a, avond zou het probleem zelfs moeten vervallen.

Conclusie

Het prioriteren blijkt te leiden tot het wegnemen van het maatgevende punt op de toeleidende weg naar het knooppunt en daarmee tot een betere verkeersafwikkeling bij de betreffende scenario's. In feite is dat ook logisch, want de prioriteringsmaatregel beperkt de instroom op het volgende knooppunt.

9.5 Conclusie

De verkeerskundige toetsing in dit hoofdstuk heeft uitgewezen dat de maatregelen de problemen in de knooppunten zelf op een enkele uitzondering na succesvol kunnen bestrijden. In de restdag leidt dit doorgaans tot een probleemloze verkeersafwikkeling in de knooppunten, in de spitsperioden vormt de hoofdrijbaan vaak echter een – al dan niet structureel – knelpunt. De in bijlage 4 opgenomen toetsingsknooppunten leiden tot vergelijkbare inzichten. Met het maatregelenpakket is prioriteren van een van beide stromen dan de enige optie, die niet altijd gewenst is en verregaande gevolgen kan hebben. Naast de doorstroming in knooppunten, verdient dus ook de verkeersafwikkeling tussen de knooppunten in aandacht om uiteindelijk tot een succesvolle en hoogwaardige(r) omleidingsroute te komen.

Daarnaast heeft de toetsing voor de knooppunten Hoevelaken en Maanderbroek concreet inzichtelijk gemaakt welke maatregelen zinvol kunnen zijn om omleidingsverkeer in de geanalyseerde scenario's beter af te kunnen wikkelen. Voor het instellen van de maatregelen, gelden de in hoofdstuk 7 genoemde ruimtelijke randvoorwaarden. In hoeverre een knooppunt aan die randvoorwaarden voldoet, wordt in het volgende hoofdstuk getoetst aan de hand van de situatie op knooppunt Maanderbroek.

10 Praktische toetsing



Naast de verkeerskundige toetsing, is het ook van belang te kijken of de voorgestelde maatregelen ruimtelijk gezien wel toepasbaar zijn. In dit hoofdstuk wordt de praktische inpasbaarheid van de maatregelen in knooppunt Maanderbroek getoetst.

Foto: A12 Velperbroek - Waterberg

10.1 Te toetsen maatregelen

De aanbevelingen in hoofdstuk 7 vallen uiteen in drie categorieën:

- statische vereisten die een knooppunt geschikt maken voor het verwerken van omleidingsverkeer;
- een stappenplan met dynamische maatregelen om de ruimtelijk aanwezige mogelijkheden te benutten;
- aanbevelingen voor de vormgeving van knooppunten.

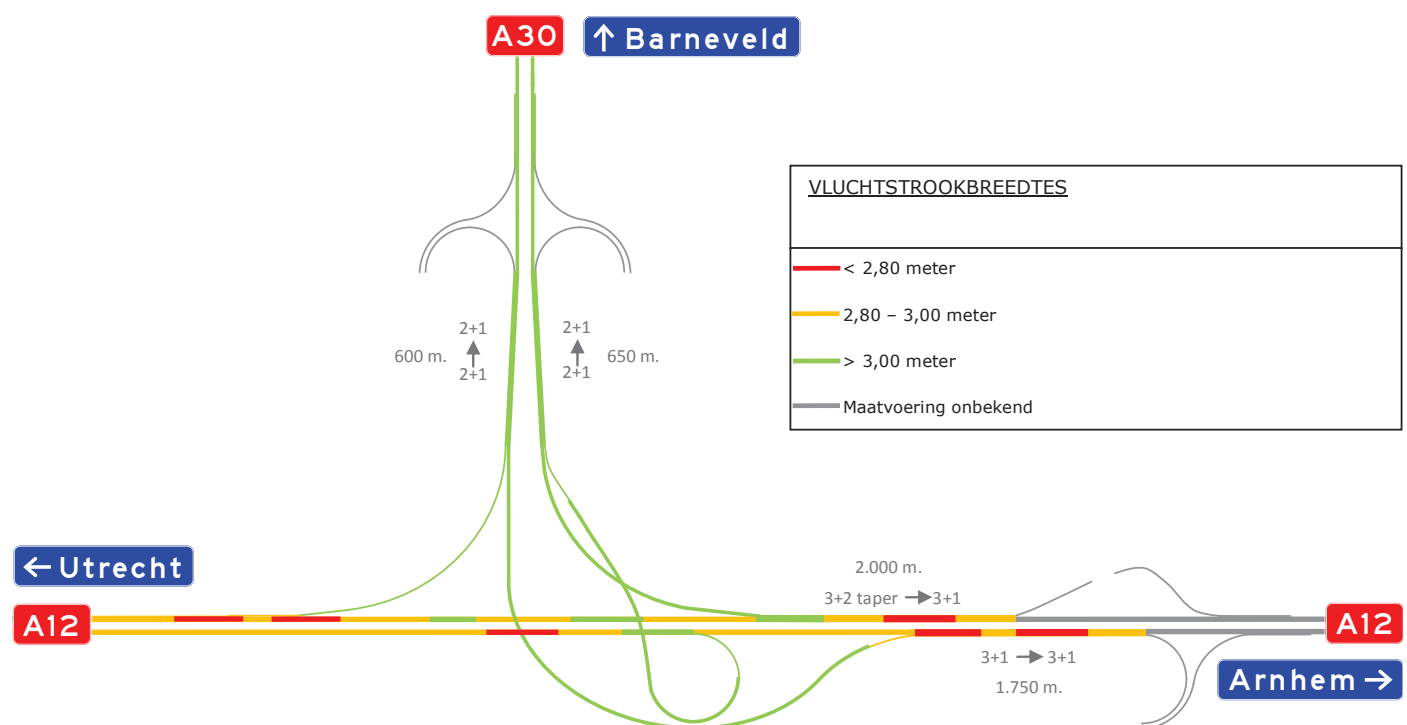
De toetsing op praktische inpasbaarheid richt zich op de eerste categorie: die maakt het inzetten van het stappenplan immers mogelijk. De voorwaarden in die categorie zijn voldoende vluchtstrookbreedte, aanwezige verharding na het verdrijvingsvlak bij een dynamische taper en een verbod op rijstrookwisseling ter hoogte van invoegingen. De laatstgenoemde maatregel heeft geen impact op het ruimtegebruik, de volgende paragrafen bevatten de toetsing op de overige voorwaarden. Deze toetsing is uitsluitend gedaan op knooppunt Maanderbroek, omdat het binnen de beschikbare tijd niet haalbaar was om alle knooppunten in het netwerk praktisch te toetsen.

10.2 Vluchtstrookbreedte

Conform de richtlijnen in Rijkswaterstaat (2007a), moet een vluchtstrook 3,15 meter breed zijn. Daarmee is het mogelijk een rijstrook van de gewenste 3 meter te verkrijgen. Stroken tot een breedte van 2,80 meter zijn alternatief ook nog acceptabel, daaronder neemt de verkeersonveiligheid sterk toe, zoals in paragraaf 5.2.1 beschreven. Om de wegvakken in knooppunt Maanderbroek te toetsen, is het daarom zinvol drie klassen te definiëren:

- vluchtstrook is 3 meter of breder (gewenst);
- vluchtstrook is tussen de 2,80 en 3 meter breed (acceptabel);
- vluchtstrook is smaller dan 2,80 meter (onacceptabel).

De technische tekening van knooppunt Maanderbroek, die is verkregen van de heer Van Londen van het district Arnhem/Nijmegen, heeft met behulp van mevrouw Harbrecht van het Geo-loket inzicht gegeven in de vluchtstrookbreedtes in het knooppunt. De volgende afbeelding toont de resultaten.



Afbeelding 10.1. Vluchtstrookbreedtes knooppunt Maanderbroek.

De afbeelding laat zien dat de breedte van de aanwezige vluchtstrook sterk wisselt. Langs de verbindingswegen liggen veelal stroken van 3 meter of meer, langs de hoofdrijbaan van de A12 zijn de vluchtstroken echter smaller. Op meerdere stukken ligt er zelfs een strook van minder dan 2,80 meter, zodat het openstellen ervan niet op een veilige manier mogelijk is.

10.4 Conclusie

De praktische toetsing heeft laten zien dat knooppunt Maanderbroek niet aan alle fysieke voorwaarden volledig voldoet. Voor de meeste elementen waar vluchtstrookgebruik is voorgesteld, is het echter wel goed mogelijk. In dit geval zijn de beperkingen als gevolg van de praktische inpasbaarheid daarom gering. In het algemeen valt echter wel de conclusie te trekken dat de voorgeschreven vluchtstrookbreedte van 3,15 meter niet overal voorhanden is. Voor de praktische toepassing van het maatregelenpakket is dat een aandachtspunt: het is niet vanzelfsprekend dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Voor het aanbevolen stappenplan hebben de inzichten uit dit hoofdstuk geen aanpassingen tot gevolg. Wel betekent dit dat – afgaande op de situatie in het relatief recent aangelegde knooppunt Maanderbroek – knooppunten nog onvoldoende zijn voorbereid op het kunnen verwerken van omleidingsverkeer.

11 Conclusies en aanbevelingen



De voorgaande hoofdstukken hebben inzicht gegeven in capaciteitsknelpunten op knooppunten, mogelijke maatregelen ter bestrijding van deze knelpunten, de effectiviteit van de maatregelen en hun haalbaarheid. Op basis van al deze informatie, kunnen nu de eindconclusies worden getrokken.

Foto: aansluiting Zevenaar op de A12

11.1 Knelpunten en maatregelen

Een knooppunt bevat diverse elementen met een capaciteit die afwijkt van die van het standaard wegvak op de hoofdrijbaan. Al deze elementen kunnen een capaciteitsknelpunt vormen en daarmee een goede afwikkeling van het verkeer verhinderen. In theorie is het weefvak in het knooppunt de grootste beperkende factor, in de praktijk blijken diverse andere elementen echter grotere problemen op te leveren. Zeker in knooppuntvormen, waarbij de weefvakken zijn verdwenen door optimalisatie van de vormgeving, is dat het geval. Daarom is het van belang naar alle elementen te kijken om het knooppunt succesvol in te kunnen zetten voor grotere calamiteitenomleidingen.

Om knelpunten op de knooppuntelementen weg te nemen, zijn tal van maatregelen denkbaar. Uit de beoordeling van deze mogelijke aanpassingen op effectiviteit, praktische toepasbaarheid, investeringskosten, verkeersveiligheid, beleving van de weggebruiker en ruimtegebruik, is gebleken dat een deel ervan niet zinvol en/of haalbaar is. Zo vielen de snelheidsbeperking en de langere invoegstrook af omdat ze onvoldoende bijdragen aan een betere doorstroming, vervielen ritsen met elektronische gidsen en de taperuitvoeging vanwege de hoge kosten en bleken de toeritdoseerinstallatie en de dynamische strookindeling op een weefvak onvoldoende verkeersveilig. Voor elk element is er echter ook een aantal kansrijke maatregelen denkbaar. Deze zijn weergegeven in de volgende tabel.

Element	Maatregel	Opmerkingen
Rangeerbaan/verbindingsweg/ hoofdrijbaan	Vluchtstrookgebruik	
Invoeging: invoegstrook	Dubbele invoeger	
	Dynamische taper	berijden verdrijvingsvlak achter afstreping
	Doorsteek	als dubbele invoeger niet kan
In-/samenvoeging: convergentiepunt	Verbod rijstrookwisseling	
	Dynamische samenvoeging	bij wens tot prioritering invoegende stroom
Uitvoeging/splitsing	Dubbele uitvoeger	
	Doorsteek	als dubbele uitvoeger niet kan
Weefvak	Vluchtstrookgebruik	Alleen aan rand knooppunt
	Afsluiting	
Buiten knooppunt	DRIP/tekstkar	

De analyse van ruimtelijke combineerbaarheid heeft vervolgens uitgewezen dat de dynamische taper geen alternatief voor vluchtstrookgebruik kan zijn. Daarnaast kan de inpassing van vluchtstrookgebruik op in-, samen-, uitvoegingen en splitsingen voor ruimtelijke problemen zorgen doordat een afwijkend strookgebruik ten opzichte van de reguliere situatie noodzakelijk is.

11.2 Aanbeveling maatregelenpakket

De in de vorige paragraaf beschreven inzichten hebben geleid tot de aanbeveling voor een maatregelenpakket. Deze valt uiteen in drie categorieën:

- ruimtelijke randvoorwaarden om het knooppunt dynamisch in te kunnen zetten;
- een stappenplan de juiste dynamische maatregelen te treffen bij het in werking treden van een omleidingsscenario;
- aanbevelingen voor de vormgeving van toekomstige knooppunten om deze beter toe te rusten op het verwerken van omleidingsverkeer.

De eerste categorie bestaat uit drie voorwaarden:

- een vluchtstrook van minimaal 2,80 en liefst 3 meter breed;
- voldoende verharding om bij een strookbeëindiging aan de linkerzijde toch verkeer succesvol over het verdrijvingsvlak heen af te kunnen wikkelen;
- invoeren van een verbod op rijstrookwisseling van links naar rechts ter hoogte van een invoeging.

Als een knooppunt voldoet aan de bovenstaande voorwaarden, kan met het in hoofdstuk 7 opgenomen stappenplan een selectie worden gemaakt van de daadwerkelijk in te zetten maatregelen.

Tot slot zijn er uit de analyse twee aanbevelingen voor toekomstige vormgeving van knooppunten naar voren gekomen. Allereerst is het aan te bevelen gemeenschappelijke stukken rangeerbaan voor meerdere in- of uitvoegende rijrichtingen te voorkomen door het creëren van doorsteken tussen de rangeerbaan en hoofdrijbaan. In beginsel kan dit statisch, alleen als de hoofdrijbaan meer capaciteit moet kunnen krijgen, is een dynamische uitvoering noodzakelijk in verband met de verkeersveiligheid. Als tweede aanbeveling geldt het zoveel mogelijk voorkomen van weefvakken in knooppunten, omdat voor dit element nauwelijks capaciteitsverruimende maatregelen mogelijk zijn. Het klaverblad is als knooppuntvorm daarom af te raden voor situaties waarbij dynamische inzet van het knooppunt wenselijk is.

11.3 Toetsing maatregelenpakket

Het in paragraaf 11.2 genoemde maatregelenpakket is zowel getoetst op verkeerskundige effectiviteit als op ruimtelijke inpasbaarheid. De verkeerskundige toets heeft uitgewezen dat de maatregelen doorgaans capaciteitsknelpunten in knooppunten met succes kunnen wegnemen. In meerdere getoetste scenario's en knooppunten bleken er echter ook (al dan niet structurele) knelpunten op hoofdrijbanen buiten het knooppunt te ontstaan. Hieruit kan geconcludeerd worden dat naast de verkeersafwikkeling in knooppunten ook de doorstroming op wegvakken van essentieel belang is voor het succesvol omleiden van een verkeersstroom in geval van calamiteiten.

De ruimtelijke toetsing, uitgevoerd op knooppunt Maanderbroek, heeft inzichtelijk gemaakt dat bestaande knooppunten niet overal voldoen aan de gestelde ruimtelijke randvoorwaarden. Concreet betekent dit dat het gewenste openstellen van de vluchtstrook op knooppunt Maanderbroek niet op alle elementen ruimtelijk haalbaar is.

11.4 Eindconclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek heeft laten zien dat het met relatief goedkope maatregelen (de duurste maatregel is de doorsteek, € 37.000) mogelijk is verkeer in knooppunten beter af te wikkelen tijdens grootschalige omleidingen. Dit kan de maatschappelijke kosten door dergelijke incidenten, die kunnen oplopen tot € 100.000 per incident, beperken. Aan de gestelde ruimtelijke voorwaarden voor deze maatregelen wordt echter niet in elk knooppunt voldaan. Om met succes om te kunnen leiden via een knooppunt, verdient het aanbeveling om vluchtstroken te verbreden tot minimaal 2,80 en bij voorkeur 3 meter.

De verkeerskundige toetsing heeft aangetoond dat het oplossen van de knelpunten in het knooppunt niet altijd betekent dat het verkeer goed kan doorstromen. In meerdere knooppunten is er op de hoofdrijbaan in de reguliere situatie al een capaciteitstekort, dat bij omleidingen nog ernstiger wordt. Naast de verkeersafwikkeling in knooppunten, verdient dus ook de doorstroming op de hoofdrijbanen tussen de knooppunten aandacht. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen welke mogelijkheden er zijn daar meer wegcapaciteit te bieden in geval van een grootschalige omleiding. Ook de invloed van een hoog percentage (zwaar) vrachtverkeer, een aspect dat in dit onderzoek buiten beschouwing is gelaten, verdient nadere aandacht in een vervolgonderzoek.

Ondanks de bovenstaande beperkingen, heeft dit onderzoek geleid tot een aanpak voor het succesvol omleiden van verkeer via het autosnelwegennetwerk. Als de knooppunten zodanig worden ingericht, dat dit stappenplan praktisch toepasbaar is, kan dit stappenplan in de toekomst bijdragen aan het verminderen van verkeersinfarcten zoals in de inleiding benoemd en het beperken van de overlast en bijbehorende kosten die dergelijke infarcten met zich meebrengen.

Literatuurlijst

- Arcadis (2007). *Minder Hindermaatregelen op gemeentelijk vlak – deelrapport 2: Verbreden en verdiepen mobiliteitsplan Sint-Lievens-Houtem*. Opgehaald op 29 maart 2012 van <http://www.sint-lievens-houtem.be/upload/Minder%20Hindermaatregelen%20op%20gemeentelijk%20vlak%20-%20deelrapport%202.pdf>
- Barendrecht (2012). *Doorstroming bij Ritsen: Een vergelijking tussen links- en rechtszijdig ritsen*. Afstudeeronderzoek Hogeschool Windesheim.
- Boekholt (1996). *Verkeersgedrag bij taper-uitvoeringen*. Opgehaald op 4 april 2012 van <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3A08571a0e-607b-45fa-b71d-4677fca1d39e/>
- Engelmann (2003). *Fahrstreifenreduktionen an Autobahnen – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf*. Opgehaald op 20 maart 2012 van <http://www.ivh.uni-hannover.de/peb/de/Veroeffentlichungen/Kurzfassungen/Heft%2031%20deutsch.pdf>
- Grontmij (2002). *Effecten en kosten van verkeersveiligheidsmaatregelen*. Opgehaald op 29 maart 2012 van http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Effecten%20en%20kosten%20verkeersveiligheidsmaatregelen_tcm174-288940.pdf
- Lindenbach, Á. (2003). *Strassen und Eisenbahnwesen II. BMEEUV-N40. Vorlesung 2*. Opgehaald op 21 februari 2012 van http://www.uvt.bme.hu/targyak/se_II/str_II_la/str_II_la_2.pdf
- Rijkswaterstaat (2003). *Veiligheid Spitsstroken, Plusstroken en Bufferstroken: Advies voor de speedwetprojecten*. Opgehaald op 17 april 2012 van <http://corporate.intranet.rws.nl/Content/Media/75486f75-b833-48ef-a972-2ad5e13d4c8e/Veiligheid%20spitsstroken,%20plusstroken%20en%20bufferstroken.pdf>
- Rijkswaterstaat (2005a). *Handreiking benuttingsmaatregelen knooppunten (2)*.
- Rijkswaterstaat (2005b). *Maatregelencatalogus Benutten*.
- Rijkswaterstaat (2007a). *Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen*.
- Rijkswaterstaat (2007b). *Handreiking Benutten Aansluitingen*.
- Rijkswaterstaat (2007c). *FileProof: Meer dan 40 snel uitvoerbare maatregelen voor een betere bereikbaarheid*.
- Rijkswaterstaat (2009). *Basisprincipes NBA*.
- Rijkswaterstaat (2011). *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen, versie 3*.
- Rijkswaterstaat (2012). *Uitgangspunten capaciteit*.
- Ruhr-Universität Bochum (2011). *Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen*. Opgehaald op 14 februari 2012 van http://www.wirtschaft.nrw.de/Presse/Pressemitteilungen/Staugutachten_17-5-2011/StausituationNRW_Schlussbericht_Endfassung-Press.pdf
- Tebodin (2011). *FOSIM/NBA*. Digitaal verkregen presentatie.
- Transportation Research Board (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.
- Verhoeven et al (2005). *BRAS: generieke DVM-oplossingen voor verschillende steden*. Opgehaald op 10 februari 2012 van <http://www.dvm-congres.nl/assets/141/Paper%20Verhoeven.pdf>
- Vermijs, R. (2002). *Spitsstrook A50/A1: Arnhem Centrum- kp Beekbergen-Deventer Oost*. Presentatie voor LCS.
- Wenting, W. (2009). *Onderzoek naar vormgeving Nederlandse knooppunten*. Onderzoeksrapport van Hogeschool Windesheim.
- Witteveen+Bos (2011). *ROA 2010 (concept)*. Intern, nog niet gepubliceerd document Rijkswaterstaat.

Geraadpleegde deskundigen:

Bannink, dhr. C., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, adviseur verkeer&vervoer/beheerder NRM Oost

Boersma, mevr. P., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, adviseur verkeer&vervoer

Harbrecht, mevr. J., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, GIS-expert

Heikoop, dhr. H., Rijkswaterstaat dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS), afdeling verkeersmanagement

Jansen, dhr. M., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, afdeling Infraproviding

Janssen, dhr. E., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, adviseur Infraproviding

Londen, dhr. J. van, Rijkswaterstaat wegendistrict Arnhem-Nijmegen, gegevensbeheerder

Mainka, dhr. W., Straßen NRW, telematica-expert

Remeijn, dhr. H., Rijkswaterstaat dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS), afdeling verkeersmanagement

Touw, dhr. J., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, verkeersmanager

Traag, dhr. W., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, adviseur Infraproviding

Ullmann, dhr. F., Tebodin, verkeersadviseur

Vermijs, dhr. R., Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, adviseur verkeer&vervoer

Westing, dhr. M. van, Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland, verkeersmanager

Wiggenraad, dhr. P., universitair docent TU Delft

Knooppunt is **knelpunt?** Bijlagen



Afstudeeronderzoek hogeschool Windesheim
in opdracht van Rijkswaterstaat dienst Oost-Nederland

Julius van Boldrik
Jesper Mulderij

juni 2012

Bijlage 1: begrippenlijst

De uitleg van de volgende begrippen slaat op de betekenis waarin het begrip in dit onderzoek is gebruikt.

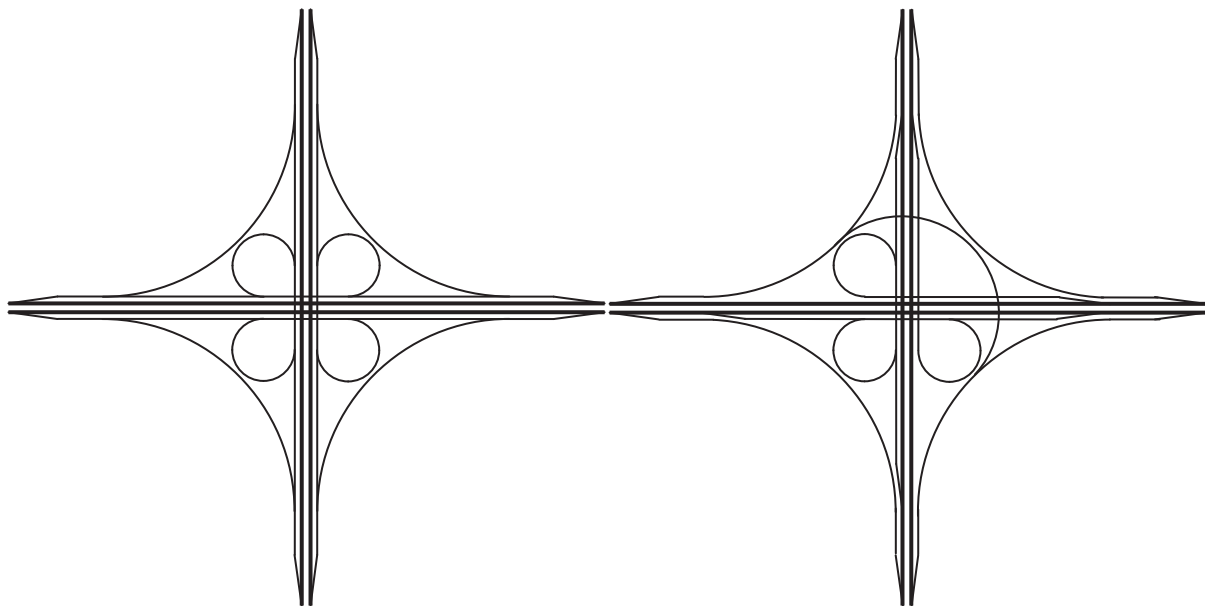
Actiekar	Zie pagina 41
Afrijcapaciteit	Het maximale aantal voertuigen dat in een tijdseenheid op een rijstrook kan afrijden in filesituatie
Asymmetrisch weefvak	Weefvak met een afwijkend aantal toeleidende en afbuigende rijstroken
Beleving v/d weggebruiker	De voor weggebruikers verwachte vormgeving van de weg
Benuttingsmaatregelen	Kleinschalige maatregelen om de capaciteit optimaal te benutten
Bufferen	Extra opstelruimte bieden op een wegvak, zie ook pagina 40
Calamiteit	Een ongevalssituatie waarbij een richting op een snelweg is afgesloten
Calamiteitenscenario's	Zie scenario's
Capaciteitsknelpunten	Zie knelpunten
Convergentiepunt	De plaats waar een rijbaan wordt samengevoegd
Directe verbindingsweg	Zie afbeelding 3.2 op pagina 24
Discontinuïteit	Een onderbreking of verstoring van het vloeiende verloop van de weg
Divergentiepunt	De plaats waar een rijbaan wordt gesplitst
Doorsteek	Zie afbeelding 4.4 op pagina 36
Doseren	Druppelsgewijs toelaten van verkeer
Dynamisch Route Informatie Paneel (DRIP)	Zie pagina 41
Dynamische maatregelen	Ingrepen die naar behoefte ingezet kunnen worden
Dynamische samenvoeging	Zie afbeelding 4.7 op pagina 38
Dynamische splitsing	Zie afbeelding 4.8 op pagina 38
Dubbele uitvoeging	Zie afbeelding 5.8 op pagina 57
Herrouteren verkeer	Verkeer via een andere route omleiden
Hoofdrijbaan	Zie afbeelding 3.1 op pagina 23
I/c-waarde	De verhouding tussen intensiteit en capaciteit op een bepaald wegvak als maatstaf voor de mate waarin de beschikbare capaciteit op een bepaald wegvak benut wordt
Indirecte verbindingsweg	Zie afbeelding 3.2 op pagina 24
Intensiteiten	De hoeveelheid rijdende voertuigen op een wegvak per uur
Invoeging	Zie afbeelding 3.3 op pagina 25
Kantelwalsborden	Op afstand omklapbare borden die bijvoorbeeld gebruikt worden om een spitsstrook open te stellen

Klaverblad	Zie afbeelding 3.9 op pagina 28
Knelpunt	Een element in een knooppunt dat congestiegevoelig is
Knooppunt	Een ongelijkvloerse kruising tussen twee autosnelwegen
Knooppuntelement	Een wegvak in een knooppunt
Kosteneffectief	Maatregelen zijn kosteneffectief wanneer de kosten in verhouding staan tot de baten
Kunstwerken	Bouwwerken in een knooppunt zoals viaducten
Lokaal verkeer	Verkeer dat een bestemming heeft in de nabije omgeving en waarvan dus verwacht wordt dat het geen gebruik maakt van een omleidingsroute
Matrixsignaalgevers	Onderdeel van verkeerssignalering, zie pagina 41
Mvt/u	Motorvoertuigen per uur
Nulsituatie	De reguliere, dagelijkse verkeerssituatie
Omrijdfactoren	Acceptabele omrijdafstand, zie pagina 62
Onderliggend wegennet	Alle wegen die niet tot het hoofdwegennet behoren
Ontwerpsnelheid	De snelheid waarbij bij het ontwerp van de weg is uitgegaan
Pers.auto-equivalent (pae)	Een meeteenheid voor intensiteiten en capaciteiten, waarbij vrachtverkeer wordt vertaald in aantallen personenauto's (richtwaarde 2,0)
Prioriteren	Een verkeersstroom voorrang geven ten koste van een andere stroom
Rangeerbaan	Zie afbeelding 3.2 op pagina 24
Ritsen met elektr. gidsen	Verkeer 'geleiden' door een in het wegdek geïntegreerd lichtspoor. Zie ook pagina 37
Samenvoeging	Zie afbeelding 3.3 op pagina 25
Scenario	Een gesimuleerde ongevalssituatie waarbij een richting op een autosnelweg is afgesloten, waardoor weggebruikers een alternatieve route kiezen
Semi-directe verb.weg	Zie afbeelding 3.2 op pagina 24
Spitsteam	Eenheid van Rijkswaterstaat die wordt ingezet om de verkeersafwikkeling te bevorderen
Splitsing	Zie afbeelding 3.5 op pagina 26
Statische maatregelen	Maatregelen van blijvende aard
Structureel knelpunt	Knelpunt dat in het nulscenario (de reguliere situatie) al voorkomt
Tapersamenvoeging	Zie afbeelding 3.4 op pagina 25
Taperuitvoeging	Zie afbeelding 3.6 op pagina 27
Tekstkar	Zie pagina 41
Toeritdoseerinstallatie (TDI)	Verkeersregelinstallatie die de instroom op een hoofdweg beperkt, zie ook pagina 37

Toetsingsgebied	Het netwerk waarin de maatregelen worden getoetst
Turbulentie	Fluctuerende snelheden met negatieve gevolgen voor de doorstroming
Tweestrooks uitvoeging	Zie afbeelding 3.7 op pagina 27
Uitvoeging	Zie afbeelding 3.5 op pagina 26
Verdrijvingsvlak	Afstreping van een rijstrook, zie afbeelding 5.3 op pagina 50
Verkeersafwikkeling	De verwerking van het verkeer op een wegvak
Verkeersmodel	Een computermodel dat inzicht geeft in huidige en/of toekomstige verkeers- en vervoerstromen
Verkeerssignalering	Zie afbeelding 4.12 op pagina 41
Voertuigverliesuren	Maatstaf om de kosten als gevolg van congestie uit te drukken
Weefconflicten	Conflicten tussen in- en uitvoegend verkeer dat gebruik maakt van dezelfde rijstrook.
Weefvak	Zie afbeelding 3.8 op pagina 28
Wevend verkeer	Twee verkeersstromen die al kruisend over dezelfde strook worden afgewikkeld

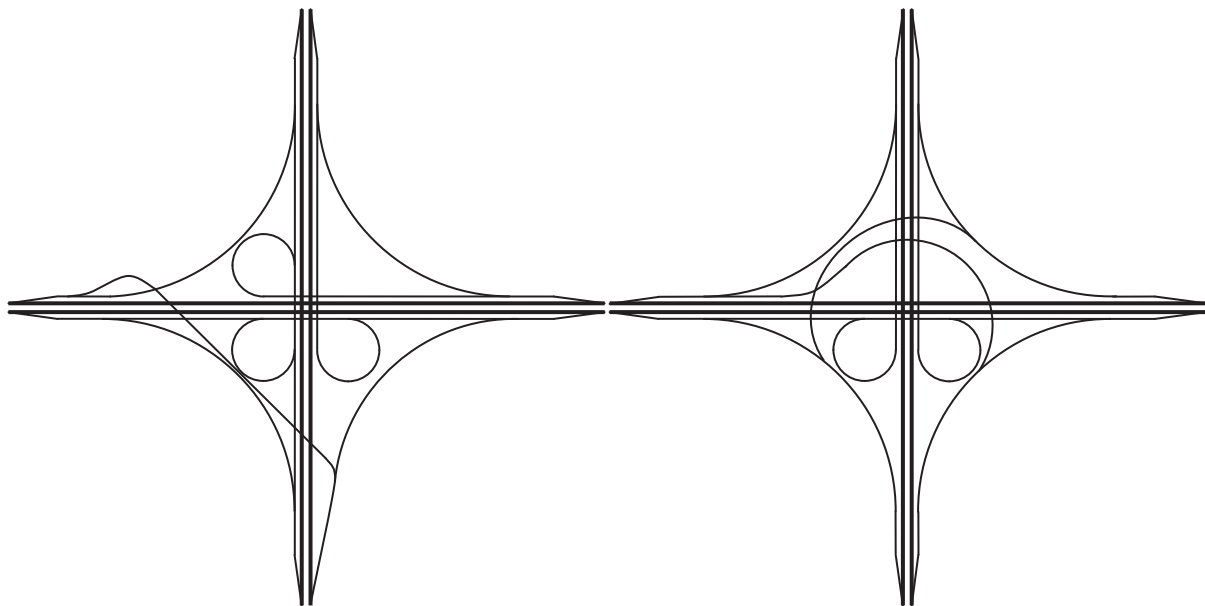
Bijlage 2: standaard knooppuntconfiguraties

Hieronder zijn afbeeldingen opgenomen van de standaardconfiguraties voor knooppunten, zoals het ROA 2010 (Witteveen+Bos, 2011) onderscheidt. De afbeeldingen zelf zijn eigen productie en niet afkomstig uit het ROA.



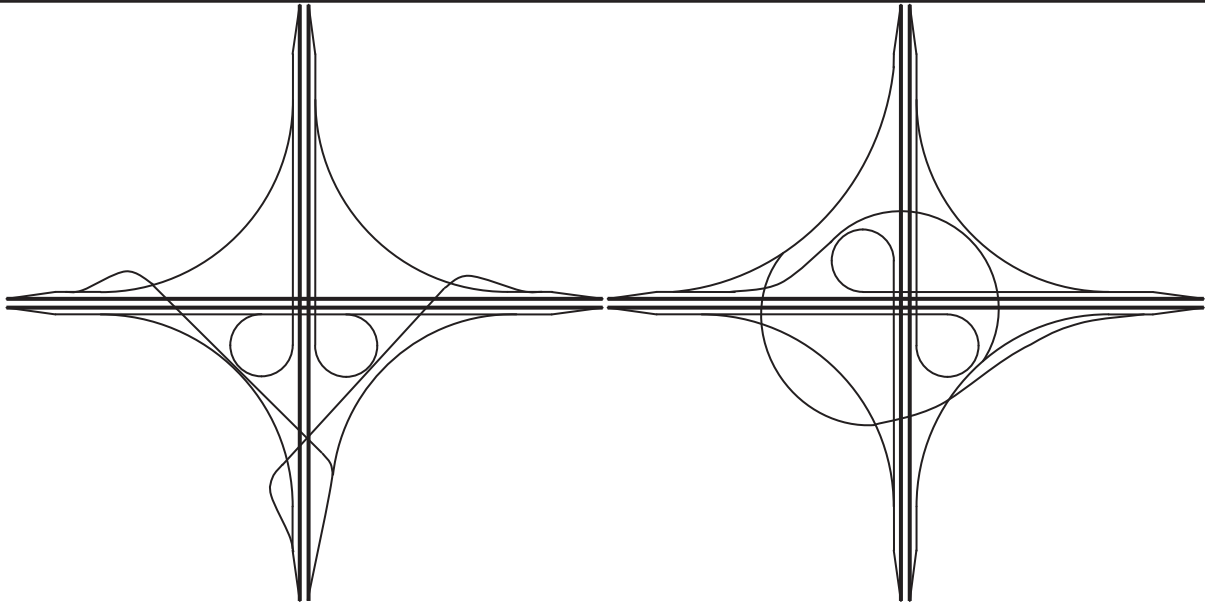
Klaverblad

Verbeterd klaverblad



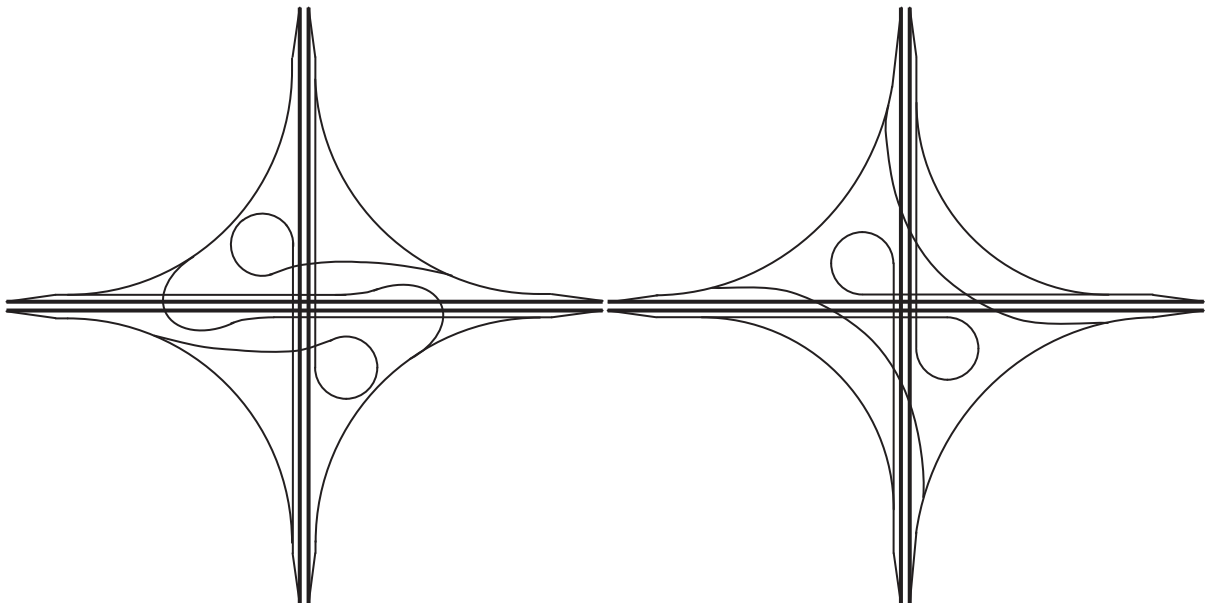
Verbeterd klaverblad

Klaverturbine



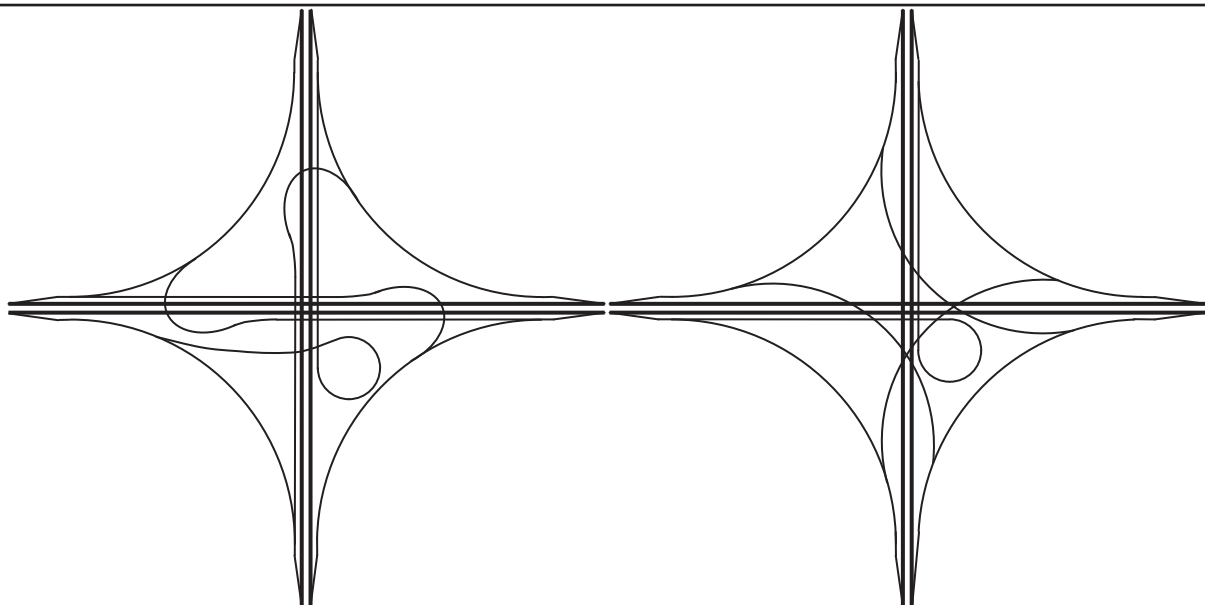
Klaverster

Klaverturbine



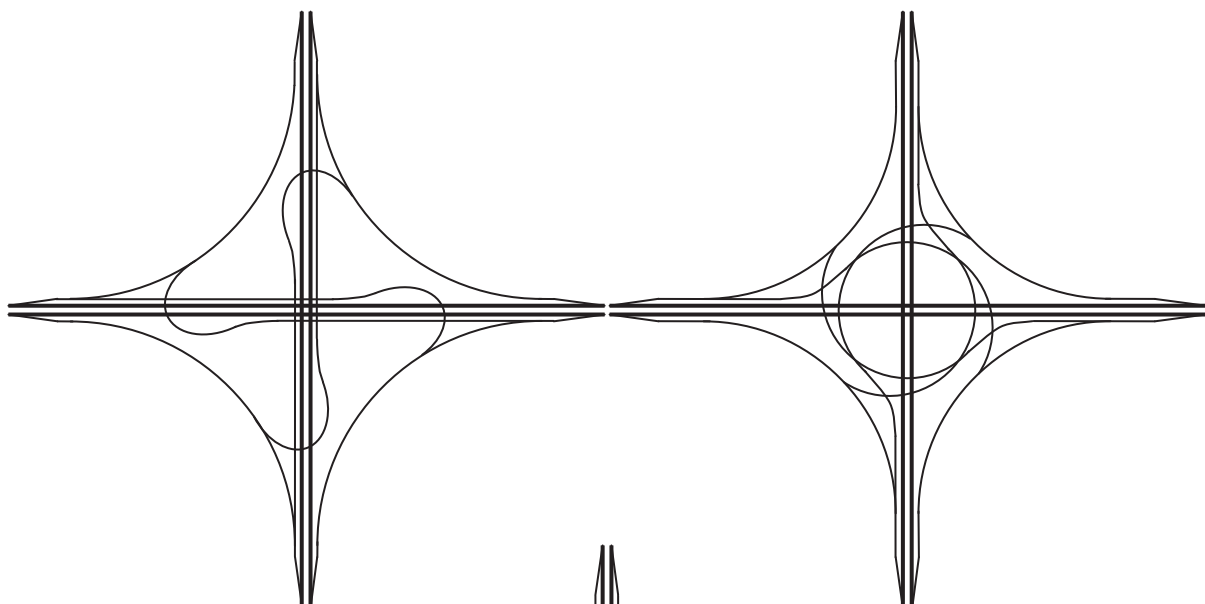
Klavermolen

Klaverster



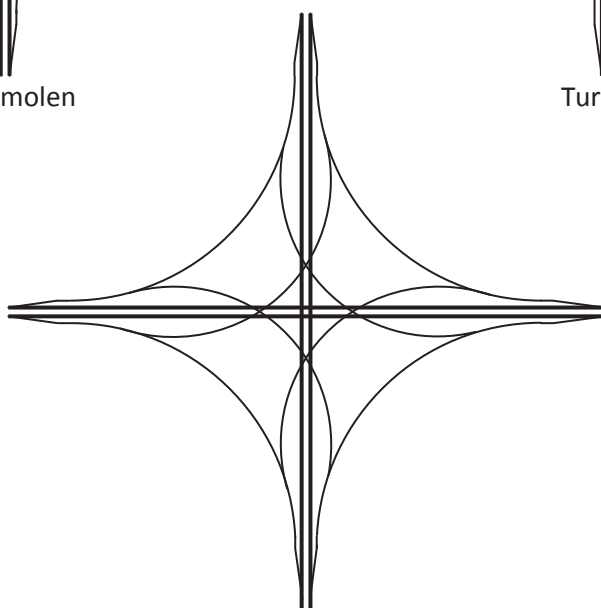
Verbeterde klavermolen

Verbeterde klaverster



Windmolen

Turbine



Ster

Bijlage 3: capaciteiten voor de verkeerskundige toetsing

De volgende tabel toont de voor de verkeerskundige toetsing gebruikte capaciteitswaarden. De bekende CIA-waarden zijn eveneens opgenomen ter vergelijking.

Element	Variant	CIA	Oost-NL
Wegvak	1 strook < 1.500 m	2.415	2.250
	1 strook > 1.500 m	2.185	2.100
	2 stroken	4.830	4.750
	3 stroken	7.245	7.100
Verbindingsweg/	1 strook < 1.500 m	2.415	2.250
Rangeerbaan	1 strook > 1.500 m	2.185	2.100
	1 strook 50 km/u	1.930	1.800
	2 stroken	4.830	4.750
In-/samenvoeging	1 overblijvende strook	2.415	2.250
	2 overblijvende stroken	4.830	4.750
	3 overblijvende stroken	7.245	7.100
Uitvoeging	1 strook	-	1.500
	2 stroken (taper)	-	2.500
	2 stroken	-	3.000
Weefvak	1+1, 200m, 100% weven	2.000	1.930
	3 stroken (2+1)	-	5.925*
	4 stroken (2+2, 3+1)	-	8.300*
	5 stroken (3+2)	-	10.270*
	6 stroken (4+2)	-	11.870*

*Capaciteit bepaald op basis van het aantal stroken minus een halve strook

Bijlage 4: toetsing Grijsoord, Waterberg en Beekbergen

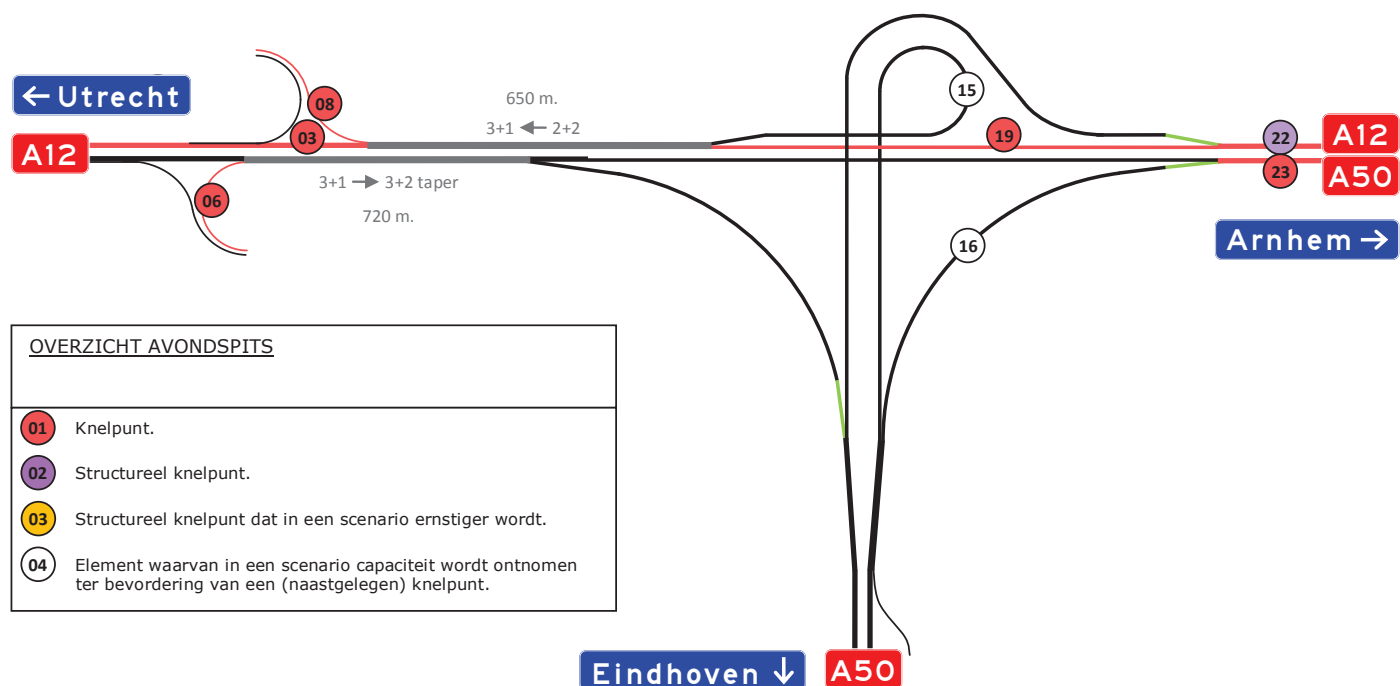
De verkeerskundige toetsing op de omwille van de leesbaarheid niet in hoofdstuk 9 opgenomen knooppunten is hieronder opgenomen.

I Grijsoord

Op meerdere elementen van knooppunt Grijsoord komt er naar verwachting voor 2020 een capaciteitsuitbreiding. Deze nieuwe configuratie is als basis voor deze toetsing gebruikt.

Ochtendspits

Hieronder is de vormgeving van knooppunt Grijsoord in 2020 te zien, inclusief de knelpunten in de ochtendspits. Kaarten per scenario zijn te vinden in bijlage 5.



Afbeelding I. Doorstromingsknelpunten knooppunt Grijsoord ochtendspits 2020.

De volgende tabel geeft inzicht in de i/c-waarden van de genummerde elementen.

I/c-verhoudingen knooppunt Grijsoord, ochtendspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,81	0,82	0,94	0,95	0,75	0,81	0,00	0,81	0,75
03	0,72	0,72	0,84	0,85	0,65	0,72	0,00	0,72	0,65
06	0,36	0,36	0,36	0,36	0,90	0,97	0,36	0,36	0,36
08	0,37	0,37	0,37	0,37	0,30	0,39	1,44	0,39	0,38
09	0,71	0,71	0,82	0,83	0,64	0,71	0,39	0,71	0,66
15	0,55	0,55	0,54	0,80	0,55	0,55	0,10	0,56	0,51
16	0,67	0,71	0,67	0,09	0,67	0,70	0,67	0,67	0,67
19	0,83	0,83	1,02	0,85	0,70	0,83	0,61	0,83	0,77
22	0,94	0,94	1,12	0,95	0,53	0,94	0,82	0,94	0,90
23	0,81	0,92	0,81	0,37	0,83	0,67	0,81	0,78	0,81

Element 22 is een structureel knelpunt, daarnaast ontstaan er problemen bij alle scenario's, met uitzondering van 4a/b. Het stappenplan uit hoofdstuk 7 wordt wederom gebruikt:

- Scenario 1a: in de richtingen van west naar oost en van zuid naar oost ontstaan er problemen op element 23, het wegvak na het knooppunt. Het is niet bekend of prioritering van de invoegende stroom gewenst is; het is hier echter de enige mogelijke maatregel. De effecten van prioriteren zijn daarom inzichtelijk gemaakt.
- Scenario 1b: de elementen 22, 19 en 01 in de richting oost-west leveren allemaal problemen op. De toeleidende weg 22 is maatgevend en krijgt meer verkeer toegedeeld dan erop past. Na correctie hiervoor, zijn er geen andere problemen meer in dezelfde rijrichting: de i/c-verhouding op element 01 blijft dan onder de 0,85. Element 19 is al rustiger dan element 22, zodat ingrijpen daar onnodig is. In dit scenario zijn daarom geen maatregelen mogelijk.
- Scenario 2a: in de richting van oost naar west is het structurele knelpunt 22 maatgevend. Verderop in dezelfde rijrichting zijn er echter meer knelpunten, waar ook de richting van zuid naar west hinder door ondervindt, namelijk op de wegvakken 03 en 01. Prioriteren is zowel mogelijk voor de richting van oost naar west als voor de richting van zuid naar west. Er wordt gedoseerd op element 15 of 19.
- Scenario's 2b, 3a en 3b: de gevolgen liggen alleen op toe- en afritten en zijn daarmee niet te bestrijden met de in dit rapport voorgestelde maatregelen.

De bovenstaande maatregelen hebben de onderstaande gevolgen voor de i/c-verhoudingen.

I/c-verhoudingen knooppunt Grijsoord, ochtendspits 2020, na nemen maatregelen										
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:									
	0	1a	1b*	2a**	2a**	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,81	0,82	0,84	0,80	0,70	0,75	0,81	0,00	0,81	0,75
03	0,72	0,72	0,84	0,70	0,60	0,65	0,72	0,00	0,72	0,65
06	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,90	0,97	0,36	0,36	0,36
08	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,30	0,39	1,44	0,39	0,38
09	0,71	0,71	0,82	0,70	0,62	0,64	0,71	0,39	0,71	0,66
15	0,55	0,55	0,54	1,59	0,80	0,55	0,55	0,10	0,56	0,51
16	0,67	1,50	0,67	0,09	0,09	0,67	0,70	0,67	0,67	0,67
19	0,83	0,83	0,91	0,85	1,79	0,70	0,83	0,61	0,83	0,77
22	0,94	0,94	1,00	0,95	0,95	0,53	0,94	0,82	0,94	0,90
23	0,81	0,76	0,81	0,37	0,37	0,83	0,67	0,81	0,78	0,81

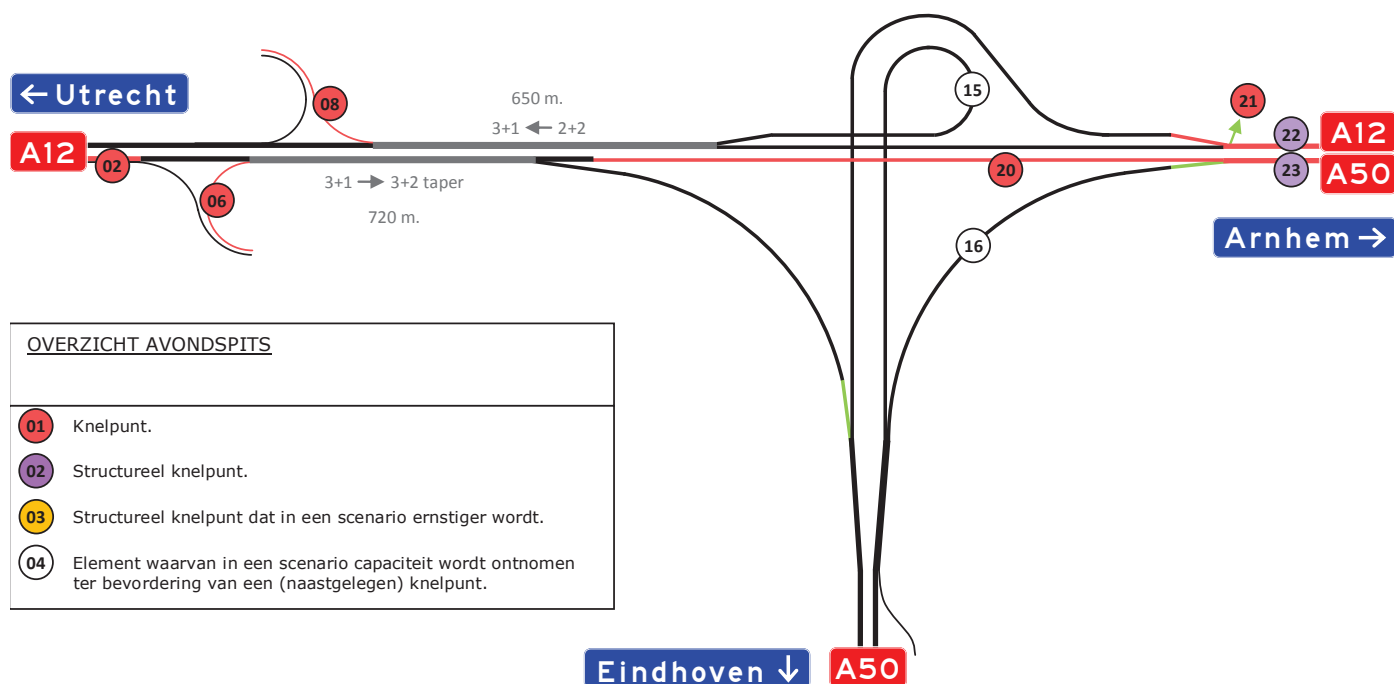
*Uitvoering correctie voor i/c > 1,00, verder zijn geen maatregelen genomen.

**Links: prioritering richting oost -> west, rechts: prioritering richting zuid -> west.

De tabel laat zien dat enkele problemen zijn verdwenen, terwijl op andere locaties nieuwe knelpunten zijn ontstaan. Dit is een logisch gevolg van het prioriteren van stroom A boven stroom B: een van beide stromen wordt dan bewust stilgezet.

Avondspits

De situatie op knooppunt Grijsoord voor de avondspits, genomen over alle scenario's, is hieronder te zien. In bijlage 5 zijn weergaven van de situatie per scenario opgenomen.



Afbeelding II. Doorstromingsknelpunten knooppunt Grijsoord avondspits 2020.

Onderstaande tabel bevat de i/c-verhoudingen voor de genummerde elementen.

I/c-verhoudingen knooppunt Grijsoord, avondspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
02	0,80	0,89	0,80	0,74	0,83	0,00	0,80	0,74	0,80
06	0,44	0,44	0,45	0,44	1,02	1,39	0,44	0,44	0,45
08	0,36	0,36	0,36	0,36	0,29	0,36	1,13	0,36	0,36
16	0,69	0,73	0,69	0,08	0,69	0,73	0,69	0,69	0,69
20	0,76	0,94	0,77	0,67	0,79	0,45	0,76	0,70	0,76
21	0,79	0,79	0,89	0,79	0,17	0,79	0,86	0,79	0,79
22	0,87	0,87	1,03	0,88	0,46	0,87	0,77	0,87	0,84
23	0,97	1,11	0,97	0,50	0,99	0,79	0,97	0,93	0,97

Scenario 4 heeft geen gevolgen voor de verkeersafwikkeling, de overige varianten wel. Voor die scenario's volgt op de volgende pagina een maatregelenkeuze op basis van het stappenplan.

- Scenario 1a: in de richtingen van west en zuid naar oost ontstaan er problemen op de elementen 02, 20 en 23. Maatgevend is daarbij wegvak 23, de hoofdrijbaan stroomafwaarts van het knooppunt. Prioriteren van de omleidingsstroom, in dit geval prioriteren van de A12 als omleiding voor de afgesloten A1, is een mogelijkheid. Ook daarna blijft element 23 maatgevend (zie de tabel onder deze tekst), zodat ingrijpen op element 20 zinloos is.
- Scenario 1b: in dit scenario is er, net als in de ochtendspits, sprake van een i/c boven de 1,00 op toeleidende weg 22 voor de richtingen van oost naar west en zuid. Na correctie hiervoor, blijft punt 21 nog net een potentieel knelpunt. Hier geldt echter dat de i/c-verhouding lager is dan op het element ervoor, zodat het treffen van maatregelen geen zin heeft.
- Scenario 2a: er zijn alleen problemen op de toeleidende weg 22, zodat in het knooppunt geen maatregelen getroffen kunnen worden.
- Scenario 2b:
 - In de bewegingen van west naar oost en van zuid naar oost ontstaat er een ernstiger knelpunt op het wegvak na het knooppunt (23). De logische omleidingsroute voor de tussen Hoenderloo en Schaarsbergen afgesloten A50 loopt via de A12, zodat de A12 geprioriteerd zou kunnen worden.
 - Ten westen van het knooppunt zijn er problemen op oprit nummer 06. Het is binnen het knooppunt echter niet mogelijk hier maatregelen voor te treffen.
- Scenario 3a: alleen oprit 06 leidt tot problemen, zodat maatregelen niet mogelijk zijn.
- Scenario 3b:
 - Er ontstaat een knelpunt op afrit 08, waarvoor geen zinvolle maatregelen mogelijk zijn.
 - In de richting van oost naar zuid ontstaat er een knelpunt op element 21, de tapersplitsing. De hoofdrijbaan richting zuiden heeft voldoende capaciteit en er zijn geen weefvakken. Daarom is openstelling van de vluchtstrook hier de passende maatregel.

Het implementeren van de maatregelen heeft het volgende resultaat. Een groene waarde staat voor een verbetering en een rode voor een verslechtering ten opzichte van de situatie zonder maatregelen.

I/c-verhoudingen knooppunt Grijsoord, avondspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b*	2a	2b	3a	3b	4a	4b
02	0,80	0,89	0,80	0,74	0,83	0,00	0,80	0,74	0,80
06	0,44	0,44	0,45	0,44	1,02	1,39	0,44	0,44	0,45
08	0,36	0,36	0,36	0,36	0,29	0,36	1,13	0,36	0,36
16	0,69	1,54	0,69	0,08	1,45	0,73	0,69	0,69	0,69
20	0,76	0,94	0,77	0,67	0,79	0,45	0,76	0,70	0,76
21	0,79	0,79	0,86	0,79	0,17	0,79	0,61	0,79	0,79
22	0,87	0,87	1,00	0,88	0,46	0,87	0,77	0,87	0,84
23	0,97	0,94	0,97	0,50	0,84	0,79	0,97	0,93	0,97

*Uitvoering correctie voor i/c > 1,00.

De prioritering leidt in de meeste gevallen tot een vermindering van het knelpunt stroomafwaarts, weggenomen wordt het echter niet. Problemen op een verbindingsweg zijn er alleen scenario 3b en dat knelpunt kan goed worden opgelost.

Restdag

In de restdag is er slechts één probleem te benoemen: element 08, afrit Oosterbeek richting Utrecht, vormt in scenario 3b een knelpunt met een i/c-verhouding van 0,88. Zoals al eerder beschreven, zijn problemen op toe- en afritten niet te bestrijden met de voorliggende maatregelen. Daarom is de restdag niet nader uitgewerkt.

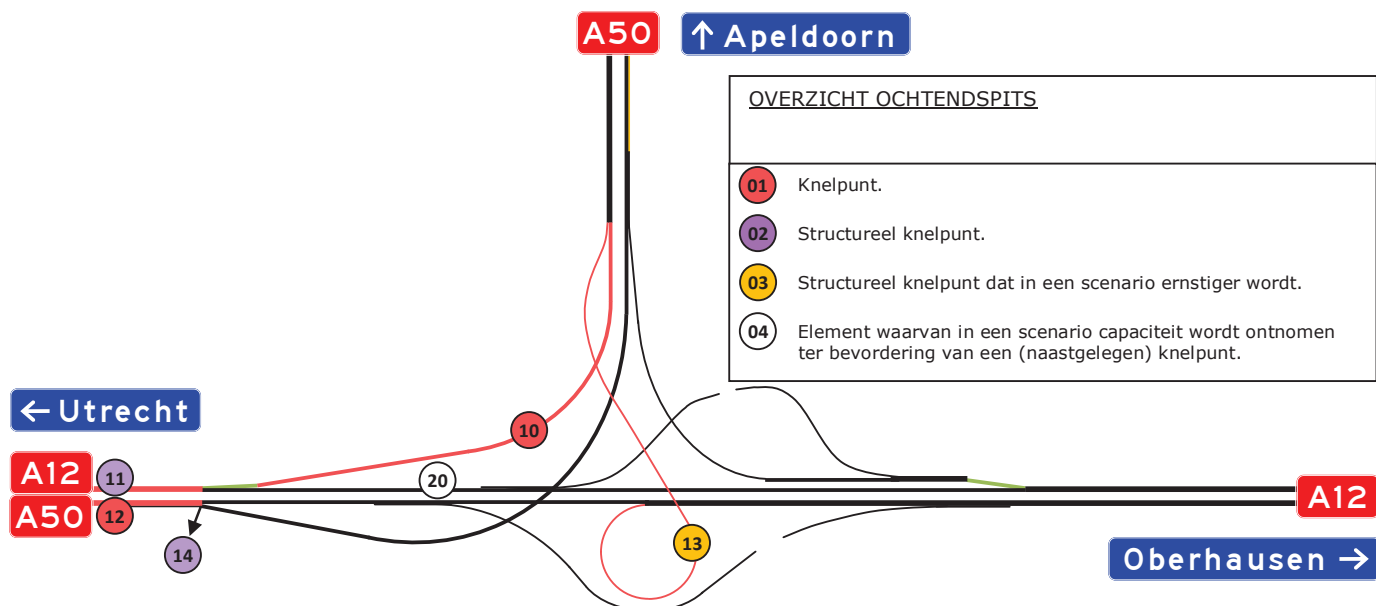
Conclusie

Knooppunt Grijsoord wordt vooral in de richting tussen west en oost over de A12 zwaar belast. De knelpunten in de scenario's ontstaan vooral op de A12 en zijn daardoor slecht aan te pakken in het knooppunt. Prioriteren brengt soms verlichting op het wegvak van de A12 stroomafwaarts, met als keerzijde dat verkeer op de A50 fors gehinderd wordt. Op de verbindingswegen in het knooppunt zelf ontstaan er nauwelijks problemen en waar dat wel gebeurt, is het oplosbaar. Al met al kan gesteld worden dat knooppunt Grijsoord op zich goed is toegerust op het verwerken van omleidingsverkeer in de genoemde scenario's. De grote beperkende factor ligt meer in de wegvakken van de A12.

II Knooppunt Waterberg

Ochtendspits

De situatie voor de ochtendspits op knooppunt Waterberg is weergegeven in onderstaande afbeelding. Een visuele weergave van de knelpunten per scenario is weer te zien in bijlage 5.



Afbeelding III. Doorstromingsknelpunten knooppunt Waterberg ochtendspits 2020.

De tabel toont de intensiteit/capaciteit-verhoudingen van de relevante onderdelen.

I/c-verhoudingen knooppunt Waterberg, ochtendspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
10	0,63	0,64	0,87	0,63	0,00	0,64	0,56	0,63	0,62
11	0,94	0,94	1,12	0,95	0,53	0,94	0,82	0,94	0,90
12	0,81	0,92	0,81	0,37	0,83	0,67	0,81	0,78	0,81
13	0,87	0,87	0,87	0,87	0,00	0,88	0,87	0,87	0,87
14	0,86	1,06	0,87	0,00	0,86	0,80	0,86	0,86	0,86
20	0,77	0,77	0,80	0,79	0,80	0,77	0,66	0,77	0,72

Het model geeft in de reguliere situatie knelpunten op de elementen 11, 13 en 14. Daarnaast spelen er in de scenario's 1a en 1b aanvullende problemen. Voor het bepalen van de mogelijkheden dit aan te pakken, wordt het stappenplan opnieuw doorlopen:

- Scenario 1a: problemen treden op in de richting van west naar noord. Het wegvak voor het knooppunt heeft onvoldoende capaciteit, maar dit is niet het maatgevende element. Het wegvak na het knooppunt voldoet wel en er wordt geen weefvak gepasseerd, zodat de overige elementen aandacht behoeven. Taperuitvoeging 14 is maatgevend; vluchtstrookgebruik is hier de passende oplossing.
- Scenario 1b: er ontstaat een knelpunt in de richting van noord naar west op de elementen 10 en 11. Voor het knooppunt zijn er geen problemen. De hoofdrijbaan na het knelpunt, element 11, loopt over en biedt dus onvoldoende capaciteit. Prioriteren van de stroom van noord naar west, die omrijdt vanwege de afgesloten A1, is de enige mogelijke maatregel. Ook na deze ingreep (zie de tabel op de volgende pagina) blijft element 11 maatgevend. Ingrijpen op element 10 draagt daarom niet bij aan een betere afwikkeling van de omleidingsstroom.

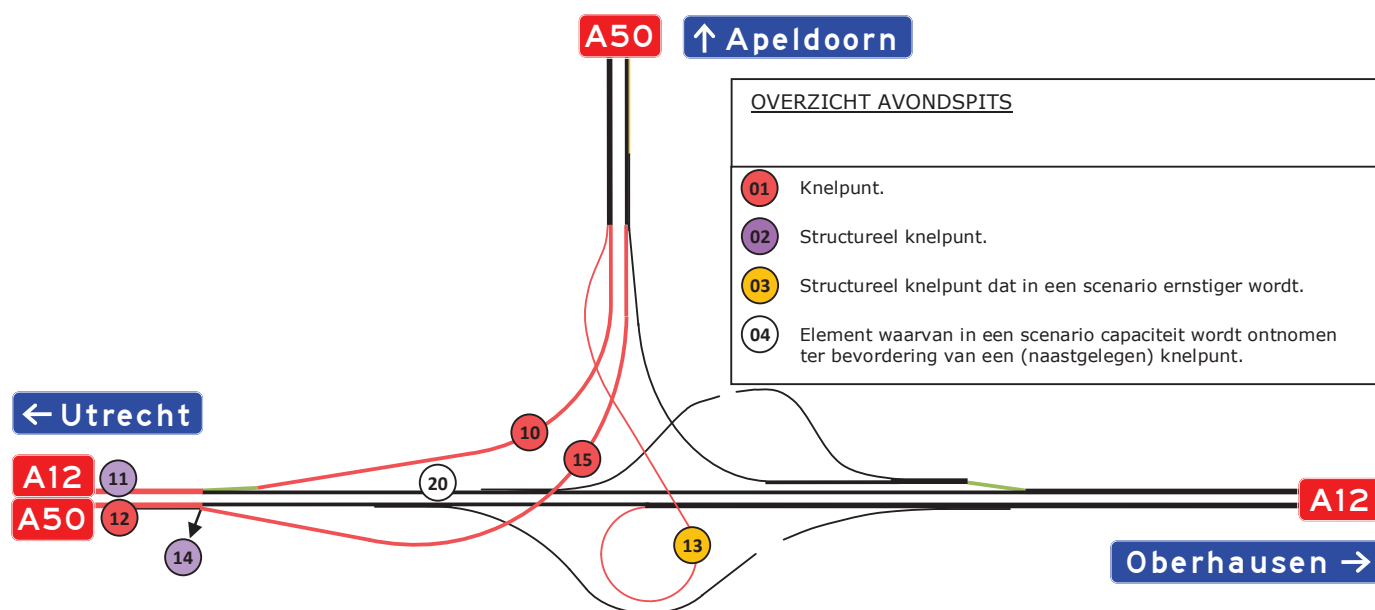
De effecten van deze maatregelen zijn in de tabel hieronder opgenomen.

I/c-verhoudingen knooppunt Waterberg, ochtendspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
10	0,63	0,64	0,87	0,63	0,00	0,64	0,56	0,63	0,62
11	0,94	0,94	0,90	0,95	0,53	0,94	0,82	0,94	0,90
12	0,81	0,92	0,81	0,37	0,83	0,67	0,81	0,78	0,81
13	0,87	0,87	0,87	0,87	0,00	0,88	0,87	0,87	0,87
14	0,86	0,76	0,87	0,00	0,86	0,80	0,86	0,86	0,86
20	0,77	0,77	1,69	0,79	0,80	0,77	0,66	0,77	0,72

De gevolgen van het prioriteren bij scenario 1b zijn wederom duidelijk: de ondergeschikte stroom ondervindt er grote hinder van. Bij scenario 1a zijn de problemen na de ingreep niet verdwenen, omdat aanpakken van de toeleidende weg niet mogelijk is. De doorstroming is echter wel verbeterd, omdat het maatgevende element is weggenomen.

Avondspits

De afbeelding op de volgende pagina toont knooppunt Waterberg met knelpunten en overige relevante knooppuntonderdelen voor de avondspits van 2020. Bijlage 5 bevat de kaartjes per scenario.



Afbeelding IV. Doorstromingsknelpunten knooppunt Waterberg avondspits 2020.

De i/c-verhoudingen van de relevante knooppuntonderdelen zijn te zien in de tabel.

I/c-verhoudingen knooppunt Waterberg, avondspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
10	0,64	0,65	0,86	0,64	0,00	0,65	0,59	0,64	0,64
11	0,87	0,87	1,03	0,88	0,46	0,87	0,77	0,87	0,84
12	0,97	1,11	0,97	0,50	0,99	0,79	0,97	0,93	0,97
13	0,99	1,00	0,99	0,99	0,00	1,00	0,99	0,99	0,99
14	0,91	1,16	0,91	0,00	0,91	0,83	0,91	0,90	0,91
15	0,71	0,92	0,72	0,00	0,71	0,66	0,71	0,71	0,71
20	0,65	0,65	0,68	0,68	0,69	0,65	0,55	0,65	0,61

De scenario's 1a, 1b, 2a en 2b leveren extra problemen op, los van de structurele zaken. De te nemen maatregelen in deze scenario's zijn volgens het stappenplan bepaald:

• Scenario 1a:

- Van west naar oost zijn er alleen problemen op de toeleidende weg, nummer 12. Er zijn daar dus geen maatregelen mogelijk.

- In de richting van west naar noord is het knelpunt op de toeleidende weg 12 niet maatgevend. Uitvoeger 14 is maatgevend. Vluchtstrookgebruik daar is de te nemen maatregel. Element 15, de verbindingsweg, is geen knelpunt meer na correctie voor de te hoge i/c-waarde van element 12.

• Scenario 1b: net als in de ochtendspits, treedt er congestie op in de richting van noord naar west. Voor het knooppunt is er genoeg capaciteit, maar het wegvak richting Grijsoord loopt vol. Prioriteren van de stroom van noord naar west door beperken van de instroom vanaf element 20 is wederom de te nemen maatregel. Net als in de ochtend, blijft ook na het nemen van de maatregel element 11, het wegvak na het knooppunt, maatgevend. Ingrijpen op 10 is daarom zinloos.

• Scenario 2a: ook hier geldt hetzelfde als in de ochtendspits. Element 11 wordt een groter knelpunt doordat omleidingsverkeer van de A50 een andere route moet kiezen. Voor het overige treden er geen problemen op, zodat het prioriteren van de A12 ten koste van de A50 de enige mogelijkheid is.

• Scenario 2b: in de richtingen van west naar noord en van west naar oost is de capaciteit van het wegvak 12 voor het knooppunt onvoldoende. In beide gevallen is dit element maatgevend, zonder dat er verdere problemen optreden, zodat er geen maatregelen getroffen kunnen worden.

De effecten van de hierboven genoemde maatregelen zijn te zien in het volgende schema.

I/c-verhoudingen knooppunt Waterberg, avondspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
10	0,64	0,65	0,86	1,36	0,00	0,65	0,59	0,64	0,64
11	0,87	0,87	0,89	0,77	0,46	0,87	0,77	0,87	0,84
12	0,97	1,00	0,97	0,50	0,99	0,79	0,97	0,93	0,97
13	0,99	1,00	0,99	0,99	0,00	1,00	0,99	0,99	0,99
14	0,91	0,75	0,91	0,00	0,91	0,83	0,91	0,90	0,91
15	0,71	0,83	0,72	0,00	0,71	0,66	0,71	0,71	0,71
20	0,65	0,65	1,43	0,68	0,69	0,65	0,55	0,65	0,61

De tabel laat zien dat de maatregelen de problemen bij scenario 1a wegnemen. Voor de scenario's 1b en 2a is alleen prioritering mogelijk, met de verstreckende gevolgen voor de ondergeschikte stroom van dien. Aanpakken van de problemen in scenario 2b is onmogelijk, omdat er alleen problemen zijn op de toeleidende weg.

Restdag

Op knooppunt Waterberg zijn er in de restdag geen problemen.

Conclusie

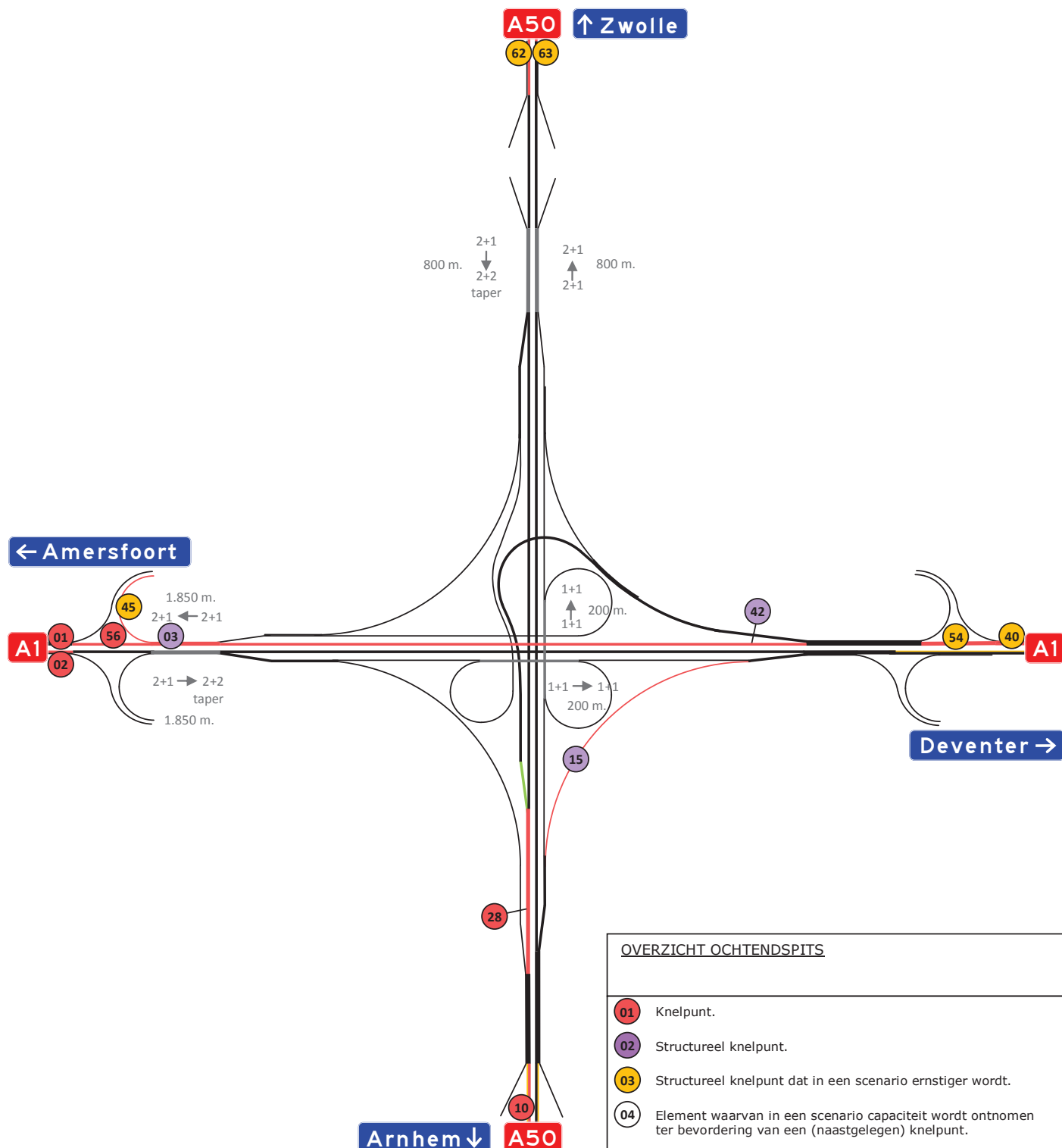
De beperkingen die knooppunt Waterberg oplevert voor het omleidingsverkeer zijn op te lossen met het voorliggende maatregelenpakket. Net als bij Grijsoord, blijkt de hoofdrijbaan van de A12 tussen Waterberg en Grijsoord hier echter het grotere probleem. Ook in de reguliere situatie treden hier al structureel problemen op in de spitsperioden.

III Knooppunt Beekbergen

Het laatste knooppunt van de toetsing is Beekbergen, weer een vierarmig knooppunt. De configuratie zal in de komende jaren veranderen door de aanleg van een semi-directe verbindingsweg van Deventer naar Arnhem. In de toetsing is hier rekening mee gehouden.

Ochtendspits

De ochtendsituatie is hieronder te zien. Kaartjes per scenario zijn opgenomen in bijlage 5.



Afbeelding V. Doorstromingsknooppunten knooppunt Beekbergen ochtendspits 2020.

De i/c-verhoudingen van de knooppuntelementen zijn weergegeven in de tabel hiernaast.

I/c-verhoudingen knooppunt Beekbergen, ochtendspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,83	0,83	0,54	0,81	1,18	0,83	0,89	0,83	0,85
02	0,53	0,36	0,53	0,87	0,51	0,58	0,53	0,54	0,53
03	0,87	0,87	0,64	0,85	1,15	0,87	0,92	0,87	0,88
10	0,74	0,74	0,89	0,74	0,26	0,75	0,70	0,74	0,73
15	1,02	1,29	1,02	0,23	1,02	0,98	1,02	1,02	1,02
28	0,71	0,71	0,86	0,71	0,26	0,71	0,67	0,71	0,71
40	0,98	0,98	0,93	0,98	0,86	0,98	0,98	0,98	0,98
42	0,85	0,85	0,57	0,85	1,05	0,85	0,90	0,85	0,86
45	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
54	0,87	0,87	0,82	0,87	0,75	0,87	0,88	0,87	0,87
56	0,75	0,76	0,46	0,73	1,10	0,75	0,81	0,75	0,77
62	0,99	1,00	0,99	0,99	0,82	0,99	0,97	0,99	0,99
63	0,88	0,88	0,88	0,70	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88

Voor de scenario's 1a, 1b, 2a, 2b en 3b, die extra knelpunten opleveren, is het stappenplan toegepast:

- Scenario 1a: alleen verbindingsweg 15 vormt een knelpunt, zodat vluchtstrookgebruik passend is.
- Scenario 1b: element 62 is maatgevend, maar verderop is er een tweede knelpunt op 10 en 28. Prioriteren ten koste van de richting van oost naar zuid kan fysiek, maar lijkt ongewenst. De A1 is in westelijke richting afgesloten, prioritering zou een van de omleidingsstromen benadelen.
- Scenario 2a: alleen de toeleidende rijbaan 02 is een knelpunt. Daarom zijn geen maatregelen mogelijk.
- Scenario 2b: naast het structurele knelpunt 40 zijn er nu ook problemen op 42, 03, 56 en 01. Daarmee is de rijrichting van oost naar west grotendeels een knelpunt. Element 01 na het knooppunt is maatgevend. Prioriteren zou betekenen dat de verbindingsweg van noord naar west geheel afgesloten zou worden. Dat is in dit geval niet mogelijk, omdat het verkeer dan gedwongen richting de afgesloten A50 geleid zou worden. Daarom zijn er geen maatregelen mogelijk.
- Scenario 3b: wederom zijn er problemen in de richting van oost naar west. De toeleidende weg 40 is structureel en maatgevend, maar verderop is er een tweede knelpunt waarin weefvak 03 maatgevend is. Gezien de lengte is vluchtstrookgebruik hier mogelijk. Vervolgens is wegvak 42 maatgevend, zodat ook daar de vluchtstrook geopend moet worden. Op element 01, dat dan maatgevend wordt, zijn geen maatregelen mogelijk omdat prioritering wederom ongewenst is vanwege de locatie van de afsluiting.

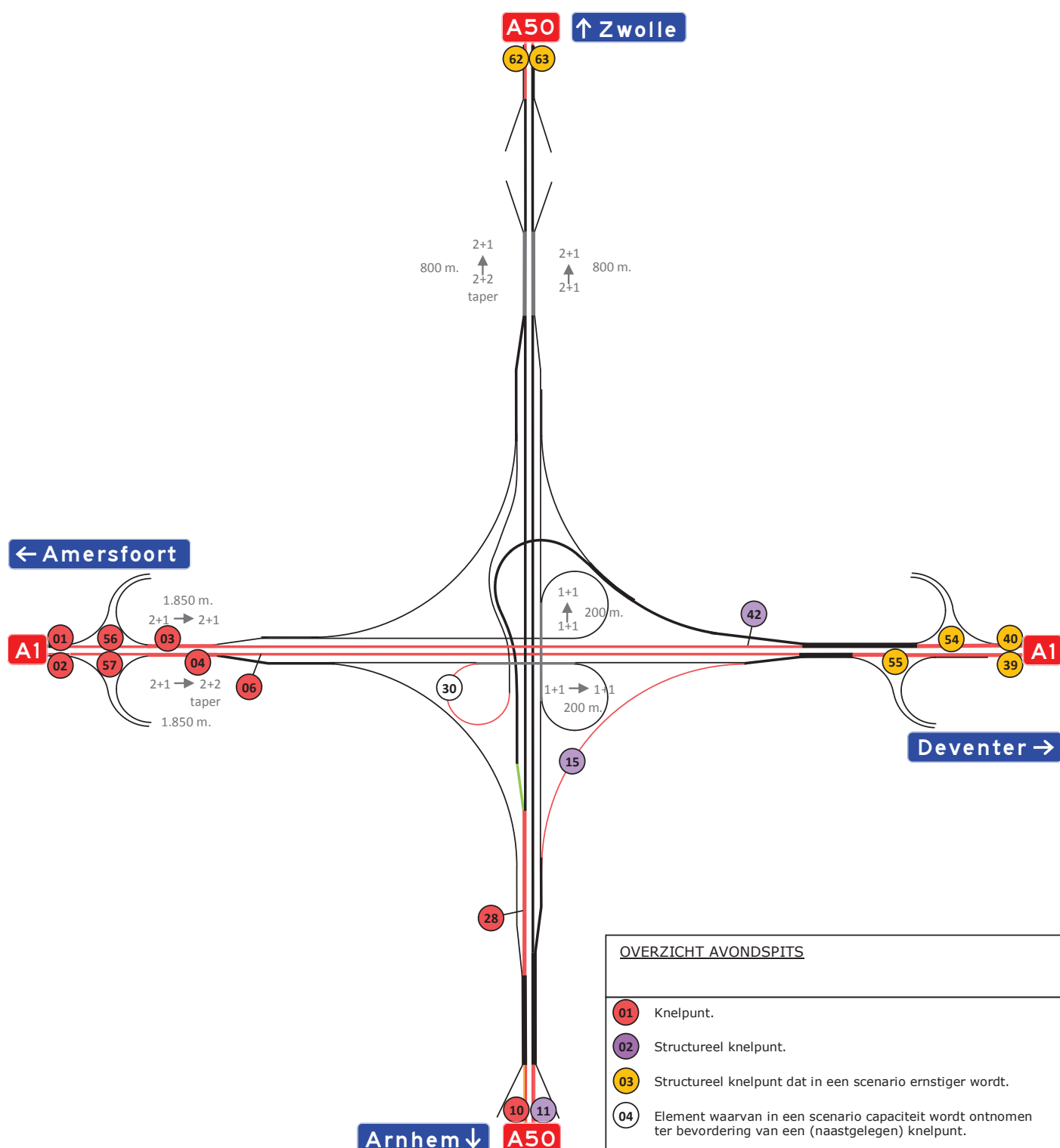
I/c-verhoudingen knooppunt Beekbergen, ochtendspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,83	0,83	0,54	0,81	1,18	0,83	0,89	0,83	0,85
02	0,53	0,36	0,53	0,87	0,51	0,58	0,53	0,54	0,53
03	0,87	0,87	0,64	0,85	1,15	0,87	0,66	0,87	0,88
10	0,74	0,74	0,89	0,74	0,26	0,75	0,70	0,74	0,73
15	1,02	0,61	1,02	0,23	1,02	0,98	1,02	1,02	1,02
28	0,71	0,71	0,86	0,71	0,26	0,71	0,67	0,71	0,71
40	0,98	0,98	0,93	0,98	0,86	0,98	0,98	0,98	0,98
42	0,85	0,85	0,57	0,85	1,05	0,85	0,60	0,85	0,86
45	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
54	0,87	0,87	0,82	0,87	0,75	0,87	0,88	0,87	0,87
56	0,75	0,76	0,46	0,73	1,10	0,75	0,81	0,75	0,77
62	0,99	1,00	0,99	0,99	0,82	0,99	0,97	0,99	0,99
63	0,88	0,88	0,88	0,70	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88

Wegnemen van de knelpunten is niet overal mogelijk, omdat de problemen voor het knooppunt liggen of omdat prioriteren niet mogelijk of wenselijk is. Knelpunten in het knooppunt zelf zijn wel opgelost.

Knooppunt is knelpunt?

Avondspits

Hieronder volgt het figuur met de knelpunten in de avondspits op knooppunt Beekbergen. Bijlage 5 bevat de kaarten per scenario.



Afbeelding VI. Doorstromingsknelpunten knooppunt Beekbergen avondspits 2020.

De i/c-verhoudingen voor de verschillende elementen zijn te zien in het volgende schema.

I/c-verhoudingen knooppunt Beekbergen, avondspits 2020									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,70	0,71	0,44	0,68	1,02	0,70	0,75	0,70	0,71
02	0,78	0,54	0,78	1,17	0,76	0,84	0,78	0,79	0,78
03	0,68	0,69	0,48	0,66	0,94	0,68	0,72	0,68	0,69

04	0,76	0,56	0,76	1,07	0,74	0,81	0,76	0,77	0,76
06	0,78	0,54	0,78	1,05	0,78	0,82	0,78	0,79	0,78
10	0,72	0,72	0,85	0,72	0,27	0,73	0,69	0,72	0,72
11	0,85	0,98	0,86	0,33	0,86	0,82	0,86	0,85	0,86
15	1,18	1,55	1,18	0,29	1,18	1,13	1,18	1,18	1,18
30	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
39	0,98	0,94	0,98	0,88	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98
55	0,85	0,81	0,85	0,75	0,85	0,86	0,85	0,86	0,85
56	0,62	0,63	0,36	0,60	0,94	0,62	0,67	0,62	0,63
57	0,72	0,47	0,72	1,11	0,70	0,78	0,72	0,73	0,72
62	0,96	0,97	0,96	0,96	0,80	0,96	0,95	0,96	0,96
63	1,06	1,06	1,06	0,84	1,06	1,04	1,06	1,06	1,06

In de scenario's 1a, 1b, 2a en 2b zijn problemen te verwachten. De situaties zijn als volgt geanalyseerd:

- Scenario 1a: van zuid naar oost is element 11 niet maatgevend, zodat vluchtstrookgebruik op 15 de keuze is. Van zuid naar noord/west is alleen element 11 een knelpunt; ingrijpen is dus niet mogelijk.
- Scenario 1b: het wegvak richting zuiden, 10, is een knelpunt. Net als in de ochtendspits, is prioriteren ongewenst omdat dit altijd een omleidingsstroom benadeelt. Daarom zijn geen maatregelen mogelijk.
- Scenario 2a: er zijn vanuit het westen problemen op 02, 57, 4 en 06. Toeleidende weg 02 is maatgevend, zonder dat er verderop een tweede knelpunt is. Maatregelen zijn daarom niet zinvol.
- Scenario 2b: richting westen zijn er problemen op elementen 03, 56 en 01, waarbij 01 maatgevend is. In dit scenario is de A50 richting Arnhem dicht, zodat de omleidingsstromen noord -> west en oost -> west zijn. De enige optie voor prioritering is daarom het afsluiten van verbindingsweg 32 van zuid naar west. De effecten van deze afsluiting zijn inzichtelijk gemaakt.

Onderstaande tabel laat de effecten van de genoemde maatregelen zien.

I/c-verhoudingen knooppunt Beekbergen, avondspits 2020, na nemen maatregelen									
Element	Verhouding intensiteit/capaciteit bij scenario:								
	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
01	0,70	0,71	0,44	0,68	0,98	0,70	0,75	0,70	0,71
02	0,78	0,54	0,78	1,17	0,76	0,84	0,78	0,79	0,78
03	0,68	0,69	0,48	0,66	0,90	0,68	0,72	0,68	0,69
04	0,76	0,56	0,76	1,07	0,74	0,81	0,76	0,77	0,76
06	0,78	0,54	0,78	1,05	0,78	0,82	0,78	0,79	0,78
10	0,72	0,72	0,85	0,72	0,27	0,73	0,69	0,72	0,72
11	0,85	0,98	0,86	0,33	0,86	0,82	0,86	0,85	0,86
15	1,18	0,74	1,18	0,29	1,18	1,13	1,18	1,18	1,18
30	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
39	0,98	0,94	0,98	0,88	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98
55	0,85	0,81	0,85	0,75	0,85	0,86	0,85	0,86	0,85
56	0,62	0,63	0,36	0,60	0,90	0,62	0,67	0,62	0,63
57	0,72	0,47	0,72	1,11	0,70	0,78	0,72	0,73	0,72
62	0,96	0,97	0,96	0,96	0,80	0,96	0,95	0,96	0,96
63	1,06	1,06	1,06	0,84	1,06	1,04	1,06	1,06	1,06

De afsluiting in scenario 2b heeft wel effect, maar neemt het knelpunt niet weg. In scenario 1a levert het vluchtstrookgebruik op element 15 een betere doorstroming op in de rijrichting zuid -> oost.

Restdag

In de restdag treden er op knooppunt Beekbergen geen problemen op.

Conclusie

Rond Beekbergen zijn er problemen op de wegvakken, die de mogelijkheden (omleidings)verkeer af te wikkelen beperken. De problemen op de knooppuntelementen zelf zijn echter op te lossen.

Bijlage 5: Knelpunten per scenario

Deze bijlage bevat kaartjes van de knelpunten per scenario voor de knooppunten in deze volgorde: Hoevelaken; Maanderbroek; Grijsoord; Waterberg; Beekbergen.

