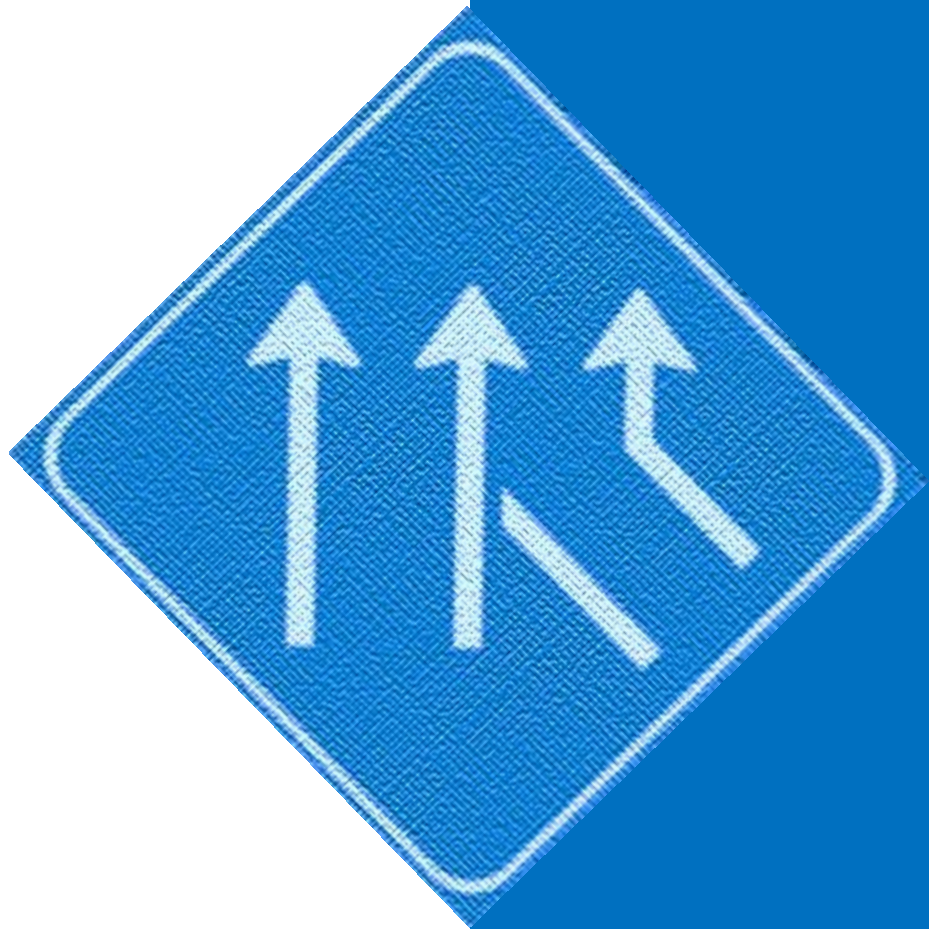


April – Juli 2018

Samenvoegingen op Rijkswegen

“Onderzoek naar alternatieven voor tapersamenvoegingen op het Rijkswegennet in Oost-Nederland”



**UNIVERSITY
OF TWENTE.**



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Ramon Oppers – S1525360

Prof. Dr. Ir. E. van Berkum

Ir. Raymond G.M.M. Vermijs

1. Voorwoord

Voor u ligt het rapport dat ik geschreven heb ten behoeve van mijn bachelorscriptie voor de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Tijdens mijn onderzoek heb ik een aantal tapersamenvoegingen in het oosten van Nederland onderzocht. In dit rapport heb ik de bevindingen van mijn onderzoek uiteengezet en tevens een advies gegeven voor eventuele vervolgstappen.

Ik wil op voorhand Rijkswaterstaat Oost-Nederland en de Universiteit Twente bedanken voor de begeleiding tijdens mijn onderzoek.

Speciale dank gaat uit naar mijn begeleiders tijdens het onderzoek, Ir. Raymond Vermijs (RWS) en Prof. Dr. Ir. Eric van Berkum (UT).

Mocht u naar aanleiding van dit rapport vragen hebben, kunt u me bereiken per e-mail: r.l.t.oppers@student.utwente.nl

Ramon Oppers

Arnhem, 27-6-2018

Language

This report will be written in Dutch. This is because Rijkswaterstaat wants a Dutch report and a lot of the literature that will be reviewed, is also in Dutch. In the next chapter, there is an English summary available.



2. Samenvatting [NL] & Summary [EN]

2.1 Samenvatting

Samenvoegingen met rijstrookvermindering op autosnelwegen kunnen knelpunten zijn in ons wegennet. Doordat er één of meerdere rijstroken verdwijnen, wordt de capaciteit van een wegvak minder. Een van de manieren om een samenvoeging vorm te geven, is een tapersamenvoeging. Deze tapersamenvoegingen worden veelvuldig gebruikt op (voorheen) rustige snelwegen en hebben als groot voordeel ruimtebesparing t.o.v. andere samenvoegingen. Echter is een tapersamenvoeging relatief onveilig en heeft, zo verwachten experts, een minder goede doorstroming (= lagere capaciteit) dan andere vormen van samenvoegen.

Rijkswaterstaat is daarom benieuwd welke vorm van samenvoegen het beste is. Hierbij moet rekening worden gehouden met de kwaliteit (verkeersveiligheid) en de kwantiteit (capaciteit). Om dit te onderzoeken zijn er vijf knooppunten met tapersamenvoegingen aangewezen waar onderzoek naar gedaan wordt: Paalgraven, Grijsoord, Waterberg, Azelo en Buren. Deze knooppunten hebben allen andere parameters waardoor andere uitkomsten niet onverwacht zullen zijn en er bij gelijke uitkomsten een algemeen beeld geschetst kan worden.

Om te onderzoeken welke samenvoeging het beste is, moet er eerst een overzicht gemaakt worden welke samenvoegingen er zijn. In Nederland worden de linker afstreping en de tapersamenvoeging het meeste gebruikt. Incidenteel komen een rechter afstreping en ingeklemde invoeging voor, al worden deze niet beschreven in de ROA (Richtlijn Ontwerp Autosnelweg). Een rechter afstreping is in het buitenland meer geaccepteerd, van een ingeklemde invoeging zijn de eigenschappen nauwelijks bekend. Deze vier vormen zijn daarom onderzocht worden. Om tot goed maatwerk te komen, worden hierbij ook locatie-specifieke varianten meegenomen.

Rijkswaterstaat heeft een simulatieprogramma waarmee het Nederlandse (snel)wegennet goed nagebootst kan worden: FOSIM. Hierin zijn alle alternatieven gemodelleerd en gesimuleerd. Dit is gedaan voor verschillende hoeveelheden vrachtverkeer, zodat aan het einde van het onderzoek een algemeen beeld geschetst kan worden over samenvoegen. De resultaten zijn onderworpen aan statistische toetsen om te beoordelen of gesimuleerde verschillen wel significant zijn.

Voor de kwaliteit van samenvoegingen is een analyse gemaakt omtrent de belangrijkste verschillen tussen samenvoegingen. Dit zijn strookwisselingen van vrachtverkeer en uitwijkmogelijkheden. Kosten zijn hier bewust buiten beschouwing gelaten omdat het hoofddoel van het onderzoek verbeteringen van tapersamenvoegingen is. Alle andere alternatieven zijn qua kosten ongeveer gelijkwaardig. Samen met de capaciteitswaarden is er een multi-criteria analyse opgesteld waarmee per locatie de beste oplossing bepaald kon worden.

Uit het gehele onderzoek blijkt dat onder bijna alle omstandigheden (bijzondere situaties daargelaten) een rechter afstreping de beste oplossing is. Zowel de capaciteitswaarden als de multi-criteria uitkomsten geven aan dat een rechter afstreping én meer capaciteit heeft dan de andere alternatieven én veiliger is.

Het advies wat uit dit rapport volgt is dan ook een advies tot vervolgonderzoek met toepassingen in de praktijk en aanpassing van de CIA en de ROA. Immers, de onzekerheden uit dit onderzoek zijn alleen te onderzoeken met praktijkonderzoek. Hier dient ook aandacht besteed te worden aan de vormgeving van een rechter afstreping.



2.2 Summary

Mergers on highways could be bottlenecks in our road network. If one or more lanes disappear, the capacity of a road section become less. One of the major forms in the Netherlands to design a merger, is a taper merging. This taper mergers are used multiple times on highways with (previously) low traffic intensity. The big advantage of taper mergers is the little space needed, compared to other mergers. Nevertheless, a taper merger is relatively unsafe and may have less capacity than other types of merging.

Rijkswaterstaat wonders which merging type is the best. This does not only concern the capacity, but also the safety. The safety might even be more important. To investigate merging, there are five existing mergers chosen. These mergers are located at junction Paalgraven, Grijsoord, Waterberg, Azelo and Buren. All mergers have different parameters, which might give other results. If there is a trend visible for all the mergers, a common view about merging can be found.

To investigate which type of merging is the best, an overview of existing mergers is needed. In the Netherlands, a left merging and the taper merging are the most common used types. Incidentally, a right merger or a so called sandwiched merger are used, but they are not mentioned in the ROA (Dutch guideline for highways). In other countries in Europe, a right merger is more accepted. The sandwiched merger is almost never used, nor in the Netherlands, nor in Europe. Nevertheless, those four merging types are investigated. To fulfil good custom work, some location specific types are also investigated.

Rijkswaterstaat has a simulation program that can simulate the Dutch highway network very well: FOSIM. All types are modelled and simulated with this program. There are three main parameters (besides the type and its lay-out) which are varied, so a common view on mergers can be given at the end of the research. The results of the simulations are tested on significance to check if the results are reliable.

For the safety aspects of the merger types, an analysis about the most important aspects is done. For mergers, the lane change movements of freight traffic and the escape possibilities of the traffic on the merging lane are the most important issues. Costs are not taken into account, because the alternatives for taper merging are more or less the same. The safety issues are, together with the capacities, graded with a multi criteria analysis, to determine the best solution for each location. With this multi criteria analysis, a common conclusion can be drawn.

The common conclusion from the research, is that under all circumstances, a right merging is the best solution. A right merger is safer than the other alternatives and gives in almost every traffic composition the highest capacity.

The advice from this report is to do further research on merging and put this research into practice. The real effects of a right merging, can only be investigated in a real life situation. Nevertheless, it is wise to modify the CIA and the ROA (Dutch guidelines in traffic design) because it is clear the type of merging affects the capacity and a right merger is not less safe than a taper merger or a left merger. It might be wise to give some extra attention to the lay-out of right mergers.



Inhoudsopgave

1.	Voorwoord	2
2.	Samenvatting [NL] & Summary [EN]	3
2.1	Samenvatting.....	3
2.2	Summary	4
3.	Inleiding	8
3.1	Aanleiding onderzoek.....	8
3.2	Onderzoeksdoel en –vraag.....	8
3.3	Kader van het onderzoek	8
3.4	Literatuur omtrent samenvoegen	8
3.5	Leeswijzer en onderzoeksopzet	8
4.	Samenvoegingen	10
4.1	Aspecten samenvoegingen	10
4.1.1	Capaciteit.....	10
4.1.2	Veiligheid	11
4.2	Nederland versus andere Europese landen	12
4.3	Alternatieven.....	13
4.3.1	Tapersamenvoeging	13
4.3.2	Linker rijstrook afstrepen	13
4.3.3	Rechter rijstrook afstrepen	13
4.3.4	Ingeklemde invoeging	14
4.3.5	Overige samenvoegingen	15
4.4	Onderzoeksalternatieven	15
5.	Onderzoeklocaties.....	16
5.1	Knooppunt Paalgraven (A50/A59)	16
5.2	Knooppunt Grijsoord (A50/A12)	17
5.3	Knooppunt Waterberg (A50/A12).....	17
5.4	Knooppunt Azelo (A35/A1)	18
5.5	Knooppunt Buren (A35/A1).....	18
6.	Beoordelingskader.....	19
6.1	Multi Criteria Analyse	19
6.2	Significantie	20
7.	Freeway Operations Simulation (FOSIM)	21
7.1	Concept achter FOSIM.....	21
7.2	Gevoeligheid parameters	22
7.2.1	Lengte strookwisselgebieden	22



7.2.2	Lengte rijstrook.....	23
8.	Resultaten	24
8.1	Algemene resultaten	24
8.1.1	Veiligheid	24
8.1.2	Capaciteiten.....	24
8.2	Verschillen tussen alternatieven	25
8.3	Locatie-specifieke resultaten	25
8.3.1	Knooppunt Paalgraven	25
8.3.2	Knooppunt Grijsoord	25
8.3.3	Knooppunt Waterberg	26
8.3.4	Knooppunt Azelo	26
8.3.5	Knooppunt Buren	26
8.4	Praktijkwaarden capaciteit.....	26
9.	Conclusies.....	28
9.1	Aanbeveling.....	29
10.	Discussie	30
11.	Slotwoord	31
12.	Lijst van afbeeldingen en tabellen.....	32
13.	Bibliografie	35
14.	Begrippenlijst.....	36
15.	Bijlages.....	38
15.1	Bijlage A: beschrijving FOSIM	38
15.2	Bijlage B: Invoer FOSIM: Linker afstreping knooppunt Grijsoord	40
15.3	Bijlage C: Locatietekeningen	45
15.3.1	Trajecten Grijsoord – Waterberg (A12/A50) en Azelo – Buren (A35/A1)	46
15.3.2	Afmetingen bestaande wegvakken	47
15.4	Bijlage D: Invoergegevens FOSIM.....	50
15.5	Bijlage E: Resultaten gevoeligheidsanalyses	53
15.5.1	Strookwisselgebieden.....	53
15.5.2	Lengte rijstrook.....	54
15.5.3	Beïnvloeden strookwisselgedrag.....	55
15.6	Bijlage F: Stappenplan onderzoek	56
15.7	Bijlage G: Capaciteitbepaling.....	57
15.8	Bijlage H: Multi-criteria analyse	59
15.8.1	Capaciteitswaarden.....	59
15.8.2	Strookwisselingen.....	59



15.8.3	Uitwijkmogelijkheden.....	60
15.8.4	Resultaten.....	60
15.9	Bijlage I: Voorbeelden samenvoegen.....	62
15.10	Bijlage J: Rijstrookwisselingen vrachtverkeer.....	70
15.11	Bijlage K: Overige samenvoegingen	71
15.11.1	Dubbel links afstrepen.....	71
15.11.2	Rechts ingeklemd + weefvak	71
15.11.3	Rechts ingeklemd + links afstrepen.....	71
15.11.4	Rechts weefvak + links afstrepen	71
15.11.5	Asymmetrisch weefvak	71
15.12	Bijlage L: Statistische toets	72
15.13	Bijlage M: Ontwerpen nieuwe samenvoegingen	77
15.14	Bijlage N: Resultaten locaties	82
15.14.1	Knooppunt Paalgraven	82
15.14.2	Knooppunt Grijsoord	83
15.14.3	Knooppunt Waterberg	84
15.14.4	Knooppunt Azelo	85
15.14.5	Knooppunt Buren	86
15.14.6	Totaaloverzicht.....	87



3. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt kort de aanleiding van dit onderzoek beschreven, waarna het onderzoeksdoel en de onderzoeksvraag vermeld worden.

3.1 Aanleiding onderzoek

In het beheersgebied van Rijkswaterstaat Oost-Nederland zijn een aantal tapersamenvoegingen waarbij de capaciteit van het wegvak bereikt wordt of bijna bereikt wordt. Binnen Rijkswaterstaat rijst de vraag of de vormgeving van de samenvoeging invloed heeft op de capaciteit. Er zijn namelijk meerdere manieren om een samenvoeging vorm te geven. In de CIA (Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (Rijkswaterstaat, 2015)) stellen de auteurs dat er verschil zit in capaciteitswaarden bij verschillende manieren van samenvoegen. Echter wordt een rechter afstreping in dat rapport buiten beschouwing gelaten. In dit onderzoek wordt aan de hand van een aantal locaties een algemeen beeld geschetst over samenvoegingen met rijstrookvermindering en wordt onderzocht of er andere alternatieven zijn dan de huidig geldende richtlijnen.

3.2 Onderzoeksdoel en –vraag

Het doel van het onderzoek is een beeld krijgen van samenvoegingen. Hierbij worden twee aspecten van elkaar onderscheiden: veiligheid en capaciteit. Met de resultaten van het onderzoek kan voor elke willekeurige samenvoeging (2+2 → 3), bij gegeven verkeersbelastingen een geschikte configuratie met capaciteit gegeven worden. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

“Wat zijn de capaciteiten en verkeersveiligheidsaspecten van verschillende samenvoegingen bij diverse verkeersbelastingen?”

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het gaat om samenvoegingen met een rijstrookvermindering. Het onderzoek beschouwt alleen samenvoegingen waarbij 2x2 rijstroken samenvoegen tot 1x3 rijstroken (verkort: 2+2→3).

3.3 Kader van het onderzoek

Rijkswaterstaat vraagt zich af of er voor de huidige tapersamenvoegingen alternatieven zijn waarmee de capaciteit verhoogd wordt, zonder dat de verkeersveiligheid in het geding komt. Hierbij gaat het om eenvoudige aanpassingen, die relatief weinig geld kosten en waar geen uitgebreide planstudies of MER rapportages voor nodig zijn. Grote aanpassingen zoals de aanleg van een viaduct, passen niet binnen dit onderzoek. Het kader van het onderzoek wordt daarom vastgesteld op “alternatieven die mogelijk zijn door kleine aanpassingen aan de huidige infrastructuur”.

3.4 Literatuur omtrent samenvoegen

Er zijn slechts enkele personen die zich bezighouden met het samenvoegen op snelwegen. Er is derhalve nauwelijks tot geen onderzoek gedaan naar samenvoegen, waardoor literatuur ontbreekt. Tevens is buitenlandse literatuur grotendeels onbruikbaar vanwege diversiteit in rijgedrag en vormgeving. Een aantal aannames in dit rapport berusten daarom op ervaringen van deskundigen

3.5 Leeswijzer en onderzoeksopzet

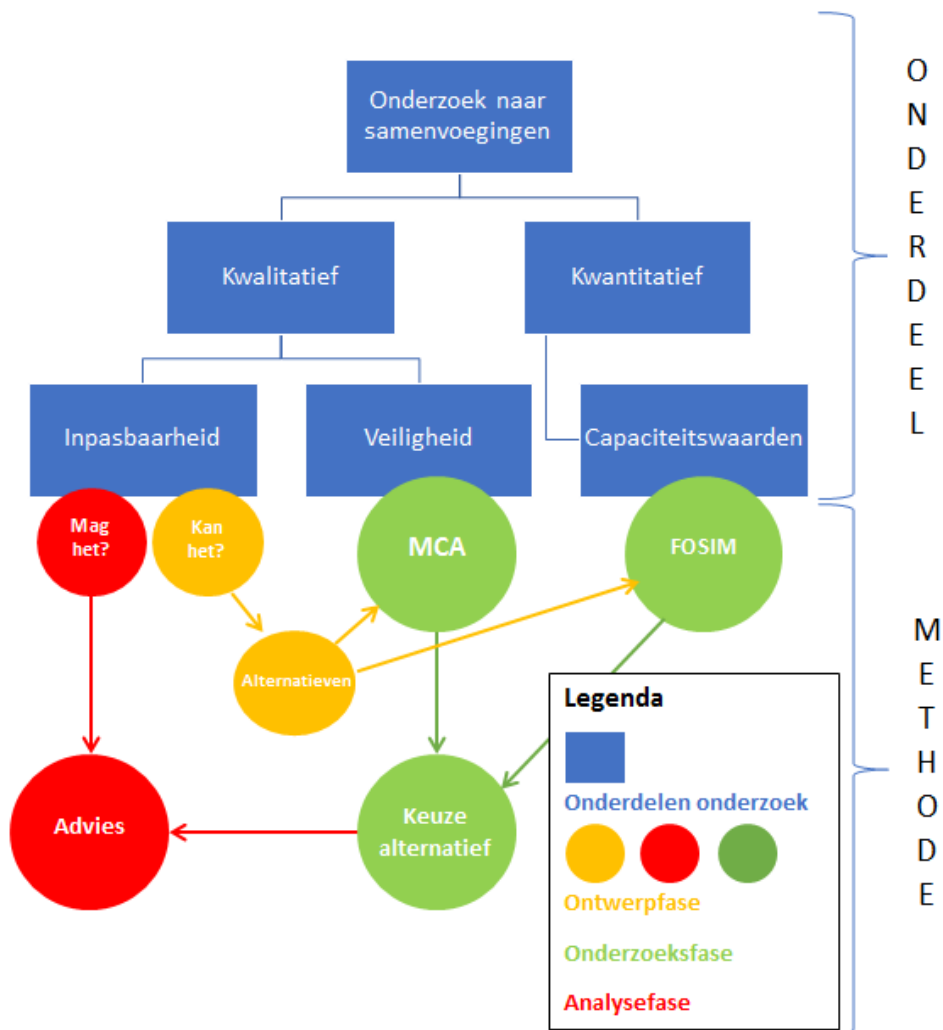
In dit rapport zullen eerst de achtergrond, onderzoekslocaties en vormen van samenvoegen besproken worden. Vervolgens zal het gebruikte simulatieprogramma nader toegelicht worden inclusief de gebruikte methode. Aan het einde van dit rapport zullen de resultaten van het onderzoek getoond worden. Voor uitgebreide figuren, tabellen en afbeeldingen kunnen de bijlages geraadpleegd worden. Tevens zullen er een aantal blauwe kaders in dit rapport gebruikt worden. Hierin wordt uitleg gegeven over keuzes en randzaken omtrent het onderzoek.



Achter in dit rapport een begrippenlijst opgenomen: *14 Begrippenlijst*. Mocht u niet bekend zijn met een begrip of twijfelt u over de betekenis, raadpleeg dan deze lijst.

Leeswaarschuwing: Een samenvoeging heeft niet noodzakelijkerwijs een rijstrookvermindering. In dit onderzoek wordt met 'samenvoeging' een 'samenvoeging met rijstrookvermindering' bedoeld, tenzij anders vermeld.

In Figuur 3-1 is een geschematiseerde opzet van dit onderzoek te zien. Dit gaat met name over de locatie-specifieke oplossingen die onderzocht worden.



Figuur 3-1 Schema met onderdelen van het onderzoek en bijbehorende methodes



4. Samenvoegingen

In dit hoofdstuk worden samenvoegingen besproken. Eerst worden de belangrijkste kenmerken van samenvoegingen beschreven, waarna een inventarisatie wordt gedaan van samenvoegingen en andere Europese landen. In de laatste paragraaf zijn alle onderzoekalternatieven uiteengezet.

4.1 Aspecten samenvoegingen

Bij het analyseren van samenvoegingen zijn twee zaken belangrijk: capaciteit en veiligheid. De capaciteit is van belang omdat dit de doorstroming van een wegvak bepaald. Een hogere capaciteit mag nooit ten koste gaan van de verkeersveiligheid, immers veiligheid in het verkeer gaat boven doorstroming.

4.1.1 Capaciteit

De doorstroming van een wegvak wordt bepaald aan de hand van de capaciteit van een wegvak. Om het capaciteitsprincipe beter te begrijpen zijn er twee begrippen die van elkaar onderscheiden dienen te worden.

Intensiteit

De intensiteit is een waarde voor de hoeveelheid verkeer die daadwerkelijk over een wegvak rijdt, of in de toekomst verwacht wordt. Intensiteiten worden aangegeven in *mvt/h* (motorvoertuigen per uur) op een gegeven doorsnede. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen auto- en vrachtverkeer.

Capaciteit

De capaciteit van een wegvak is kortgezegd de hoeveelheid verkeer die een wegvak per tijdseenheid kan afvoeren. Echter zitten er een aantal voorwaarden aan. Rijkswaterstaat gebruikt de volgende definitie voor capaciteit:

“de capaciteit is het maximaal aantal voertuigen per tijdseenheid (meestal uitgedrukt in motorvoertuigen per uur) waarvan in redelijkheid kan worden aangenomen dat ze een doorsnede of uniform segment van een rijstrook of een rijbaan kunnen passeren gedurende een bepaalde tijdsperiode, onder de heersende weg-, verkeers- en beheerscondities.” (Rijkswaterstaat, 2017)

Capaciteitsbepaling

De capaciteit van een wegvak wordt bepaald met de hoogste intensiteit die gemeten wordt net voordat congestie optreedt op het wegvak. De (verwachte) capaciteit van een wegvak kan op verschillende manieren bepaald worden. In Nederland worden drie standaard methodes gebruikt: metingen, CIA en FOSIM.

In het Nederlandse Rijkswegennet liggen een groot aantal meetlussen, waarmee continu de hoeveelheid verkeer dat over de lus rijdt en de bijbehorende snelheid gemeten wordt. Door

Waarom een simulatiemodel?

In Nederland wordt vrijwel altijd een simulatiemodel gebruikt om capaciteitswaarden te voorspellen. Dit gebeurt zeker bij afwijkende situaties zoals samenvoegingen. In grote landen (zoals de V.S.) is het mogelijk om honderden bestaande wegonwerpen met elkaar te vergelijken. Daarna is het een kwestie van inter- of extrapoleren om tot een goede capaciteitswaarde te komen. Nederland heeft niet de mogelijkheid om bestaande wegonwerpen met elkaar te vergelijken, want er zijn simpelweg te weinig overeenkomende ontwerpen. Daarom wordt er vaak een simulatiemodel gebruikt.



deze resultaten te analyseren, kan de capaciteit van een wegvak bepaald worden.

De CIA is een rapport van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2015) met gestandaardiseerde capaciteitswaarden voor alle voorkomende typen wegvakken in Nederland. In de CIA wordt echter geen rechter afstreping gebruikt voor samenvoegen.

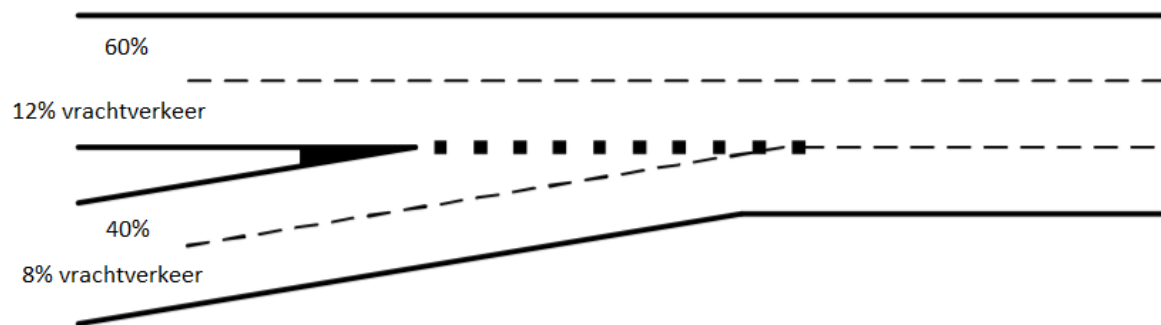
FOSIM is een simulatieprogramma waarmee wegvakken gesimuleerd kunnen worden en daarmee kan de capaciteit van dat wegvak bepaald worden. Waarom een simulatie gebruikt wordt, is uitgelegd in het blauwe kader op de vorige pagina. Uit 100 simulaties met een andere invoer kan zo de mediaan bepaald worden die gezien kan worden als de capaciteit van een wegvak.

Variabelen bij een samenvoeging

Om de capaciteit van een samenvoeging te bepalen, zijn er (naast de vormgeving) drie variabelen die de uiteindelijke capaciteit bepalen:

- Percentage vrachtverkeer op rijbaan 1
- Percentage vrachtverkeer op rijbaan 2
- Verdeling verkeersbelasting op rijbaan 1 en 2

In Figuur 4-1 is een voorbeeld van een tapersamenvoeging weergegeven met de variabelen. Opgemerkt dient te worden dat, ondanks dat er 4 getallen staan, er maar 3 variabelen zijn. De 40% is namelijk afhankelijk van de 60% op de andere rijbaan. Het gaat immers om de verdeling van het verkeer over beide rijbanen.



Figuur 4-1 Voorbeeld tapersamenvoeging met variabelen die van belang zijn bij een samenvoeging

4.1.2 Veiligheid

Zoals bij alle verkeerssituaties is veiligheid het belangrijkste. Als een weg niet veilig is of niet veilig wordt geacht, zal de situatie veranderd worden of, bij een ontwerp, niet aangelegd worden. Bij een samenvoeging zijn twee verkeersveiligheidsaspecten waar alternatieven in verschillen: rijstrookwisselingen van het vrachtverkeer en uitwijkmogelijkheden.

Rijstrookwisselingen vrachtverkeer

Voor vrachtverkeer is het lastiger om van strook te wisselen dan voor personenauto's. Er zijn een aantal eigenschappen omtrent rijstrookwisselingen van vrachtverkeer die van invloed kunnen zijn op de verkeersveiligheid. Voor vrachtverkeer is het gemakkelijker om naar links van strook te wisselen, dan om naar rechts van strook te wisselen. Dit komt door de locatie van de bestuurder. De bestuurder zit namelijk aan de linkerkant van de vrachtwagen. Via zijn spiegels, maar ook 'over de schouder' kan een vrachtwagenchauffeur links kijken of er voldoende ruimte is om van rijstrook te wisselen. Naar rechts is dit een stuk ingewikkelder, omdat hier alleen de spiegels gebruikt kunnen worden, die ook nog eens een vertekend beeld geven. In 15.10 Bijlage J: Rijstrookwisselingen vrachtverkeer staan figuren die het rijstrookwisselgedrag van vrachtverkeer inzichtelijk maken.



Uitwijkmogelijkheden

De uitwijkmogelijkheid van de samenvoeging is ook van belang voor de verkeersveiligheid. Hiermee wordt namelijk de ‘vergevingsgezindheid’ van een weg bepaald. Daarmee wordt bedoeld dat als een weggebruiker een fout maakt, de gevolgen niet meteen catastrofaal zijn. Verschillende samenvoegingen hebben verschillende uitwijkmogelijkheden. Deze worden in de volgende paragraaf beschreven.

4.2 Nederland versus andere Europese landen

In Europa worden er een aantal manieren gebruikt om autosnelwegen (of de in het desbetreffende land equivalente wegen) samen te voegen. In Nederland worden een aantal vormen van samenvoegen toegepast. De ene variant wordt vaker toegepast dan de andere variant. Voor een ‘normale’ samenvoeging van 4 naar 3 rijstroken, dat wil zeggen zonder andere wegconfiguraties zoals afritten, toeritten, etc., worden in Nederland de volgende samenvoegingen gebruikt:

- Tapersamenvoeging
- Linker rijstrook beëindigen middels afstrepen

Een andere vorm, die minder vaak toegepast wordt is een:

- Ingeklemde invoeging

Echter wordt er elders in Europa ook vaak gebruik gemaakt van een rechter afstreping met grote verschillen in vormgeving. (Google, 2018) In Tabel 4-1 is de vormgeving in verschillende landen uiteengezet. Volgens de Nederlandse richtlijnen is een rechter afstreping bij een samenvoeging geen optie (Rijkswaterstaat, 2017), al komt deze toch voor in maatwerkoplossingen bij knooppunt Ressen en Velperbroek (Cyclo media, 2018). Ondanks het feit dat deze optie niet in de ROA staat, zal de optie onderzocht worden om te onderzoeken of een rechter afstreping betere capaciteit en veiligheid oplevert dan andere samenvoegingen. Dat betekent dat naast bovenstaande samenvoegingen ook een rechter afstreping onderzocht zal worden:

- Rechter rijstrook beëindigen

Tabel 4-1 Vormgeving rechter afstreping in Europa

	En*	Ie	Be	Fr	De	Dan	Es	CH	Lux	Au	It
Rechter afstreping	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Markering											
- Blok	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗
- Onderbroken	✗	✗	✗	✓	✓		✗	✓	✓	✓	✓
- Onderbr./Doorg.	✗	✗	✓	✗	✗		✓	✗	✗	✗	✗
Pijlen	✓	✗	✓	✗	✗		✓	✓	✓	✓	✗
Verdrijfvlak	✓	✗	✓	✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗
	* Niet altijd met verdrijfvlak										



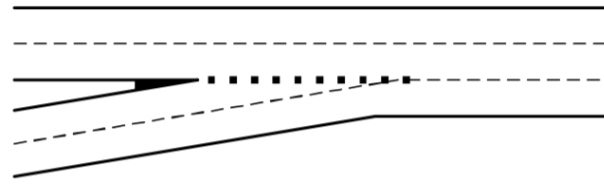
4.3 Alternatieven

Hieronder wordt per type samenvoeging de vormgeving en het verkeersverloop besproken.

4.3.1 Tapersamenvoeging

Vormgeving

Bij een tapersamenvoeging wordt de linker rijstrook van de samenvoegende rijbaan direct opgenomen in de rechter rijstrook van de hoofdrijbaan. Door deze directe samenvoeging, is dit type samenvoeging zeer compact. Een voertuig op de taperende rijstrook, heeft de keuze naar links of naar rechts te gaan. In Figuur 4-2 is een schematische weergave van een tapersamenvoeging te zien. In Figuur 14-2 op pagina 37 is een gedetailleerde weergave te zien.



Figuur 4-2 Schematische weergave van een tapersamenvoeging

Verkeersverloop

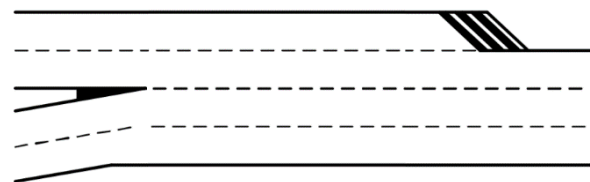
Een tapersamenvoeging voelt voor veel mensen heel “eng of naar”. Toch is de samenvoeging onder normale omstandigheden veilig. Er is geen wetenschappelijk bewijs dat tapersamenvoegingen meer ongevallen opleveren dan andere vormen van samenvoegen, al is dit deels te wijten aan het gebrek aan gegevens. Een tapersamenvoeging kan onveilig worden als er grote snelheidsverschillen ontstaan tussen rijbanen of -stroken. Hierdoor kan een voertuig op de taperende rijstrook in de knel komen met als mogelijk gevolg een noodstop of andere gevaarlijke manoeuvre.

Bij een standaard taper configuratie, is er één stroom vrachtverkeer dat één keer naar rechts van rijstrook moet verwisselen. Er is verder geen uitwijkmogelijkheid omdat er aan beide kanten van de taper verkeer rijdt.

4.3.2 Linker rijstrook afstrepen

Vormgeving

Een linker afstreping wordt in Nederland veelvuldig toegepast. De linker rijstrook wordt na minimaal 750 meter (mag langer zijn) afgestreept, waarna een verdrijvingsvlak van 100 meter voertuigen de kans op uitwijken biedt (zie Figuur 4-3).



Figuur 4-3 Linker afstreping

Verkeersverloop

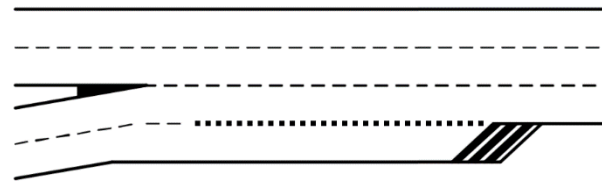
Een linker afstreping wordt in Nederland vaak gebruikt als rijstrookbeëindiging. Een groot voordeel van de linker rijstrookbeëindiging op een doorgaande weg is het feit dat vrachtverkeer niet van rijstrook hoeft te wisselen. Echter, bij een samenvoeging van 2x2 rijstroken, moet één stroom vrachtverkeer twee keer van rijstrook wisselen naar rechts. Zoals hiervoor al beschreven is rijstrook wisselen naar rechts erg ingewikkeld voor vrachtverkeer. Een ander fenomeen dat zich voordoet op de linker rijstrook is dat snel autoverkeer (> 120 km/h) plotsklaps moet remmen bij de afstreping omdat er van rijstrook gewisseld dient te worden naar een langzamere rijstrook. De uitwijkmogelijkheid beperkt zich normaliter tot het verdrijvingsvlak van +/- 100 meter lengte.

4.3.3 Rechter rijstrook afstrepen

Vormgeving



Bij een rechter afstreping vervalt de rechter rijstrook. De lengte van de afvallende strook dient ten minste 750m te zijn, gemeten vanaf het convergentiepunt, afgaande op de richtlijn voor een linker afstreping (Rijkswaterstaat, 2017). In Figuur 4-4 is een schematische weergave van een rechter afstreping te zien.



Figuur 4-4 Rechter afstreping met blokmarkering en verdrijfvlak

Een extra aandachtspunt is het feit dat een rechter afstreping niet vernoemd staat in de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (Rijkswaterstaat, 2017). Dit betekent dat de vormgeving bij een rechter afstreping niet vast staat. Zo kan er blokmarkering worden aangebracht (in tegenstelling tot een linker afstreping). Hierdoor krijgt het een vormgeving die lijkt op invoegen. De verdrijfstrepen aan het einde van de invoeging zijn ook optioneel, evenals pijlen op de weg. Bij een linker afstreping worden ze standaard gebruikt, maar bij een normale invoeging wordt hier geen gebruik van gemaakt. Echter wordt op Knooppunt Ressen (A325 Arnhem -> A15 Bommel) en knooppunt Velperbroek (A325 Nijmegen -> A12 Duiven) (Cyclo media, 2018) wel gebruik gemaakt van een verdrijfvlak en pijlen bij een rechter afstreping. In andere landen in Europa zijn er diverse varianten. In 15.9 Bijlage I: Voorbeelden samenvoegen staan meerdere Europese voorbeelden.

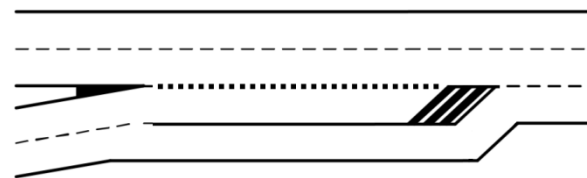
Verkeersverloop

Een rechter afstreping heeft het voordeel dat beide stromen vrachtverkeer slechts één keer van rijstrook hoeven te wisselen. Een ander voordeel is dat het verkeer op de samenvoegende rijstrook een beduidend lagere snelheid heeft dan op een linker afstreping (> 120 km/h vs. 80 km/h), waardoor er over dezelfde afstand meer tijd is om in te voegen. Ook is er voldoende uitwijkmogelijkheid in de vorm van de vluchtstrook. Een mogelijk nadeel is dat deze samenvoeging in Nederland echter zelden toegepast wordt.

4.3.4 Ingekleemde invoeging

Vormgeving

Een ingeklemde invoeging is een op het eerste gezicht wat vreemde samenvoeging. Deze samenvoeging laat namelijk rijstrook 3 (wat de linker rijstrook van de samenvoegende rijbaan is) invoegen op de hoofdrijbaan. Rijstrook 4 (de rechter rijstrook van de samenvoegende rijbaan) wordt hier omheen geleid en wordt vervolgens



Figuur 4-5 Ingekleemde invoeging

aan de hoofdrijbaan toegevoegd als rijstrook 3 (zie Figuur 4-5). De invoegstrook dient 350m lang te zijn, waarna na een afstreping van 50m tot 100m de 4^e rijstrook samenvoegt met de hoofdrijbaan. Hierdoor is de lengte van de samenvoeging relatief kort. Deze samenvoeging kan ook wel gezien worden als een verlengde taper. Deze vorm van samenvoegen werd voorheen gebruikt bij knooppunt Ewijk bij de samenvoeging van de A50 en de A73 richting Arnhem indien de spitsstrook geopend was en is derhalve niet nieuw op het Rijkswegennet.

Verkeersverloop

Vanwege de veiligheid wordt een ingeklemde invoeging alleen aan de rechterzijde van de weg toegepast. Aan de linkerkant zou het vrachtverkeer namelijk via een invoegstrook moeten invoegen, wat te veel gevaarlijke situaties met zich meebrengt. Het voordeel van een ingeklemde invoeging is dat er slechts één stroom vrachtverkeer één keer van rijstrook moet wisselen. Een nadeel is dat er relatief weinig uitwijkmogelijkheden zijn omdat er aan beide kanten van de samenvoegende rijstrook een andere rijstrook ligt.



4.3.5 Overige samenvoegingen

Voor de onderzoekslocaties die in dit onderzoek beschouwd worden, zijn een aantal andere alternatieven opgesteld. Deze alternatieven zijn doorgerekend om voor de desbetreffende locatie tot een passende oplossing te komen. Omdat deze oplossingen geen onderdeel zijn van het algemene onderzoek, staan deze alternatieven genoemd in 15.11 Bijlage K: Overige samenvoegingen.

4.4 Onderzoeksalternatieven

In dit onderzoek zijn voor de onderzoekslocaties Paalgraven, Grijsoord, Waterberg, Azelo en Buren de samenvoegingen bestudeerd. Omdat in de huidige situatie de intensiteit al verschillend is per rijbaan (ongeveer 40%/60% - 50%/50% - 60%/40%) worden alleen de percentages vrachtverkeer gevarieerd. De uiteindelijke resultaten hebben de vorm zoals weergegeven in Figuur 4-6. Waarbij de percentages achter de steden het percentage verkeer per rijbaan aangeeft en de oplopende percentages het percentage vrachtverkeer van de bijbehorende rijbaan aangeeft. Hierin wordt per alternatief met bijbehorende verkeerseigenschappen de capaciteit ingevuld. Elk knooppunt krijgt zo'n tabel.

Knooppunt Azelo - Tapersamenvoeging					Knooppunt Azelo - Rechter afstreping					Knooppunt Azelo - Linker afstreping					Knooppunt Azelo - Ing. Invoeging								
Deventer - 43 %	Almelo - 57 %				Deventer - 43 %	Almelo - 57 %				Deventer - 43 %	Almelo - 57 %				Deventer - 43 %	Almelo - 57 %							
	2%	5%	10%	15%		2%	5%	10%	15%		2%	5%	10%	15%		2%	5%	10%	15%				
	2%					2%					2%					2%				2%			
	5%					5%					5%					5%				5%			
	10%					10%					10%					10%				10%			
	15%					15%					15%					15%				15%			
20%				20%				20%				20%				20%							

Figuur 4-6 Resultatentabel voor knooppunt Azelo per vrachtverkeerpercentagecombinatie



5. Onderzoeklocaties

Binnen het gebied dat onder beheer staat van Rijkswaterstaat Oost-Nederland zijn vier tapersamenvoegingen op Rijkswegen die onderzocht gaan worden. Tevens zal één tapersamenvoeging gelegen in Zuid-Nederland (Paalgraven) onderzocht worden. Deze tapersamenvoegingen bevinden zich bij de volgende knooppunten:

- Paalgraven (Oss / NB)
- Grijsoord (Arnhem / GLD)
- Waterberg (Arnhem /GLD)
- Azelo (Almelo / OV)
- Buren (Hengelo / OV)

In Figuur 5-2 is een overzichtkaart met de knooppunten te zien. In de volgende paragrafen zullen de locaties verder toegelicht worden. Uitgebreidere kaarten, figuren en tabellen zijn te vinden in 15.3 *Bijlage C: Locatietekeningen*.



Figuur 5-2 Overzichtkaart Oost-Nederland met de locaties die onderzocht zijn

5.1 Knooppunt Paalgraven (A50/A59)

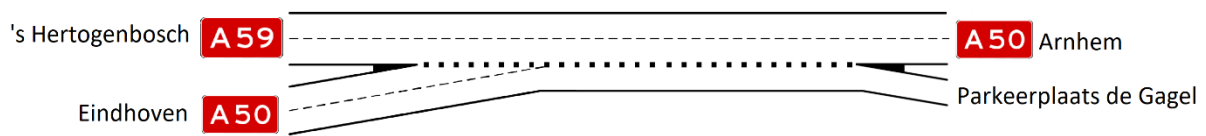
Knooppunt Paalgraven is een onvolledig knooppunt nabij Oss. Met onvolledig wordt bedoeld dat voor sommige rijrichtingen de snelweg dient te worden verlaten. Het knooppunt verbindt het einde van de A59 met de A50. De tapersamenvoeging bevindt zich op de rijbaan richting Arnhem/Zwolle, waarbij de A50 de samengevoegde rijbaan is en de A59 de hoofdrijbaan. Figuur 5-1 geeft een weergave van knooppunt Paalgraven, inclusief de locatie en richting van de tapersamenvoeging. De tapersamenvoeging van knooppunt Paalgraven, is een



Figuur 5-1 Knooppunt Paalgraven



bijzondere tapersamenvoeging. Het is namelijk taper/weefvak constructie. Dit betekent dat er 2x2 rijstroken overgaan in 2 rijstroken en 1 uitvoegstrook. In Figuur 5-3 is een schematische weergave van knooppunt Paalgraven weergegeven.



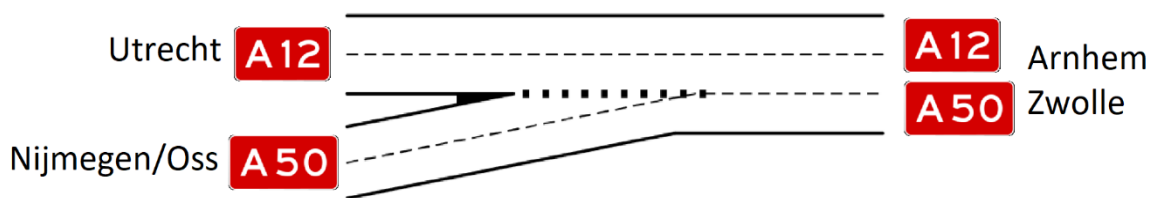
Figuur 5-3 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Paalgraven

5.2 Knooppunt Grijsoord (A50/A12)

Knooppunt Grijsoord bevindt zich ten noordwesten van Arnhem. Het verbindt de A12 met de A50 richting het zuiden. Ten oosten van knooppunt Grijsoord maakt de A50 deel uit van de A12 tot aan knooppunt Waterberg. De tapersamenvoeging bevindt zich op de rijbaan richting het oosten, waar de A12 de hoofdrijbaan vormt en de A50 de samenvoegende rijbaan is. Figuur 5-4 geeft een weergave van Knooppunt Grijsoord, inclusief de locatie en de richting van de tapersamenvoeging. In Figuur 5-5 is een schematische weergave te zien van Knooppunt Grijsoord. Deze samenvoeging kan beschreven worden als een standaard tapersamenvoeging met 2 rijstroken op de hoofdrijbaan.



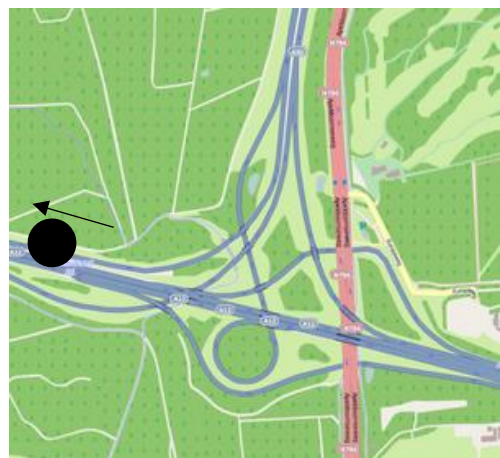
Figuur 5-4 Knooppunt Grijsoord



Figuur 5-5 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Grijsoord

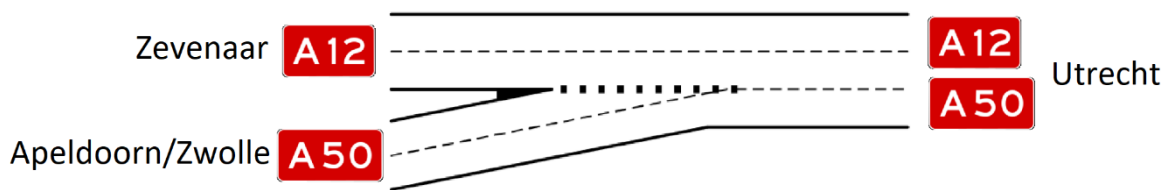
5.3 Knooppunt Waterberg (A50/A12)

Knooppunt Waterberg bevindt zich ten noorden van Arnhem. Het verbindt de A12 met de A50 richting het noorden. Ten westen van knooppunt Waterberg maakt de A50 deel uit van de A12, tot knooppunt Grijsoord. De tapersamenvoeging bevindt zich op de rijbaan richting het westen, waarbij de A12 de hoofdrijbaan is, en de A50 de samenvoegende rijbaan is. Figuur 5-6 geeft een weergave van knooppunt Waterberg inclusief de locatie en de richting van de tapersamenvoeging. In Figuur 5-7 is een schematische weergave te zien van de tapersamenvoeging van knooppunt Waterberg. Deze samenvoeging valt te beschrijven als een standaard tapersamenvoeging met 2 rijstroken op de hoofdrijbaan.



Figuur 5-6 Knooppunt Waterberg





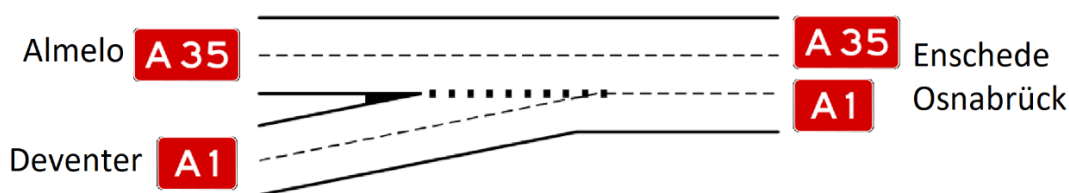
Figuur 5-7 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Waterberg

5.4 Knooppunt Azelo (A35/A1)

Knooppunt Azelo bevindt zich ten zuiden van Almelo en verbindt de A35 met de A1 richting het westen. Ten zuidoosten van knooppunt Azelo maakt de A1 deel uit van de A35 tot knooppunt Buren. De tapersamenvoeging bevindt zich op de rijbaan richting het zuidoosten, waarbij de A35 de hoofdrijbaan is en de A1 de samenvoegende rijbaan is. Figuur 5-8 geeft een weergave van knooppunt Azelo inclusief de locatie en de richting van de tapersamenvoeging. In is een schematische weergave te zien van de tapersamenvoeging van knooppunt Azelo. Deze samenvoeging valt te beschrijven als een standaard tapersamenvoeging met 2 rijstroken op de hoofdrijbaan.



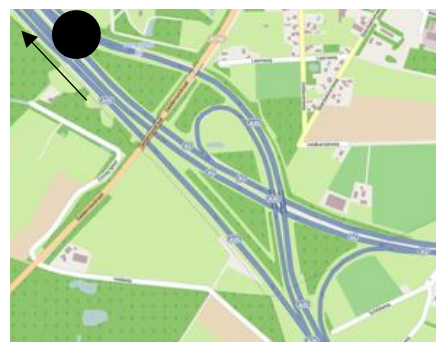
Figuur 5-8 Knooppunt Azelo



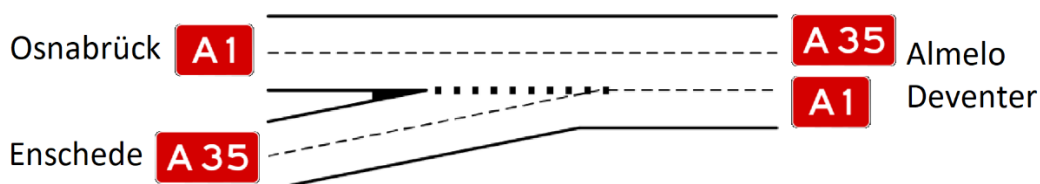
Figuur 5-9 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Azelo

5.5 Knooppunt Buren (A35/A1)

Knooppunt Buren bevindt zich ten noordwesten van Hengelo en verbindt de A35 met de A1 richting het oosten. Ten noordwesten van knooppunt Buren maakt de A1 deel uit van de A35 tot knooppunt Azelo. De tapersamenvoeging bevindt zich op de rijbaan richting het noordwesten, waarbij de A1 de hoofdrijbaan is en de A35 de samenvoegende rijbaan is. Figuur 5-10 geeft een weergave van knooppunt Buren inclusief de locatie en de richting van de tapersamenvoeging. In Figuur 5-11 is een schematische weergave te zien van de tapersamenvoeging van knooppunt Buren. Deze samenvoeging valt te beschrijven als een standaard tapersamenvoeging met 2 rijstroken op de hoofdrijbaan.



Figuur 5-10 Knooppunt Buren



Figuur 5-11 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Buren



6. Beoordelingskader

In dit hoofdstuk wordt het beoordelingskader van de alternatieven geschetst. Er wordt aangegeven waarmee en hoe alternatieven vergeleken zullen worden en hoe de betrouwbaarheid van alternatieven wordt bepaald.

6.1 Multi Criteria Analyse

Om te bepalen welk alternatief de beste oplossing biedt voor de samenvoegingen in dit onderzoek, wordt er voor iedere locatie een Multi-criteria analyse (MCA) uitgevoerd. De factoren waarop een oplossing getoetst wordt, zullen voor 50% bestaan uit capaciteit en voor 50% uit veiligheid. Hierbij wordt kwaliteit uitgesplitst in onderstaande aspecten (percentages zijn deel van het geheel):

- Uitwijkmogelijkheden (25%)
- Aantal rijstrookwisselingen vrachtverkeer (8%)
- Aantal rijstrookwisselingen naar rechts vrachtverkeer (8%)
- Aantal rijstrookwisselingen naar links vrachtverkeer (8%)

Voor elke eigenschap wordt een waarde toegekend van 1 tot 5. Bij de capaciteit wordt de waarde geschaald en afgerond naar het hoogste getal. In het voorbeeld in het kader is de werkwijze getoond.

Voor alle andere eigenschappen die met aantallen aangegeven worden, wordt diezelfde methode gebruikt. In *15.8 Bijlage H: Multi-criteria analyse* staat dit uitgebreid beschreven.

De uitwijkmogelijkheden worden geschaald naar eigen inzicht, waarbij logisch nagedacht wordt. Deze toekenning zal per situatie beschreven worden. Voor een exacte uitleg over de MCA zie *15.8 Bijlage H: Multi-criteria analyse*.

Gedurende het onderzoek is een gevoeligheidsanalyse gedaan wat betreft de scoretoekenning van de MCA. Hieruit bleek dat de gevoeligheid van de MCA zeer laag is, wat in de praktijk betekent dat het niet uitmaakt welke verhouding toegepast wordt. Daarom is er gekozen om de scores overall gelijkwaardig te verdelen.

Aangezien dit onderzoek gericht is op een verbetering van de bestaande tapsamenvoegingen, en alle alternatieven ongeveer dezelfde kosten met zich meebrengen, worden de kosten niet meegenomen in de MCA. Als er wel grote kostenverschillen tussen de samenvoegingen zitten, wordt dit in de aanbeveling naar voren gebracht. Mocht er besloten worden de tapsamenvoegingen daadwerkelijk te veranderen, is het aan te raden om bij gelijkwaardige MCA resultaten de factor kosten alsnog toe te voegen.

Tevens wordt een aparte MCA uitgevoerd voor de vier standaardoplossingen wat betreft de veiligheid. Zo kan aangetoond worden welke standaardoplossing de veiligste oplossing is.

Waardetoekenning

De capaciteiten worden geschaald op een schaal van 1 tot 5 op gehele getallen afgerond. Hiertoe wordt de laagste capaciteit gelijk gesteld aan 1 en de grootste capaciteit aan 5. De overige worden geschaald tussen deze twee cijfers. Stel de volgende dataset voor: [30 20 16 12 24]. 12 is de laagste waarde en krijgt score 1, 30 is de hoogste waarde en krijgt score 5. $30 - 12 = 18$, verdeeld over 4 stappen wordt elke stap dus $18/4 = 4,5$. Het getal 16 komt uit op: $1 + (16-12)/4,5 = 1,888... \rightarrow 2$. 20 wordt: $1 + (20-12)/4,5 = 2,777... \rightarrow 3$. Etc.



6.2 Significantie

Om te bepalen of de uitkomsten significant zijn, is voor een aantal uitkomsten een statistische test uitgevoerd worden. De beste test om 2 waarden met elkaar te vergelijken is de u-toets voor gemiddelden. (van Soest, 1983) Hierbij dient te worden opgemerkt dat de significantietest gedaan wordt over het gemiddelde, terwijl de capaciteitswaarden bepaald worden aan de hand van de mediaan. Omdat de gemiddelden en de mediaan nauwelijks afwijken, mag er van worden uitgegaan dat als het verschil in gemiddelden significant is, het verschil in medianen ook significant is. In de praktijk zorgt dit niet voor problemen.



7. Freeway Operations Simulation (FOSIM)

Om te onderzoeken welke samenvoeging de hoogste (locatie-specifieke) capaciteit heeft, wordt een simulatieprogramma gebruikt. Dit programma, dat ontwikkeld is door een samenwerking van de TU Delft en Rijkswaterstaat heet FOSIM (Freeway Operation SIMulations) en is speciaal ontworpen voor het Nederlandse (Rijks)wegennet. Omdat FOSIM gekalibreerd en gevalideerd is op het Nederlandse wegennet en er in dit onderzoek alleen vergelijkingen worden gemaakt, wordt het model niet opnieuw gekalibreerd. (Rijkswaterstaat; Ministerie van Infrastructuur en Milieu; Water, Verkeer en Leefomgeving, 2018) Hieronder wordt kort het concept achter het programma uitgelegd. In 15.1 Bijlage A: beschrijving FOSIM, 15.2 Bijlage B: Invoer FOSIM: Linker afstreping knooppunt Grijsoord en 15.4 Bijlage D: Invoergegevens FOSIM staan respectievelijk een uitgebreide beschrijving van FOSIM, een voorbeeldsimulatie zoals uitgevoerd in dit onderzoek en de invoergegevens voor alle simulaties.

Capaciteitswaarden in FOSIM

De capaciteitswaarden die in simulatieprogramma FOSIM berekend worden, komen niet altijd overeen met de exacte waarde op een wegvak. Zo houdt FOSIM geen rekening met locatie- of tijdsspecifieke (bijv. smalle rijstroken resp. slecht weer) kenmerken. Echter, omdat geen enkele simulatie deze kenmerken meeneemt, is de waarde uit FOSIM een goede waarde om mee te vergelijken.

7.1 Concept achter FOSIM

FOSIM heeft in de basis een vrij simpel concept. Het programma plaatst voertuigen op een wegvak en laat deze naar van links naar rechts over het wegvak bewegen. Op welke rijstrook een voertuig begint, hangt af van (gewogen) loting. In principe rijdt een voertuig op de rechter rijstrook met een wensnelheid. Mocht het voertuig een ander voertuig tegenkomen, gaat het voertuig inhalen. Hiervoor wisselt het voertuig van rijstrook, haalt het tragere voertuig in, en wisselt vervolgens weer terug van rijstrook. Mocht een voertuig niet van rijstrook kunnen wisselen, of na een rijstrookwisseling achter een trager voertuig komen te zitten, gaat het voertuig decelereren. Mocht er daarna weer ruimte ontstaan, volgt acceleratie. De exacte volgafstanden, deceleratie- en acceleratieparameters en andere voertuigeigenschappen zijn standaard in FOSIM ingevoerd, en verdeeld over vijf verschillende voertuigtypen (3x personenauto's, 2x vrachtverkeer). Het advies is om hier niets aan te veranderen voor het Nederlandse wegennet (Rijkswaterstaat; Ministerie van Infrastructuur en Milieu; Water, Verkeer en Leefomgeving, 2018). Voor invoegen en samenvoegen is nog een ander principe van belang, namelijk de "gewenste en verplichte strookwisselafstanden". In



Figuur 7-1 Schematische weergave gewenst en verplicht strookwisselen i.c.m. kans en risico



het model kunnen deze toegewezen worden aan een rijstrook, als strookwisseling noodzakelijk is, bijvoorbeeld bij een rijstrookbeëindiging. FOSIM gaat er namelijk van uit dat er een lineaire kans bestaat dat men in zal voegen in de “gewenste strookwisselafstand”. Deze lineaire kansverdeling loopt van 0 tot 1 (FOSIM bepaalt dit, dit valt niet te veranderen). Dit komt er op neer, dat bij de start van het gewenste strookwisselgebied, geen enkel voertuig de wens heeft in te voegen, terwijl aan het einde van het gewenste strookwisselgebied, alle voertuigen de wens hebben in te voegen (zie Figuur 7-1). Dit betekent niet automatisch dat de voertuigen daadwerkelijk invoegen. Er moet immers wel voldoende ruimte (een groot genoeg hiaat) zijn op de naastliggende rijstrook. Als er geen ruimte is, zal het voertuig door blijven rijden tot het voertuig zich op een gegeven moment bevindt in het verplichte strookwisselgebied. Hier is de kans dat het voertuig in wil voegen altijd 1. Echter loopt hier het risico dat voertuigen willen nemen om in te voegen op. In het gewenste strookwisselgebied is het risico dat een voertuig aanvaard, even groot als het risico wanneer het voertuig normaal voortbeweegt. In het verplichte strookwisselgebied loopt dit echter op, met een heel hoog risico aan het einde van dit gebied. Dit komt er in de praktijk op neer dat voertuigen aan het einde van het verplichte strookwisselgebied bij een heel klein hiaat in zullen voegen, waardoor achterliggende voertuigen plotseling moeten afremmen. Door te variëren in de afstanden van de gewenste en verplichte strookwisselgebieden, kan de capaciteit veranderen. In *15.5 Bijlage E: Resultaten gevoeligheidsanalyses* staat een analyse van de lengte van strookwisselgebieden op knooppunt Grijsoord. In de werkelijkheid kunnen deze afstanden beïnvloed worden door de plaats van de bewegwijzering op de autosnelweg.

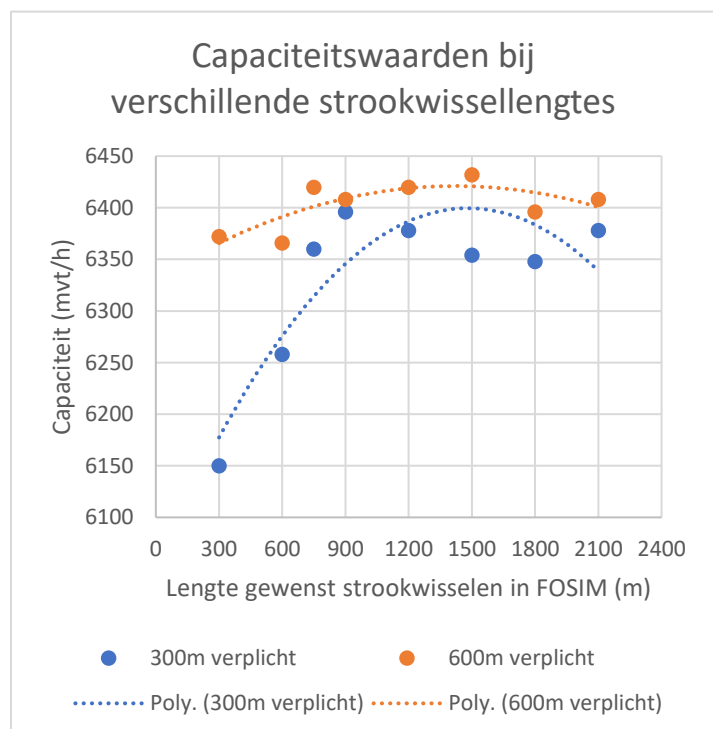
7.2 Gevoeligheid parameters

Er zijn gedurende dit onderzoek twee gevoeligheidsonderzoeken geweest. Dit was betreft de lengte van de strookwisselgebieden en de lengte van de samenvoegende rijstrook, beide bij een rechter afstreping. Deze zogenaamde ‘gevoeligheidsanalyses’ staan uitgebreid beschreven in *15.5 Bijlage E: Resultaten gevoeligheidsanalyses*.

7.2.1 Lengte strookwisselgebieden

Uit het onderzoek omtrent de lengte van strookwisselgebieden kwamen een aantal belangrijke aspecten naar voren. Het eerste aspect was dat bij een verplicht strookwisselgebied van 300m verkeer abrupt op de rem gaat staan hierdoor zou het een grote invloed kunnen hebben op de capaciteitswaarde van een wegvak. Bij een waarde van 600m is die invloed veel kleiner, daarom is die waarde genomen tijdens het onderzoek.

De gewenste strookwissellengte had bij het 600m verplichte strookwisselgebied weinig invloed (zie Figuur 7-2) . Daarom is er per situatie een gewenste strookwisselafstand bepaald die met de werkelijkheid overeen komt.



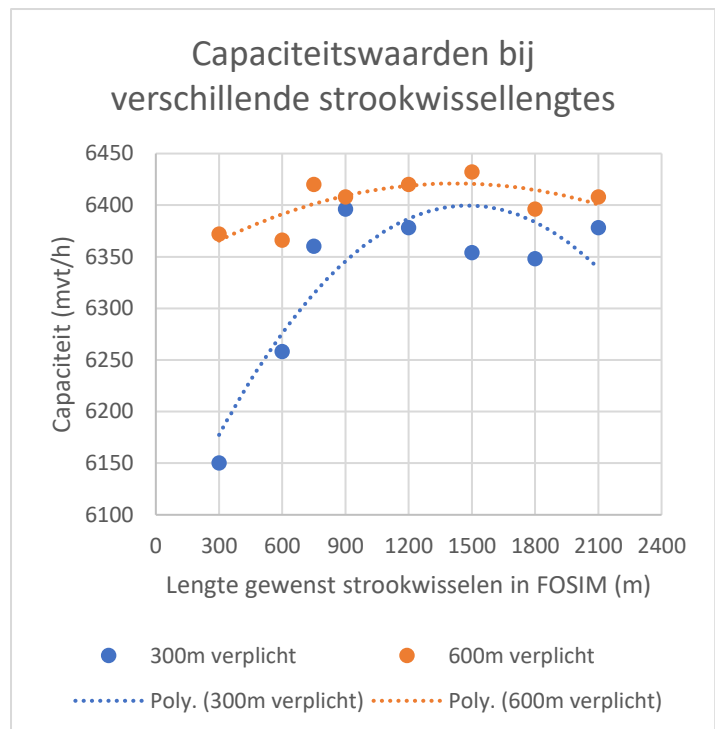
Figuur 7-2 Capaciteitswaarden bij verschillende strookwissellengtes



7.2.2 Lengte rijstrook

Ook de lengte van de samenvoegende rijstrook kan van belang zijn voor de capaciteit. Uit deze gevoeligheidsanalyse kwam het resultaat dat de capaciteit van een wegvak langzaam toeneemt met een toenemende lengte van de samenvoegende rijstrook tot het moment dat de rijstrook langer is dan het totale strookwisselgebied (verplicht + gewenst). (zie Figuur 7-3)

In de praktijk blijken beide resultaten niet zo veel invloed te hebben dat ze de uitkomsten van de locatie-specifieke resultaten sterk beïnvloeden.



Figuur 7-3 Capaciteitswaarden bij verschillende strookwissellengtes



8. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek beschreven. Eerst worden algemene resultaten beschreven, waarna de verschillen tussen de vormen van samenvoegen beschreven worden. Als laatste worden locatie-specifieke oplossingen beschreven.

8.1 Algemene resultaten

8.1.1 Veiligheid

Een alternatief kan niet worden toegepast als het niet veilig is. In dit onderzoek is een analyse gemaakt van de veiligheid. Voor de vier standaardvormen van samenvoelingen zijn de resultaten te zien in Figuur

		Weging	Taper	Rechts afstrepen	Links afstrepen	Ingekleemde invoeging
Rijstrookwisselingen vrachtverkeer	Totaal	16,7	5	1	1	5
	Rechts	16,7	3	3	1	3
	Links	16,7	5	4	5	5
Uitwijkmogelijkheden		50	1	5	2	3
Totaal			2,7	3,8	2,2	3,7

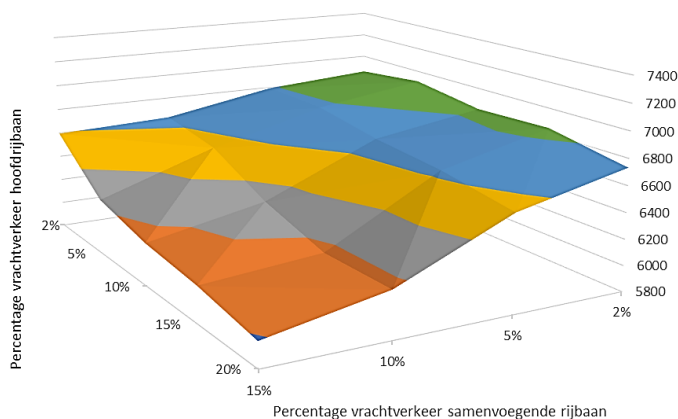
Figuur 8-1 Resultaten MCA veiligheidsaspecten

8-1. Hieruit blijkt dat een rechter afstreping veiliger is dan een taper en een linker afstreping. De ingeklemde invoeging doet niet veel onder voor de rechter afstreping. Aangezien een linker afstreping en een taper in het huidige wegennet veelvuldig gebruikt worden (en dus als veilig kunnen worden beschouwd), kan er geconcludeerd worden dat zowel een rechter afstreping als een ingeklemde invoeging veiliger zijn en dus toegepast kunnen worden.

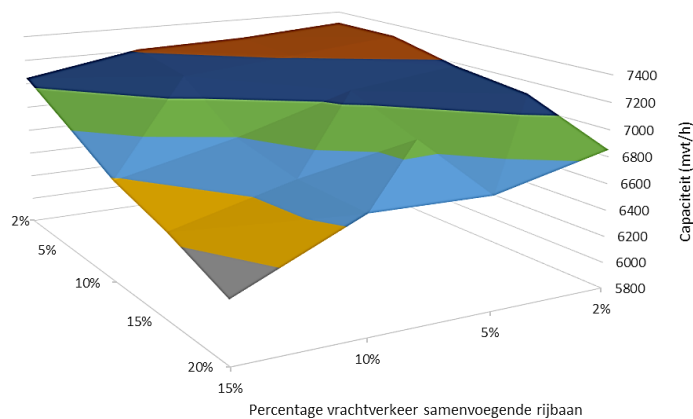
8.1.2 Capaciteiten

Het resultaat van dit onderzoek zijn een aantal tabellen waarin, bij gegeven verdeling van verkeer en percentages vrachtverkeer, de capaciteit per samenvoeging gegeven is. Bij het ontwerpen van een nieuwe samenvoeging, kan dus opgezocht worden welke samenvoeging de hoogste capaciteit heeft. Er vallen een aantal resultaten op. Capaciteiten van een wegvak zijn hoger bij lagere percentages vrachtverkeer, wat een logisch fenomeen is. Het verschil in capaciteiten wordt kleiner naarmate het percentage vrachtverkeer op de samenvoegende rijbaan oploopt, maar het verschil in capaciteit tussen alternatieven wordt groter bij hogere percentages vrachtverkeer op de hoofdrijbaan. Dat fenomeen is goed te zien in Figuur 15-69 op pagina 87. In Figuur 8-2 is een grafische weergave te zien van de capaciteiten van zowel een tapersamenvoeging als een rechter afstreping bij dezelfde verkeersbelasting. Duidelijk is te zien dat een rechter afstreping met elke mogelijke verkeersbelasting

Capaciteiten Tapersamenvoeging bij 57% verkeer op hoofdrijbaan



Capaciteiten Rechter Afstreping bij 57% verkeer op hoofdrijbaan



■ 5800-6000 ■ 6000-6200 ■ 6200-6400 ■ 6400-6600 ■ 6600-6800 ■ 6800-7000 ■ 7000-7200 ■ 7200-7400

■ 5800-6000 ■ 6000-6200 ■ 6200-6400 ■ 6400-6600 ■ 6600-6800 ■ 6800-7000 ■ 7000-7200 ■ 7200-7400

Figuur 8-2 Capaciteiten van een tapersamenvoeging en een rechter afstreping bij dezelfde verkeersbelastingen



een hogere capaciteit heeft dan de tapersamenvoeging.

8.2 Verschillen tussen alternatieven

Uit het onderzoek komt een duidelijk resultaat naar boven. Een rechter afstreping is bij een normale 2+2 → 3 samenvoeging altijd de beste oplossing qua capaciteit. Zoals hierboven al beschreven is, is een rechter afstreping ook altijd de veiligste oplossing. Dit maakt het dat een rechter afstreping vrijwel altijd de voorkeur heeft voor een samenvoeging van deze configuratie. Dat blijkt later ook uit de MCA's voor de locatie specifieke alternatieven.

Een rechter afstreping behaalt bij de verkeersbelastingen die voorkomen op de onderzochte knooppunten tussen 5% en 10% meer capaciteit dan een tapersamenvoeging. Dat is geen incidentele stijging, zoals bij een linker afstreping meer het geval is, maar is bij alle (normale) verkeersbelastingen het geval. In Tabel 8-1 zijn de capaciteitsverschillen bij de huidige verkeersbelastingen op de onderzochte knooppunten weergegeven. In Figuur 15-69 op pagina 87 staan voor alle gesimuleerde verkeersbelastingen die procentuele verschillen in capaciteit.

Tabel 8-1 Range van de capaciteiten bij de huidige verkeersbelastingen op de onderzochte knooppunten

	Range verschil bij bestaande verkeersbelastingen t.o.v. taper ¹
Linker afstreping	▼ 7% - ▲ 6%
Rechter afstreping	▲ 6% - ▲ 10%
Ingeklemde invoeging	▼ 12% - ▼ 1%

¹ Knooppunt Paalgraven is buiten beschouwing gelaten

Om te bepalen of de resultaten verkregen uit de FOSIM simulaties significante verschillen aangeven, is er een statistische toets gedaan. In 15.12 Bijlage L: Statistische toets staat de complete beschrijving van deze toets en is ook aangetoond dat vrijwel alle resultaten significante verschillen opleveren. Bij de 2 casussen waar dit niet het geval is, blijken die casussen sowieso niet het gewenste alternatief (zie 15.8 Bijlage H: Multi-criteria analyse).

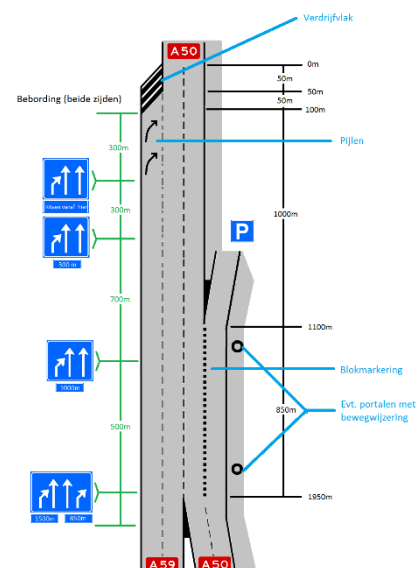
8.3 Locatie-specifieke resultaten

In de volgende paragrafen worden per knooppunt de resultaten en opvallende zaken besproken. Uitgebreide resultaten zijn te vinden in 15.14 Bijlage N: Resultaten locaties en gedetailleerde ontwerpen zijn te vinden in 15.13 Bijlage M: Ontwerpen nieuwe samenvoegingen.

8.3.1 Knooppunt Paalgraven

Op knooppunt Paalgraven komen zowel de dubbele rechter afstreping (weefvak met vervolgens een rechter afstreping) als een weefvak op rechts en een linker afstreping gelijk uit de multi-criteria analyse. Echter, een punt dat niet in de multi-criteria analyse wordt meegenomen, is de bereikbaarheid van parkeerplaats De Gagel. Bij een dubbele rechter afstreping, is het vrijwel onmogelijk om vanuit Oss naar de P De Gagel te komen. Daarom wordt er gekozen voor een weefvak op rechts en een afstreping op links. In Figuur 8-3 is een voorbeeld te zien. Een grote afbeelding is te zien op pagina 77.

8.3.2 Knooppunt Grijsoord



Figuur 8-3 Voorbeeldoplossing knooppunt Paalgraven



Op knooppunt Grijsoord blijkt een rechter afstreping de beste oplossing te zijn. Er zijn bij knooppunt Grijsoord verder geen noemenswaardige bijzonderheden.

8.3.3 Knooppunt Waterberg

Op knooppunt waterberg blijken zowel een weefvak als een rechter afstreping dezelfde waarde te krijgen uit de multi-criteria analyse. Bij een rechter afstreping is het echter duidelijker dat verkeer op rijstrook 4 samen moet voegen naar rijstrook 3. Daarom wordt er bij knooppunt Waterberg gekozen voor een rechter afstreping.

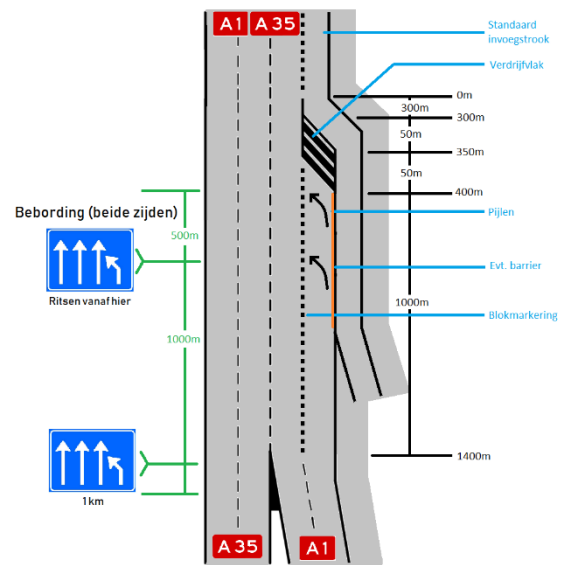
8.3.4 Knooppunt Azelo

Op knooppunt Azelo blijkt een rechter afstreping het beste te zijn. Echter dient de rechter rijstrook iets korter te zijn dan gewenst, omdat de turbulentieafstanden anders gaan conflicteren met die van afrit 29 Borne-West, maar dit levert geen significant andere waarden voor de capaciteit op.

8.3.5 Knooppunt Buren

Op knooppunt Buren blijkt een rechter afstreping het beste te zijn en oprit Borne-West kan dan het beste om de samenvoeging heen gelegd worden. De rechter afstreping vergt namelijk meer ruimte dan de huidige taper, waardoor er een conflict ontstaat met de oprit. Door de oprit om de samenvoeging heen te leggen (al dan niet met

barriers), wordt dit probleem afgevangen. De rechter afstreping wordt hierdoor wel iets korter dan gewenst, maar dit levert geen significant andere waarden voor de capaciteit op. Figuur 8-4 geeft een schematische weergave van een voorbeeldoplossing.



Figuur 8-4 Voorbeeld ontwerp Buren. In de bijlage staan gedetailleerde afbeeldingen

8.4 Praktijkwaarden capaciteit

Capaciteitswaarden die uit FOSIM gehaald worden, zijn goede waarden om alternatieven onderling met elkaar te vergelijken. Echter, FOSIM capaciteitswaarden wijken altijd af van de werkelijke capaciteit van een wegvak. Om dit fenomeen meer duiding te geven, zullen hieronder drie verschillende waarden met elkaar vergeleken worden, voor de huidige tapersamenvoegingen. Alleen bij knooppunt Grijsoord en Paalgraven zijn er meetgegevens beschikbaar. De volgende waarden zijn vergeleken:

- FOSIM capaciteitswaarden
- Capaciteitswaarden uit de CIA (Rijkswaterstaat, 2015)
- Capaciteitswaarden uit meetgegevens

Tabel 8-2 Vergelijkingswaarden FOSIM, CIA en meetgegevens

	Paalgraven	Grijsoord	Waterberg	Azelo	Buren
FOSIM	3862	6213	6070	6433	6067
CIA ¹	4140	6380	6400	6615	6415
Meetgegevens ²	3925	6069			



¹ CIA maakt onderscheid tussen invoeging, samenvoeging of doorgaande rijstroken, maar heeft daar geen gegevens van. Daarom wordt de capaciteit van de 2 doorgaande rijstroken als capaciteit genomen. (Rijkswaterstaat, 2015)

² De meetgegevens komen uit de NDW-gegevens van Rijkswaterstaat. Uit deze onbewerkte data wordt handmatig de capaciteit bepaald en gemiddeld.

Uit Tabel 8-2 kan geconcludeerd worden dat de FOSIM waarden en de gemeten waarden lager liggen dan de capaciteitswaarden uit de CIA. Echter zijn de waarden uit FOSIM en de gemeten waarden zowel bij Paalgraven als Grijsoord niet significant verschillend. Daarom kan aangenomen worden dat de gesimuleerde waarden en gemeten waarden overeen komen. Echter dienen voor daadwerkelijke waarden, altijd metingen uitgevoerd te worden op bestaande wegvakken, omdat FOSIM omgevingsfactoren niet mee neemt.



9. Conclusies

De huidige tapersamenvoegingen op het Rijkswegennet in Oost-Nederland zijn niet optimaal qua kwaliteit (verkeersveiligheid) als kwantiteit (capaciteit). Echter zijn er geen studies uitgevoerd die aantonen wat de beste samenvoeging is onder bepaalde omstandigheden. Om te onderzoeken wat de beste samenvoeging is op de door Rijkswaterstaat aangewezen locaties, is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

“Wat zijn de capaciteiten en verkeersveiligheidsaspecten van verschillende samenvoegingen bij diverse verkeersbelastingen?”

In Nederland worden in principe twee manieren van samenvoegen gebruikt: tapersamenvoegingen en links afstropen. Slechts in incidentele gevallen wordt gebruik gemaakt van een ingeklemde invoeging of een rechter afstroping. De redenen voor deze keuze komen met name voort uit strookwisselgedrag van vrachtverkeer (verderop wordt dit argument ontkracht) en de conservatieve houding van richtlijnen van Rijkswaterstaat (‘we doen het al jaren zo, dus waarom zouden we het anders doen’).

Het grote voordeel van tapersamenvoegingen is de beperkte ruimte die ze innemen, vergeleken met de overige drie samenvoegingen. Echter schieten tapersamenvoegingen snel tekort qua verkeersveiligheid en capaciteit. Daarom zijn er alternatieven gezocht die zowel de verkeersveiligheid als de doorstroming van samenvoegingen verbeteren.

Uit dit onderzoek blijkt dat een rechter afstroping in vrijwel alle gevallen, extreme of bijzondere situaties daar gelaten, zowel qua capaciteit als verkeersveiligheid gecombineerd met capaciteit de beste manier van samenvoegen is. Voor beide aspecten zijn meerdere verklaringen te geven waarom een rechter afstroping het beste is.

Een van de redenen dat we in Nederland links afstropen, is de wens om vrachtverkeer zo min mogelijk rijstrookwisselingen te laten verrichten. Echter één stroom vrachtverkeer moet bij een samenvoeging altijd van rijstrook wisselen en op de vele weefvakken die we in Nederland hebben gebeurt dit ook. Vereiste is wel dat er voldoende lengte is om van rijstrook te wisselen. Ook is van rijstrook wisselen naar links gemakkelijker dan naar rechts. Dat fenomeen geldt zelfs sterker bij vrachtverkeer. Als alle strookwisselbewegingen vergeleken worden dan blijkt dat rechts afstropen beter is dan links afstropen qua strookwisselbewegingen van vrachtverkeer. Naast het betere strookwisselgedrag, heeft een rechter afstroping het grote voordeel dat er zeer veel uitwijkmogelijkheid is, immers een deel van de vluchtstrook kan gebruikt worden indien noodzakelijk.

Een rechter afstroping blijkt een hogere capaciteit te hebben. Dit komt vermoedelijk doordat het verkeer veel rustiger rijdt op de rechter rijstrook. Dit verkeer heeft dus langer de tijd om van rijstrook te wisselen en er zijn grotere hiaten waardoor abrupte remmingen minder voorkomen. Abrupte remmingen zijn bij een linker afstroping namelijk vaak de reden van ontstaan van congestie (gebaseerd op FOSIM & praktijkervaringen). Dat is de belangrijkste reden waarom een rechter afstroping soms ruim 10% meer capaciteit heeft dan een tapersamenvoeging of linker afstroping.

Een kanttekening die gemaakt kan worden bij deze conclusies, is het feit dat een de verkeersstroom van een rechter afstroping nog nooit in Nederland gesimuleerd is. Er is dus geen kalibratiemogelijkheid van de gegevens, waardoor onverwachte situaties op kunnen treden. Toch wordt een rechter afstroping in het buitenland veelvuldig gebruikt (alleen al in 10 landen in West-Europa), en heeft het een groot aantal overeenkomstige eigenschappen met invoegen. Daardoor kan



redelijkerwijs worden aangenomen dat de verkeersveiligheid niet dermate in het geding komt dat een rechter afstreping niet toepasbaar is.

9.1 Aanbeveling

De aanbeveling die uit dit onderzoek volgt is dan ook het aanleggen van een rechter afstreping op één van de onderzochte knooppunten¹, waardoor verder onderzoek mogelijk is. Dit onderzoek moet zich niet alleen focussen op capaciteiten, maar ook op vormgeving. Er kan namelijk aangenomen worden dat vormgeving (belijning, bebording) invloed heeft op het samenvoegingsproces en dat proces dus kan bevorderen, maar ook tegen kan werken. In dit rapport worden bepaalde vormgevingseisen aangedragen, maar geadviseerd wordt hier een deskundig persoon naar te laten kijken.

Als in de praktijk blijkt dat een rechter afstreping daadwerkelijk een hogere capaciteit heeft dan alternatieven, is het aan te bevelen de ROA aan te passen en een rechter afstreping toe te voegen aan de richtlijn.

Ook is aan te bevelen de CIA aan te passen. Uit dit onderzoek komt duidelijk naar voren dat de manier van samenvoegen veel invloed heeft op de capaciteit (tot meer dan 10% verschil) en dat kan voor ontwerpers van snelwegen een groot verschil zijn. De cijfers uit dit onderzoek kunnen als basis gebruikt worden voor de aanpassing, al is standaardisatie een goede toevoeging.

¹ Paalgraven is een bijzondere samenvoeging, dus dit knooppunt heeft niet de voorkeur om een rechter afstreping verder te onderzoeken.



10. Discussie

Gedurende dit onderzoek zijn er een aantal aannames gedaan die in dit hoofdstuk bediscussieerd worden. Bij eventueel vervolgonderzoek kan deze discussie mogelijk input leveren.

Wat goed bediscussieerbaar is, is de validiteit van FOSIM wat betreft een rechter afstreping. Hoewel FOSIM kan omgaan met invoegstroken en gekalibreerd en gevalideerd is op het Nederlandse wegennet, is een rechter afstreping in de praktijk nog nooit uitgevoerd. Er kunnen dus onverwachte effecten optreden in de werkelijkheid, waardoor de simulaties niet meer corresponderen met de werkelijkheid. Dit probleem valt echter alleen te ondervangen doormiddel van praktijk onderzoek. Uit dit onderzoek blijkt namelijk dat er voldoende grond is om verder onderzoek te doen naar een rechter afstreping.

Een ander punt dat goed in ogeschouw dient te worden genomen, is het feit dat de capaciteitswaarden vermeld in dit rapport slecht indicatieve waarden zijn. Dit zijn optimale situaties, waarbij geen rekening wordt gehouden met omgevingsfactoren (bijv. slecht zicht door obstakels) en tijdelijke factoren (bijv. slecht weer). Om tot daadwerkelijke capaciteitscijfers te komen is praktijkonderzoek een goede oplossing.

Het laatste discussiepunt dat hier aangehaald wordt, is de vormgeving van de rechter afstreping. Aangezien de rechter afstreping in Nederland niet voorkomt in de gedaante zoals die in dit onderzoek beschreven wordt, is er voor de vormgeving een arbitraire keuze gemaakt. Dit dient, zoals in de aanbeveling ook beschreven is, kritisch bekeken te worden en eventueel verder onderzocht te worden.



11. Slotwoord

Dit was het rapport over mijn onderzoek naar samenvoegingen op snelwegen. De resultaten waren ook voor mij even verassend als inspirerend. Immers, mocht uit verder onderzoek blijken dat rechts afstrepen inderdaad grote voordelen heeft boven links afstrepen of tapersamenvoegingen, dan is er in Nederland nog wat werk aan de winkel.

Ik hoop dat, ondanks dat samenvoegen en invoegen ondergeschoven kindjes zijn in de verkeerskunde, verder onderzoek gedaan zal worden naar samenvoegingen waarbij ook praktijkvoorbeelden ontworpen en onderzocht zullen worden.

Ik wil Rijkswaterstaat Oost Nederland bedanken voor de ruimte die ze mij geboden hebben om dit onderzoek uit te voeren. Verder wil ik Universiteit Twente bedanken voor het begeleiden tijdens dit onderzoek en mijn gehele bachelor programma. Speciale dank gaat uit naar mijn begeleiders Raymond Vermijs (RWS) en Erik van Berkum (UT) die me gedurende het gehele onderzoek geholpen hebben en mijn onderzoek van feedback hebben voorzien. Als laatste wil ik Lieke Pullen en Evelien Hageman bedanken voor het controleren van mijn rapport.

Ramon Oppers

Arnhem, 27-6-2018



12. Lijst van afbeeldingen en tabellen²

Figuur 3-1 Schema met onderdelen van het onderzoek en bijbehorende methodes	9
Figuur 4-1 Voorbeeld tapersamenvoeging met variabelen die van belang zijn bij een samenvoeging	11
Figuur 4-2 Schematische weergave van een tapersamenvoeging	13
Figuur 4-3 Linker afstreping	13
Figuur 4-4 Rechter afstreping met blokmarkering en verdrijfvlak.....	14
Figuur 4-5 Ingekleemde invoeging	14
Figuur 4-6 Resultatentabel voor knooppunt Azelo per vrachtverkeerpercentagecombinatie	15
Figuur 5-2 Overzichtskaart Oost-Nederland met de locaties die onderzocht zijn	16
Figuur 5-1 Knooppunt Paalgraven.....	16
Figuur 5-3 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Paalgraven	17
Figuur 5-4 Knooppunt Grijsoord.....	17
Figuur 5-5 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Grijsoord	17
Figuur 5-6 Knooppunt Waterberg	17
Figuur 5-7 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Waterberg.....	18
Figuur 5-8 Knooppunt Azelo.....	18
Figuur 5-9 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Azelo	18
Figuur 5-10 Knooppunt Buren	18
Figuur 5-11 Schematische weergave tapersamenvoeging knooppunt Buren	18
Figuur 7-1 Schematische weergave gewenst en verplicht strookwisselen i.c.m. kans en risico	21
Figuur 7-2 Capaciteitswaarden bij verschillende strookwissellengtes.....	22
Figuur 7-3 Capaciteitswaarden bij verschillende strookwissellengtes.....	23
Figuur 8-1 Resultaten MCA veiligheidsaspecten	24
Figuur 8-2 Capaciteiten van een tapersamenvoeging en een rechter afstreping bij dezelfde verkeersbelastingen	24
Figuur 8-3 Voorbeeldoplossing knooppunt Paalgraven	25
Figuur 8-4 Voorbeeld ontwerp Buren. In de bijlage staan gedetailleerde afbeeldingen.....	26
Figuur 14-1 Visualisatie rijstrook, rijbaan en doorsnede	37
Figuur 14-2 Hoofdrijbaan, samenvoegende rijbaan, convergentiepunt, puntstuk en tapersamenvoeging.....	37
Figuur 15-1 Voorbeeld van wegontwerp in FOSIM	40
Figuur 15-2 Voorbeeld van snelheidsonderdrukking (links) en inhaalverbod vrachtverkeer (rechts) in FOSIM	40
Figuur 15-3 Generatie van strookwisselgedrag in FOSIM	41
Figuur 15-4 Strookwisselgedrag wijzigen in FOSIM	41
Figuur 15-5 Detectoren toevoegen in FOSIM.....	42
Figuur 15-6 Verkeerssamenstelling in FOSIM; linker deel van de balk personenauto's, rechterdeel van de balk vrachtverkeer.....	42
Figuur 15-7 Intensiteitenverloop in FOSIM. Links invoertabel, rechts grafische weergave van de invoertabel	42
Figuur 15-8 Simulatie-instellingen in FOSIM	43
Figuur 15-9 Voorbeeld van visuele simulatie in FOSIM.....	43
Figuur 15-10 Opties voor serie in FOSIM	44

² Eigen werk behalve: 4.1 (Rijkswaterstaat, 2017), 5.1, 15.32 t/m 15.44 (Google Maps, 2018), 5.2 (Wegenwiki, 2018), 5.4 (Wegenwiki, 2018), 5.6 (Wegenwiki, 2018), 5.8 (Wegenwiki, 2018), 5.10 (Wegenwiki, 2018), 14.1 (Rijkswaterstaat, 2017), 15.12 (Wegenwiki, 2018), 15.30, 15.31 (Cyclo media, 2018).



Figuur 15-11 Cumulatieve capaciteitsverdeling in grafiek incl. belangrijke waarden. Uitkomst van een serie uit FOSIM	44
Figuur 15-12 Overzichtskaart van Nederlandse snelwegennet met onderzoekslocaties	45
Figuur 15-13 Schematische weergave A12/A50 Knooppunt Grijsoord - Knooppunt waterberg.....	46
Figuur 15-14 Schematische weergave A35/A1 Knooppunt Azelo - Knooppunt Buren	46
Figuur 15-15 Wegvakken knooppunt Paalgraven	47
Figuur 15-16 Wegvakken Waterberg --> Grijsoord	47
Figuur 15-17 Wegvakken Grijsoord --> Waterberg	48
Figuur 15-18 Wegvakken Buren --> Azelo	48
Figuur 15-19 Wegvakken Azelo --> Buren	49
Figuur 15-20 Grafiek met capaciteitswaarden bij verschillende strookwisselgebieden.....	54
Figuur 15-21 Grafiek met capaciteitswaarden bij verschillende lengtes samenvoegende rijstrook	55
Figuur 15-22 q(t) diagram voor detector 7 van tapersamenvoeging bij Waterberg.....	57
Figuur 15-23 u-q diagram voor detector 7 van tapersamenvoeging bij Waterberg	57
Figuur 15-24 u-q diagrammen (boven) en q(t) diagrammen (onder) voor resp. detector 7, 4 en 1 (v.l.n.r.) bij tapersamenvoeging op knooppunt Waterberg	58
Figuur 15-25 MCA knooppunt Grijsoord	60
Figuur 15-26 MCA knooppunt Paalgraven	60
Figuur 15-27 MCA knooppunt Waterberg.....	61
Figuur 15-28 MCA knooppunt Azelo	61
Figuur 15-29 MCA knooppunt Buren	61
Figuur 15-30 Voorbeeld rechter afstreping bij knooppunt Ressen (A15/A325)	62
Figuur 15-31 Rechter afstreping bij knooppunt Velperbroek	62
Figuur 15-32 Rechter afstreping (zonder verdrijfvlak) op de Duitse Autobahn bij Hannauer Kreuz (A45/A66)	63
Figuur 15-33 Rechter afstreping (met verdrijfvlak) op de Belgische Autosnelweg bij knooppunt Ranst (A21/A13)	63
Figuur 15-34 Ingekleemde invoeging op de Engelse Snelweg bij knooppunt A1(M)/A14.....	64
Figuur 15-35 Ingekleemde invoeging met rechter afstreping in Engeland bij het knooppunt M62/M18	64
Figuur 15-36 Voorbeeld Engels verkeersbord van een ingeklemde invoeging met rechter afstreping bij een samenvoeging 3+3 -> 4 bij het knooppunt A1(M)/M1.....	65
Figuur 15-37 Rechter afstreping in Engeland met verdrijfvlak, pijlen en blokmarkering (bij knooppunt A1(M)/M1)	65
Figuur 15-38 Rechter afstreping op de Franse Autoroute bij het knooppunt A31/A5	66
Figuur 15-39 Rechter afstreping met pijlen op de Luxemburgse snelweg bij Croix de Gasperich (A3/A1)	66
Figuur 15-40 Rechter afstreping Ierland zonder verdrijfvlak en pijlen, met blokmarkering bij het knooppunt M7/M9.....	67
Figuur 15-41 Dubbele rechter afstreping op de Zwitserse Autosnelweg bij knooppunt Yverdon (A5/A1)	68
Figuur 15-42 Dubbele rechter afstreping op de Italiaanse Autostrada bij knooppunt A9/A8.....	68
Figuur 15-43 Rechter afstreping met pijlen op de Spaanse snelweg bij het knooppunt AP7/B23	69
Figuur 15-44 Rechter afstreping op de Oostenrijkse Autosnelweg bij Knoten Innsbruck (A12/A13)...	69
Figuur 15-45 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een ingeklemde invoeging.....	70
Figuur 15-46 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een linker afstreping	70
Figuur 15-47 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een tapersamenvoeging	70
Figuur 15-48 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een rechter afstreping	70



Figuur 15-49 Dubbele linker afstreping.....	71
Figuur 15-50 Ingekleemde invoeging met weefvak	71
Figuur 15-51 Ingekleemde invoeging met linker afstreping	71
Figuur 15-52 Asymmetrisch weefvak met linker afstreping	71
Figuur 15-53 Asymmetrisch weefvak (2+2 --> 3+1)	71
Figuur 15-54 Resultaten statistische toets Paalgraven bij 10%/20% en 15%/20% vrachtverkeer	72
Figuur 15-55 Resultaten statistische toets Waterberg bij 15%/5% en 15%/10% vrachtverkeer.....	73
Figuur 15-56 Resultaten statistische toets Grijsoord bij 15%/5% en 15%/10% vrachtverkeer	74
Figuur 15-57 Resultaten statistische toets Azelo bij 5%/10%, 5%/15%, 10%/10% en 10%/15% vrachtverkeer	75
Figuur 15-58 Resultaten statistische toets Buren bij 20%/5% en 20%/10% vrachtverkeer	76
Figuur 15-59 Schematische weergave oplossing Paalgraven.....	77
Figuur 15-60 Schematische weergave oplossing Grijsoord.....	78
Figuur 15-61 Schematische weergave oplossing Waterberg	79
Figuur 15-62 Schematische weergave oplossing Azelo.....	80
Figuur 15-63 Schematische weergave oplossing Buren.....	81
Figuur 15-64 Resultaten knooppunt Paalgraven.....	82
Figuur 15-65 Resultaten knooppunt Grijsoord.....	83
Figuur 15-66 Resultaten knooppunt Waterberg	84
Figuur 15-67 Resultaten knooppunt Azelo.....	85
Figuur 15-68 Resultaten knooppunt Buren.....	86
Figuur 15-69 Overzicht van procentuele verschillen t.o.v. een tapersamenvoeging bij diverse verkeersbelastingen	87
Tabel 4-1 Vormgeving rechter afstreping in Europa.....	12
Tabel 8-1 Range van de capaciteiten bij de huidige verkeersbelastingen op de onderzochte knooppunten.....	25
Tabel 8-2 Vergelijkingswaarden FOSIM, CIA en meetgegevens.....	26
Tabel 15-1 Lengtes wegvakken knooppunt Paalgraven	47
Tabel 15-2 Lengtes wegvakken traject Waterberg --> Grijsoord	47
Tabel 15-3 Lengtes wegvakken traject Grijsoord --> Waterberg	48
Tabel 15-4 Lengtes wegvakken traject Buren --> Azelo	48
Tabel 15-5 Lengtes wegvakken traject Azelo --> Buren	49
Tabel 15-6 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Paalgraven	50
Tabel 15-7 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Grijsoord	50
Tabel 15-8 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Waterberg	51
Tabel 15-9 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Azelo	51
Tabel 15-10 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Buren	52
Tabel 15-11 Invoergegevens gevoeligheidsanalyses strookwisselgebieden.....	53
Tabel 15-12 Capaciteiten bij diverse lengtes strookwisselgebieden	53
Tabel 15-13 Invoergegevens gevoeligheidsanalyses lengte samenvoegende rijstrook.....	54
Tabel 15-14 Capaciteiten bij diverse lengtes samenvoegende rijstrook	55
Tabel 15-15 Scorebepaling totaal aantal strookwisselingen.....	59
Tabel 15-16 Scorebepaling strookwisselingen naar resp. rechts en links.....	59
Tabel 15-17 Scorebepaling uitwijkmogelijkheden voor vier standaard samenvoegingen	60
Tabel 15-18 Vormgeving rechter afstreping in Europese landen	69
Tabel 15-19 Overzichtstabel rijstrookwisselingen vrachtverkeer	70



13. Bibliografie

- Cyclo media. (2018, Mei 23). *Street Smart*. Opgehaald van Luchtfoto 2017: <https://streetsmart.cyclomedia.com/streetsmart>
- Google. (2018, Mei 22). *Google Maps*. Opgehaald van Google Maps: <https://www.google.nl/maps>
- Google Maps. (2018, Maart 27). *Google Maps*. Opgehaald van Google Maps: <https://www.google.nl/maps>
- Kalderen, F. v., & C.Macharis. (2009). Handleiding voor het evalueren van. *Diepenbeek Steunpunt Mobiliteit en Openbare Werken; spoor verkeersveiligheid*.
- Rijkswaterstaat. (2015). *Capaciteitswaarden infrastructuur autosnelwegen*. Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2017*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2018, maart 28). *Beschrijving Model*. Opgehaald van fosim.nl: <https://fosim.nl/beschrijving-model.shtml>
- Rijkswaterstaat. (2018, april 7). *Het Programma*. Opgehaald van FOSIM: <https://fosim.nl/het-programma.shtml>
- Rijkswaterstaat. (2018, Mei 23). *Verkeersgegevens Oost Nederland*. Opgehaald van Rijkswaterstaat Oost Nederland: <http://rws-oostnederland.verkeersgegevens.nl/>
- Rijkswaterstaat. (juni 2013). *5e NSL melding Infrastructuur en Milieu*. Water, Verkeer en Leefomgeving.
- van Soest, i. J. (1983). Toetsen voor verschil in ligging. In J. v. Soest, *Elementaire statistiek* (pp. 129 - 140). Delft: Delftse Uitgevers Maatschappij.
- Wegenwiki. (2018, maart 27). *A77 (Nederland)*. Opgehaald van www.wegenwiki.nl: [https://www.wegenwiki.nl/A77_\(Nederland\)](https://www.wegenwiki.nl/A77_(Nederland))
- Wegenwiki. (2018, maart 27). *Knooppunt Azelo*. Opgehaald van Wegenwiki: https://www.wegenwiki.nl/Knooppunt_Azelo
- Wegenwiki. (2018, maart 27). *Knooppunt Buren*. Opgehaald van Wegenwiki: https://www.wegenwiki.nl/Knooppunt_Buren
- Wegenwiki. (2018, maart 27). *Knooppunt Grijsoord*. Opgehaald van www.wegenwiki.nl: https://www.wegenwiki.nl/Knooppunt_Grijsoord
- Wegenwiki. (2018, maart 27). *Knooppunt Paalgraven*. Opgehaald van www.wegenwiki.nl: https://www.wegenwiki.nl/Knooppunt_Paalgraven
- Wegenwiki. (2018, maart 27). *Knooppunt Waterberg*. Opgehaald van Wegenwiki: https://www.wegenwiki.nl/Knooppunt_Waterberg

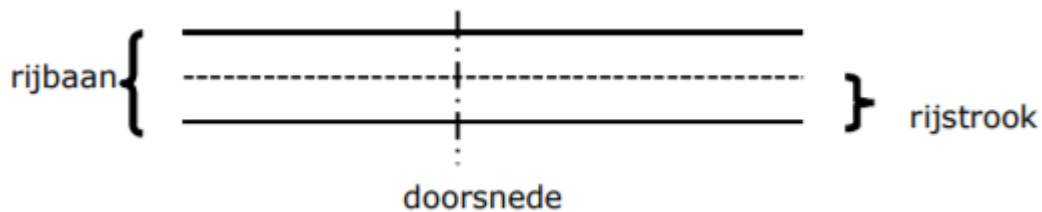


14. Begrippenlijst

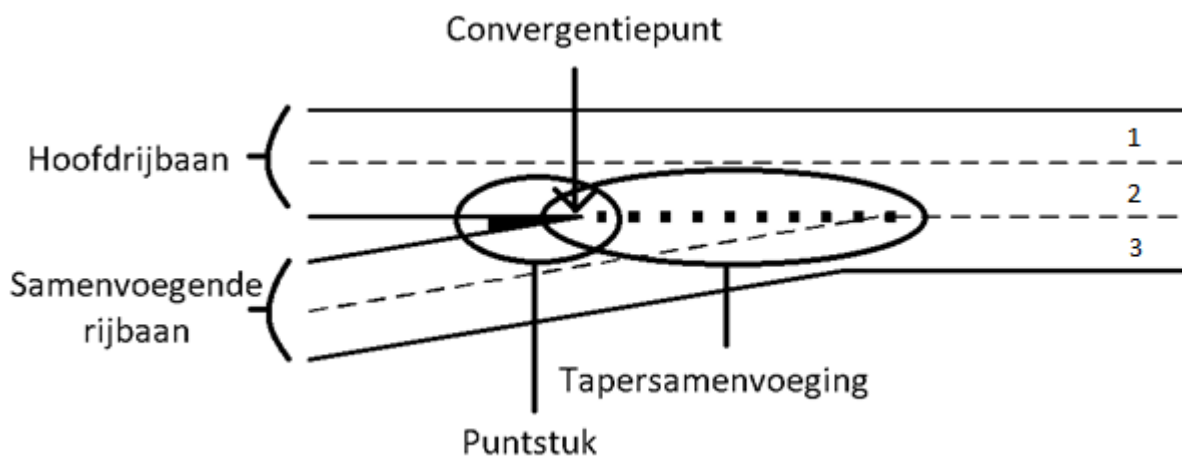
Afrijcapaciteit	capaciteit voor een situatie met congestie
Capaciteit	capaciteit is het maximaal aantal voertuigen, omgerekend per uur, waarvan in redelijkheid kan worden aangenomen, dat ze een punt of uniform segment van een strook of een rijbaan kunnen passeren gedurende een bepaalde tijdsperiode onder de heersende weg-, verkeers-, en beheerscondities
Congestie	filevorming, wanneer de snelheid op een rijbaan lager ligt dan 50 km/u
Convergentiepunt	punt of gebied waar twee verkeersstromen met dezelfde rijrichting al dan niet verspreid over meerdere rijbanen onder een kleine hoek samenkomen en overgaan in minder rijbanen dan wel minder rijstroken. Zie Figuur 14-2
Divergentiepunt	punt of gebied waar verkeersstromen met dezelfde rijrichting op een rijbaan onder een kleine hoek uit elkaar gaan en zich verspreiden over twee rijbanen dan wel meer rijstroken
Dwarsprofiel	= doorsnede; zie Figuur 14-1
H/B-matrix	herkomst-bestemmingen matrix. Een matrix waarin de herkomsten verdeeld worden over bestemmingen
Hiaat	ruimte tussen voertuigen op een naastgelegen rijstrook, waar een bestuurder zijn voertuig tussen kan plaatsen d.m.v. een rijstrookverandering
Hoofdrijbaan	zie Figuur 14-2
Intensiteit	aantal voertuigen per uur dat een gegeven dwarsdoorsnede passeert
I/C-verhouding	verhouding tussen intensiteit en capaciteit
Invoeging	convergentiepunt waar een rijbaan door middel van een of meer invoegstroken wordt ingevoerd in de doorgaande rijbaan
Invoegstrook	rijstrook van beperkte lengte ter plaatse van een convergentiepunt, die grenst aan een doorgaande rijstrook van een rijbaan en in rijrichting gezien begint bij de spitse punt van het puntstuk. Een invoegstrook is bedoeld om verkeer afkomstig van een toeleidende rijbaan in de gelegenheid te stellen zijn snelheid te verhogen alvorens de doorgaande rijstrook op te rijden. Wanneer de toeleidende rijbaan meer dan één rijstrook heeft, bestaat de invoegstrook slechts uit een taper
Lus	magnetische lus die het aantal passerende voertuigen op een bepaalde doorsnede meet. Een lus is in werkelijkheid echt een lus. In softwareprogramma's zoals FOSIM, kunnen deze fictief aangebracht worden
pae-factor	personenauto-equivalent is een getal dat aangeeft hoeveel ruimte een voertuig inneemt in vergelijking met een personenauto
Puntstuk	wegmarkering ter aanduiding van een convergentiepunt of divergentiepunt, uitgevoerd als vlak
Rijbaan	zie Figuur 14-1
Rijstrook	zie Figuur 14-1
Samenvoeging	convergentiepunt van twee rijbanen met ongeveer dezelfde ontwerpsnelheid; van elk van de samenkomende rijbanen loopt ten minste één rijstrook door
Samenvoegende rijbaan	zie Figuur 14-2
Splitsing	divergentiepunt waar een rijbaan overgaat in twee rijbanen met ongeveer dezelfde ontwerpsnelheid; beide rijbanen bevatten ten minste één rijstrook van de oorspronkelijke rijbaan.
Tapersamenvoeging	samenvoeging d.m.v. een taper, zie Figuur 14-2



Uitvoering	divergentiepunt waar een rijbaan door middel van een of meer uitrijstroken wordt afgeleid van de doorgaande rijbaan
Vrije capaciteit	capaciteit voor een situatie met vrije afwikkeling
Weefvak	weefvak rijbaangedeelte van beperkte lengte tussen convergentiepunt en divergentiepunt, dat bedoeld is om te weven



Figuur 14-1 Visualisatie rijstrook, rijbaan en doorsnede



Figuur 14-2 Hoofdrijbaan, samenvoegende rijbaan, convergentiepunt, puntstuk en tapersamenvoeging

Voor weefvakken (en in sommige gevallen tapersamenvoegingen) wordt een versimpelde notatie gebruikt om de configuratie van het weefvak te weergeven. Deze notatie gaat als volgt:

$$A + B^T \rightarrow C + D$$

Hierbij staat de A voor het aantal rijstroken op de hoofdrijbaan en B voor het aantal rijstroken op de samenvoegende rijbaan. De T in superscript geeft aan of het gaat om een taperaansluiting (kan zowel samenvoegend als splitsend gebruikt worden). C geeft het aantal rijstroken aan van de doorgaande rijbaan en D het aantal rijstroken van een eventuele afsplitsende rijbaan. Figuur 14-2 zal dus genoteerd worden als: $2+2^T \rightarrow 3$. Knooppunt Paalgraven wordt genoteerd als: $2+2^T \rightarrow 2+1$.

Het nummeren van rijstroken begint altijd aan de linkerkant van de weg. In Figuur 14-2 zijn aan de rechterkant de rijstrooknummers weergegeven.



15. Bijlages

15.1 Bijlage A: beschrijving FOSIM

In FOSIM wordt stapsgewijs naar een uitkomst toegewerkt. Hieronder staan alle stappen beschreven, inclusief aandachtspunten.

Strookdefinitie

Als eerste moet de vormgeving van de weg bepaald worden. In FOSIM kan de lengte van een weg(vak) ingegeven worden, de belijning aangepast worden en samenvoegingen dan wel splitsingen gecreëerd worden.

Naamgeving Herkomst en Bestemming

Vervolgens kunnen alle herkomsten en bestemmingen een naam toegekend krijgen.

Lokale kenmerken

Hier moeten de maximumsnelheden en inhaalverboden voor vrachtverkeer per onderdeel aangegeven worden. Ook kan hier snelheidszonderdrukking toegevoegd worden, zie ook kader.

In deze stap is ook een optie voor spits- en plusstroken beschikbaar. Deze functie wordt niet gebruikt in dit onderzoek.

Verkeerslichten en tijdelijke blokkades

Er kunnen verkeerslichten en tijdelijke blokkades toegevoegd worden aan de simulatie. Hier wordt in dit onderzoek geen

Snelheidszonderdrukking

In FOSIM kunnen geen bogen of andere locatie specifieke wegkenmerken ingegeven worden. Dit kan ondervangen worden door gebruik te maken van snelheidszonderdrukking. In bogen kan men bijvoorbeeld een snelheidszonderdrukking van 80% invoeren. Hierdoor gaan alle voertuigtipes 80% van hun gewenste maximum snelheid rijden.

Routekeuze

Er bestaat een mogelijkheid dat er 2 keuzes zijn om 1 eindpunt te bereiken. Dit komt bijvoorbeeld voor bij parallelbanen, al worden die in dit onderzoek niet gebruikt. In dit onderzoek komt dit echter wel voor bij de zogenaamde 'ingeklemde invoeging'. In FOSIM dient een percentage ingegeven te worden welk deel via welke route gaat. Omdat in dit geval de route in praktijk hetzelfde is, zullen er geen strookwisselingen plaatsvinden. (Beide percentages zijn dus 0%).

gebruik van gemaakt.

Strookwisselgebieden (2 stappen)

Hier worden de lengtes van de strookwisselgebieden aangemaakt (zie ook vorige paragraaf) en beschreven. Over deze lengtes dient goed nagedacht te worden, omdat dit invloed heeft op het gedrag van samen- of invoegen. Hier zal dan ook aandacht aan worden besteed tijdens het onderzoek. Ook dienen hier de percentages van routekeuze vermeld te worden (zie kader).

Detectoren

Detectoren detecteren het verkeer dat over de detector heen rijdt. Hierdoor kan de intensiteit weergegeven worden, maar ook alle diagrammen



(zoals $q-k$, $u-q$ en $u-k$)³. Uit de detectoren kan dus alle relevante informatie over het wegontwerp gehaald worden. Detectoren worden elke 500m aangebracht zodat er op voldoende locaties gegevens verzameld (kunnen) worden.

Verkeerssamenstelling

Het aandeel vrachtverkeer (voertuigtype 4 & 5) heeft invloed op de capaciteit van een wegvak. Immers, vrachtverkeer heeft heel andere eigenschappen dan gewoon autoverkeer. Om deze effecten te meten, dient het percentage vrachtverkeer aangegeven te worden. Eventueel kunnen percentages ingegeven worden voor elk voertuigtype (1 t/m 5), maar dit wordt niet aangeraden voor het Nederlandse wegennetwerk.

Intensiteit

Om een simulatie te kunnen draaien, dient er verkeer op de weg geplaatst te worden. Dit wordt gedaan door de intensiteiten op te geven van de herkomsten. (Rijkswaterstaat, 2018) Hierdoor wordt aan de linkerkant van het programma een bepaald aantal voertuigen op de weg geplaatst. Door de intensiteit op te laten lopen ontstaat uiteindelijk congestie, waarmee de capaciteit van het wegvak bepaald kan worden. Meer informatie hierover staat in *15.7 Bijlage G: Capaciteitsbepaling*.

HB-matrix

In de HB-matrix worden herkomsten (H) aan bestemmingen (B) gekoppeld. In dit onderzoek is dat een simpel proces, omdat elke herkomst naar dezelfde bestemming gaat. Mocht dat echter niet het geval zijn, kan hier procentueel aangegeven worden hoeveel verkeer van welke herkomst naar welke bestemming wenst te gaan.

Voertuigparameters

Voertuigparameters zijn de eigenschappen die aan een bepaald type voertuig worden toegekend. Voorbeeld hiervan zijn de maximale acceleratie en deceleratie. Er zijn zeer veel parameters die voor de voertuigtypes kunnen worden ingegeven. De standaard configuratie is kenmerkend voor het Nederlandse wegennetwerk. Hierbij zijn voertuigtype 1, 2 en 3 autoverkeer, en 4 en 5 vrachtverkeer.

Simulaties & Series (3 stappen)

In de laatste stappen van het proces kan de lengte van de simulatie aangegeven worden, inclusief het aantal berekeningen per seconde en het aantal metingen van de detectoren. Vervolgens kan de simulatie visueel gerund worden en kan een serie gemaakt worden om de mediaan van een serie metingen te bepalen.

³ q = intensiteit, u = snelheid, k = dichtheid

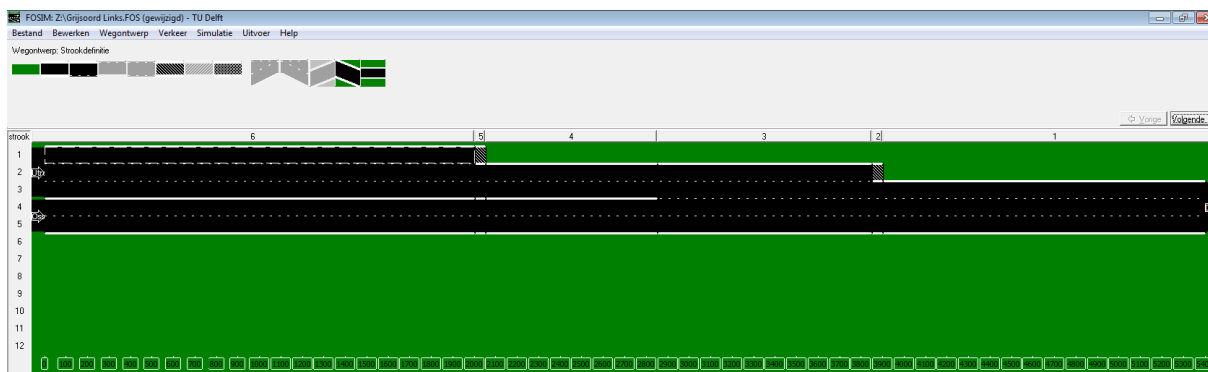


15.2 Bijlage B: Invoer FOSIM: Linker afstreping knooppunt Grijsoord

In deze bijlage staat voor de linker afstreping op knooppunt Grijsoord stap voor stap uitgelegd hoe dit knooppunt onderzocht is met FOSIM. In 15.4 *Bijlage D: Invoergegevens FOSIM* worden voor alle simulaties de invoergegevens weergegeven.

A. Wegontwerp invoeren

Hier wordt begonnen met het wegontwerp dat onderzocht gaat worden in te voeren. Denk hierbij aan de goede lengtes, goede belijning, etc. Verder is heel belangrijk dat er zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts van het te onderzoeken knelpunt een ruime afstand zit. Stroomopwaarts is dit omdat het verkeer eerst moet 'clusteren', stroomafwaarts om een goed punt te hebben waar de capaciteit gemeten kan worden. Er worden ook zaken meegenomen die binnen die afstanden gebeuren! Zo is er op knooppunt Grijsoord een linker afstrepen zo'n 800 meter voor de samenvoeging. Deze kan invloed hebben op de verkeersafwikkeling van de samenvoeging. In Figuur 15-1 staat een voorbeeld van een wegontwerp.



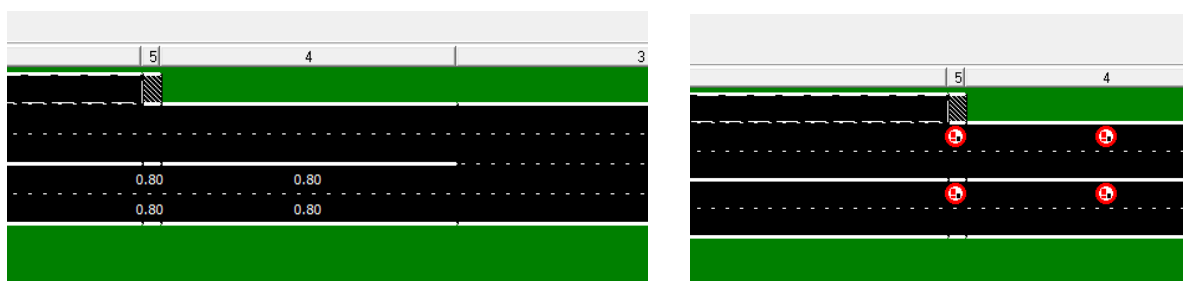
Figuur 15-1 Voorbeeld van wegontwerp in FOSIM

B. Namen herkomsten en bestemmingen toekennen

Hier worden de herkomsten en bestemmingen voorzien van een naam. Dit voorkomt vergissingen later in de simulatie. Bij knooppunt Grijsoord wordt dit: Utrecht; Oss; Duitsland.

C. Lokale kenmerken

Hier kunnen lokale kenmerken ingevoerd worden, zoals snelheidsonderdrukking en inhaalverboden voor vrachtverkeer. In Figuur 15-2 zijn voorbeelden gegeven van hoe dit in FOSIM werkt.



Figuur 15-2 Voorbeeld van snelheidsonderdrukking (links) en inhaalverbod vrachtverkeer (rechts) in FOSIM

D. Verkeerslichten

Hier wordt niets mee gedaan.

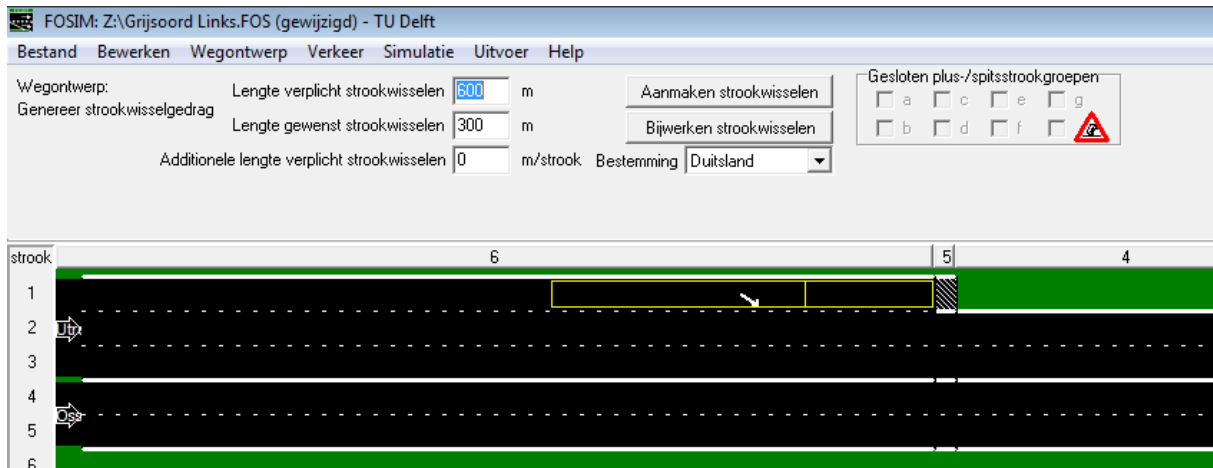
E. Tijdelijke blokkade

Hier wordt niets mee gedaan.



F. Genereer strookwisselgedrag

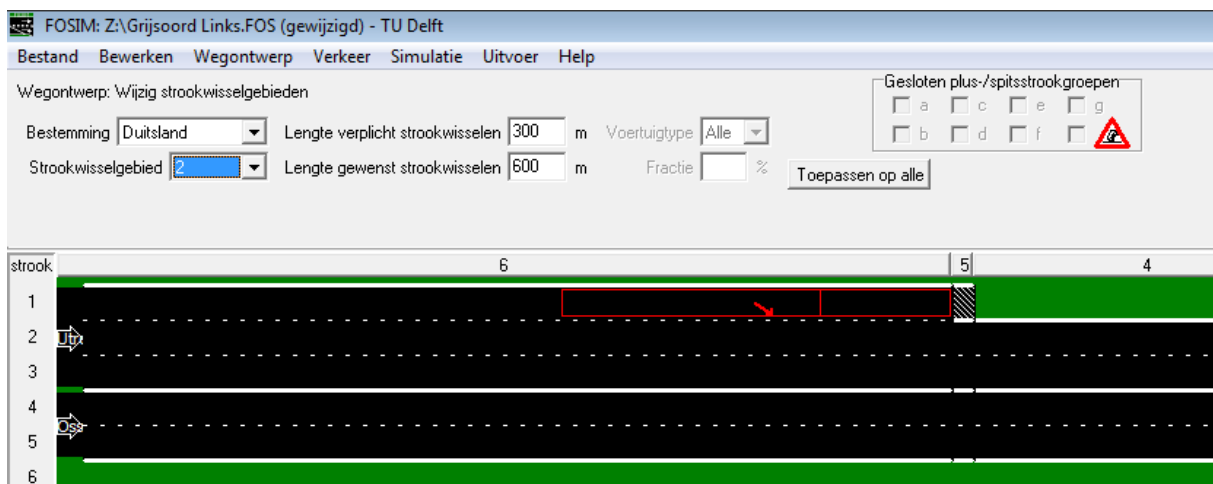
Hier wordt het strookwisselgedrag aangemaakt. De lengtes hiervan worden in het volgend tabblad ingesteld. Bij elke verandering van het wegontwerp, moet het strookwisselgedrag aangepast worden. Een voorbeeld van dit scherm staat in Figuur 15-3.



Figuur 15-3 Generatie van strookwisselgedrag in FOSIM

G. Wijzigen strookwisselgedrag

FOSIM maakt standaard afstanden aan voor het strookwisselgedrag. Deze kunnen aangepast worden naargelang de daadwerkelijke of gewenste situatie. Strookwisselgedrag kan namelijk beïnvloed worden door m.n. de bebording van een wegvak. Hier is gekozen voor een strookwisselgedrag van 600m gewenst en 300m verplicht. Echter is hier ook een analyse op losgelaten (achteraf) waarbij andere lengtes gunstigere resultaten vertoonden. Hier dient dus rekening mee te worden gehouden! In Figuur 15-4 is een voorbeeld te zien van het invoerscherm.



Figuur 15-4 Strookwisselgedrag wijzigen in FOSIM

H. Plaats detectoren

Alleen detectoren kunnen metingen verrichten. Daarom is het nodig om genoeg detectoren te plaatsen. Uit de ervaring van collega's bij Rijkswaterstaat blijkt dat het beste is om elke 500m een detector te plaatsen, zodat er op genoeg plaatsen metingen gedaan kunnen worden. In Figuur 15-5 zie je hoe dat gedaan wordt.



K. H-B matrix

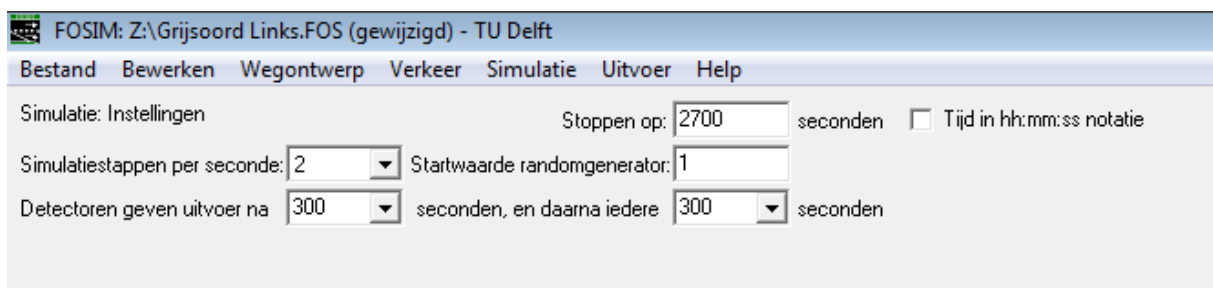
Hier kunnen de herkomsten en bestemmingen verdeeld worden. Echter, in dit onderzoek heeft elke locatie maar 1 bestemming dus zal hier niets mee gedaan worden.

L. Voertuigparameters

Hier worden voor elk voertuigtype (in dit geval 5) de eigenschappen ingegeven. Dit zijn relatief veel eigenschappen. Echter is FOSIM goed gekalibreerd en gevalideerd voor het Nederlandse wegennet, zodat het aanpassen van deze parameters voor dit onderzoek afgeraden wordt. Hier wordt dan ook niets mee gedaan.

M. Simulatie-instellingen

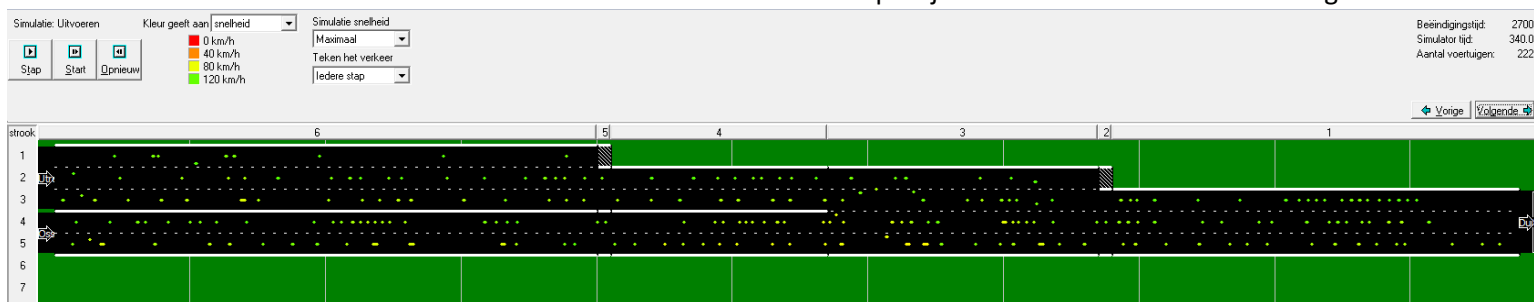
Hier kunnen de lengte van de simulatie en de stapgroottes bepaald worden. Geadviseerd wordt om 2 simulatiestappen per seconde te doen en de detectoren uit te laten lezen iedere 300s (5 min). Hiermee kan namelijk de zogenaamde 5-minuten intensiteit berekend worden, wat een goede vergelijkingswaarde is, aldus collega's bij Rijkswaterstaat. In Figuur 15-8 zijn de invoerwaarden te zien.



Figuur 15-8 Simulatie-instellingen in FOSIM

N. Simulatie uitvoeren

Hier kan de simulatie visueel uitgevoerd worden. Er is een controlepaneel waarmee de snelheid ingesteld kan worden en de simulatie gepauzeerd of gestopt kan worden. Verder kunnen er een aantal eigenschappen getoond worden: versnelling, snelheid, bestemming, volgoetstand, voertuigtype en routekeuze. Ook kunnen in dit scherm de detectoren uitgelezen worden door erop te klikken en de gewenste uitvoer te selecteren. Rechtsboven lopen een aantal tellers mee met informatie over de tijd en het aantal voertuigen. In Figuur 15-9 is een screenshot van een simulatie te zien. Elk puntje komt overeen met een voertuig.



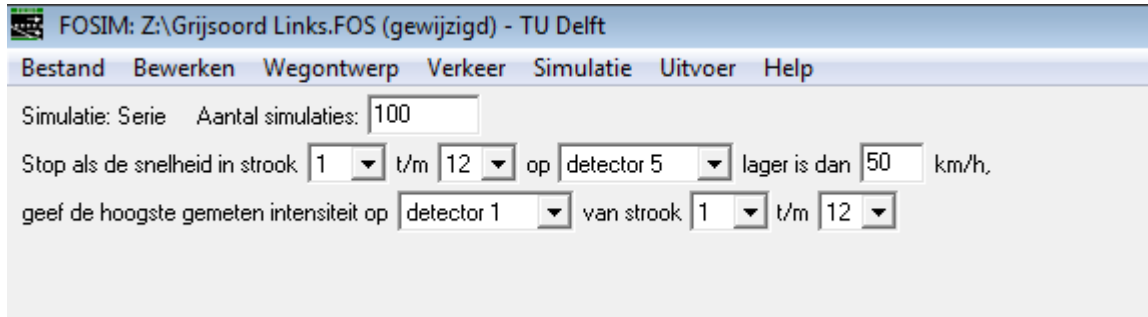
Figuur 15-9 Voorbeeld van visuele simulatie in FOSIM

O. Serie uitvoeren

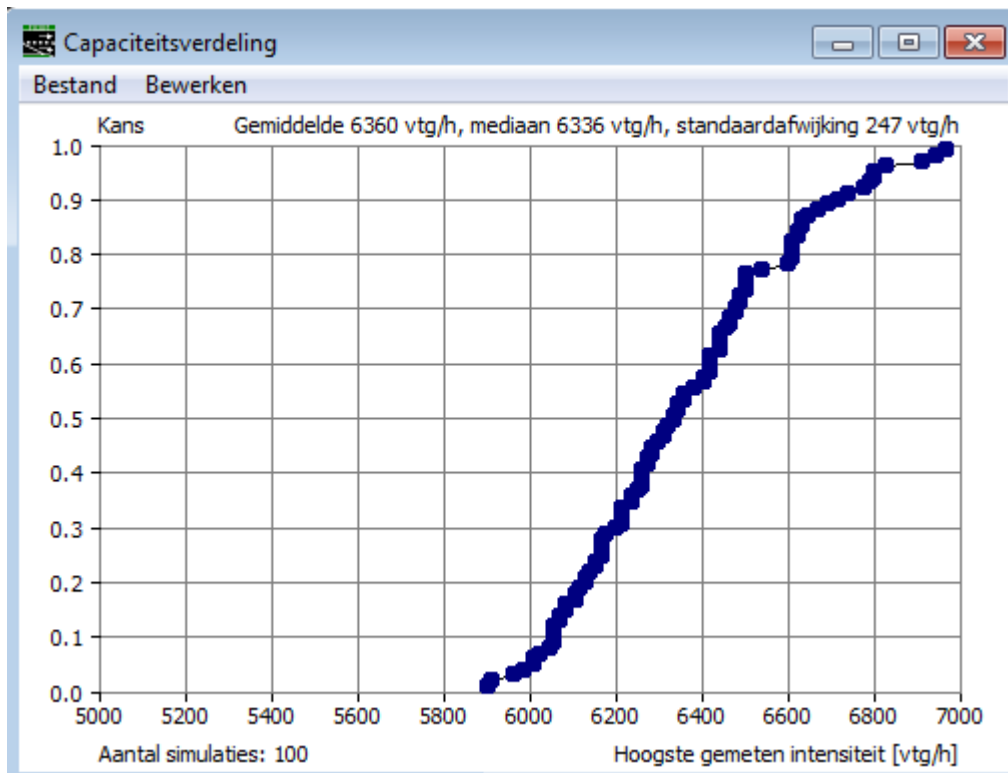
Hiermee kan een serie uitgevoerd worden om de capaciteitswaarde van een wegvak te bepalen. Het aantal series moet worden ingevoerd. Hiervoor wordt normaliter 100 simulaties gekozen. Er bestaat een mogelijkheid om het aantal simulaties dat nodig is om een 95% zekerheid te krijgen uit te rekenen, maar uit de ervaring blijkt dat 100 simulaties altijd ruim voldoende is, zonder dat het veel extra tijd kost. Verder dient een enkele simulatie gestopt te



worden als er congestie ontstaat. Hiervoor wordt een stroomopwaartse detector gekozen waarbij de snelheid lager is dan 50 km/h. Vervolgens wordt de maximale capaciteit op een detector stroomafwaarts opgeslagen waarmee een grafiek wordt geplot. Deze grafiek geeft een cumulatieve kans van de bijbehorende capaciteit. In Figuur 15-10 en Figuur 15-11 zijn de invoerregels en de capaciteitsgrafiek te zien.



Figuur 15-10 Opties voor serie in FOSIM



Figuur 15-11 Cumulatieve capaciteitsverdeling in grafiek incl. belangrijke waarden. Uitkomst van een serie uit FOSIM



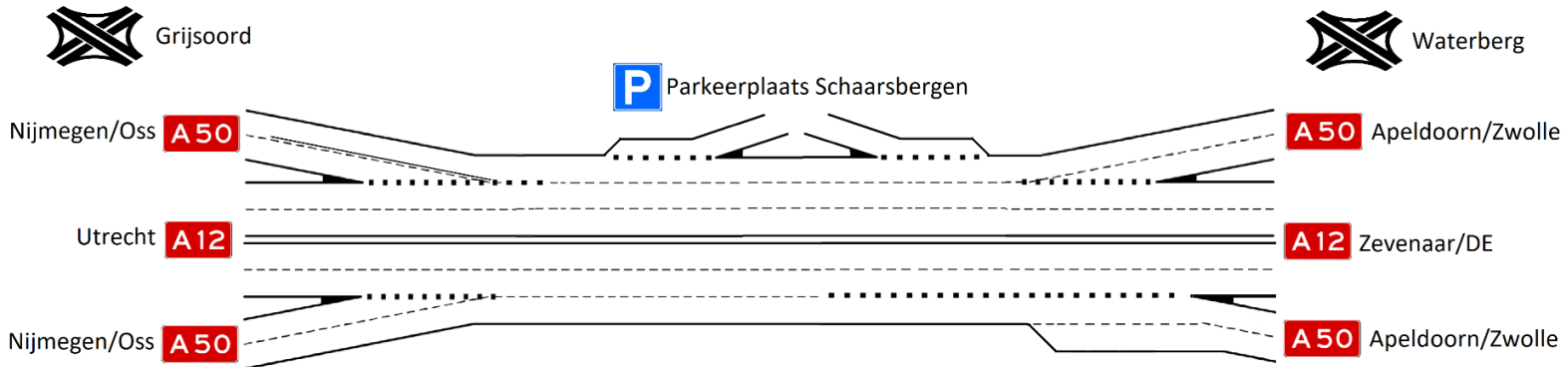
15.3 Bijlage C: Locatietekeningen



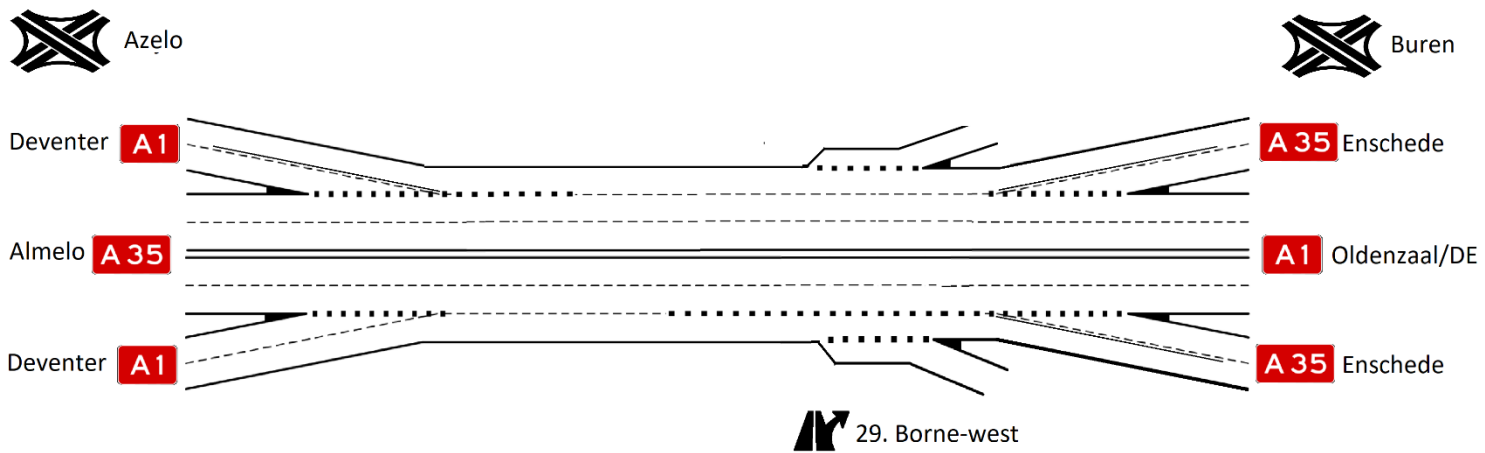
Figuur 15-12 Overzichtskaart van Nederlandse snelwegennet met onderzoekslocaties

15.3.1 Trajecten Grijsoord – Waterberg (A12/A50) en Azelo – Buren (A35/A1)

In Figuur 15-13 en Figuur 15-14 zijn de trajecten tussen 4 van de te onderzoeken knooppunten weergegeven. Dit kan van belang zijn voor het onderzoek op het moment dat er gecombineerde maatregelen genomen zullen worden.



Figuur 15-13 Schematische weergave A12/A50 Knooppunt Grijsoord - Knooppunt waterberg



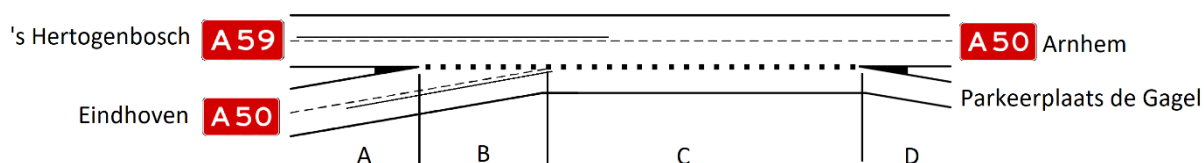
Figuur 15-14 Schematische weergave A35/A1 Knooppunt Azelo - Knooppunt Buren



15.3.2 Afmetingen bestaande wegvakken

In onderstaande figuren en tabellen staan de afstanden in de te onderzoeken wegvakken. Deze afstanden zijn nodig bij de configuratie van FOSIM.

Paalgraven (A50/A59)



Figuur 15-15 Wegvakken knooppunt Paalgraven

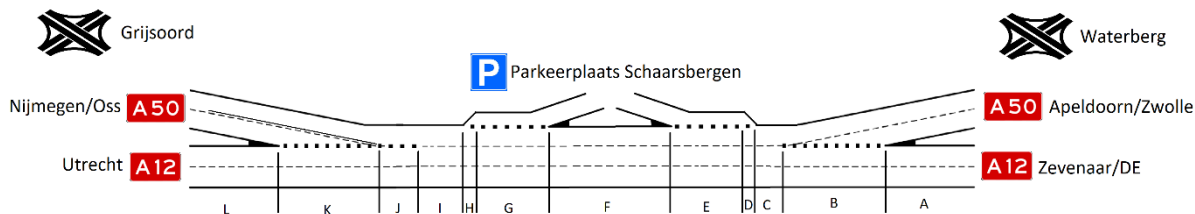
Tabel 15-1 Lengtes wegvakken knooppunt Paalgraven

Wegvak ¹	Type	Lengte (m)	Vereiste lengte (m) ²	Voldoet?	Opmerkingen
A	Toerijbanen rijstroken 2x2	>> 150	150	V	
B	Tapersamenvoeging	200	250	X	
C	Weefvak 2+1 rijstroken	590	750	X	
D	Afrijbanen 2+1 rijstroken	>>150	150	V	

¹Toegestane maximumsnelheid complete wegvak = 120 km/h

²Zoals beschreven in (Rijkswaterstaat, 2017), hierbij worden ook de turbulentielengtes meegenomen.

Waterberg – Grijsoord (A12/A50)



Figuur 15-16 Wegvakken Waterberg --> Grijsoord

Tabel 15-2 Lengtes wegvakken traject Waterberg --> Grijsoord

Wegvak ¹	Type	Lengte (m)	Vereiste lengte (m) ²	Voldoet?	Opmerkingen
A	Toerijbanen rijstroken 2x2	>> 150	150	V	
B	Tapersamenvoeging	250	250	V	
C	Rijbaan, 3 rijstroken	1300	375	V	
D	Wigvormig gedeelte uitrijstrook	100	100	V	
E	Uitrijstrook	150	150	V	
F	Rijbaan, 3 rijstroken	550	150 + 150	V	
G	Invoegstrook	210	220 ³	X	Moeilijk te meten
H	Rijstrookbeëindiging	80	60 ³	V	
I	Rijbaan, 3 rijstroken	2350	750 + 150	V	
J	Start blokmarkering	600			
K	Tapersplitsing	130	200	X	



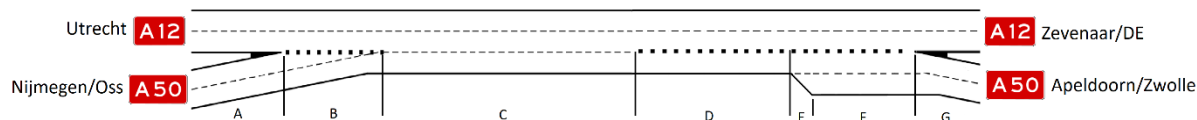
L	Afrijbanen rijstroken	2x2	>> 150	150	V	
---	-----------------------	-----	--------	-----	---	--

¹ Toegestane maximumsnelheid complete wegvak = 120 km/h

² Zoals beschreven in richtlijn ontwerp autosnelweg (Rijkswaterstaat, 2017), hierbij worden ook de turbulentielengtes meegenomen.

³ Bij ontwerpssnelheid van 90 km/h op toeleidende rijbaan, wat hier het geval is

Grijsoord – Waterberg (A12/A50)



Figuur 15-17 Wegvakken Grijsoord --> Waterberg

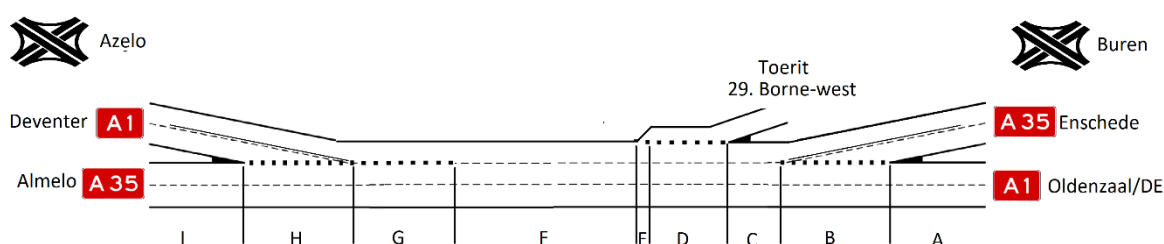
Tabel 15-3 Lengtes wegvakken traject Grijsoord --> Waterberg

Wegvak ¹	Type	Lengte (m)	Vereiste lengte (m) ²	Voldoet?	Opmerkingen
A	Toerijbanen rijstroken	2x2 >> 150	150	V	
B	Tapersamenvoeging	230	250	X	
C	Rijbaan, 3 rijstroken	4000	375	V	
D	Start blokmarkering	780			
E	Wigvormig gedeelte extra rijstrook	90	100	X	
F	4 rijstroken (2+2)	400	-		
G	Afrijbanen rijstroken	2x2 >> 150	150	V	

¹ Toegestane maximumsnelheid complete wegvak = 120 km/h

² Zoals beschreven in richtlijn ontwerp autosnelweg (Rijkswaterstaat, 2017), hierbij worden ook de turbulentielengtes meegenomen.

Buren – Azelo (A1/A35)



Figuur 15-18 Wegvakken Buren --> Azelo

Tabel 15-4 Lengtes wegvakken traject Buren --> Azelo

Wegvak ¹	Type	Lengte (m)	Vereiste lengte (m) ²	Voldoet?	Opmerkingen
A	Toerijbanen rijstroken	2x2 >> 150	150	V	
B	Tapersamenvoeging	235	250	X	
C	Rijbaan, 3 rijstroken	555	375	V	
D	Invoegstrook	245	220 ³	V	
E	Rijstrookbeëindiging	85	60 ³	V	



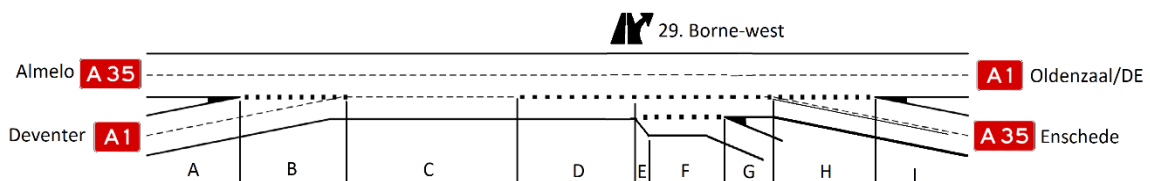
F	Rijbaan, 3 rijstroken	185	750	X	I.c.m. G wel voldoende lengte
G	Start blokmarkering	830			
H	Tapersplitsing	200	200	V	
I	Afrijbanen 2x2 rijstroken	>> 150	150	V	

¹Toegestane maximumsnelheid complete wegvak = 120 km/h, lagere maximumsnelheid tijdens spitsuren

²Zoals beschreven in richtlijn ontwerp autosnelweg (Rijkswaterstaat, 2017) , hierbij worden ook de turbulentielengtes meegenomen.

³ Bij ontwerpssnelheid van 90 km/h op toeleidende rijbaan, wat hier het geval is

Azelo – Buren (A1/A35)



Figuur 15-19 Wegvakken Azelo --> Buren

Tabel 15-5 Lengtes wegvakken traject Azelo --> Buren

Wegvak ¹	Type	Lengte (m)	Vereiste lengte (m) ²	Voldoet?	Opmerkingen
A	Toerijbanen 2x2 rijstroken	>> 150	150	V	
B	Tapersamenvoeging	260	250	V	
C	Rijbaan, 3 rijstroken	525	375+750	V	
D	Start blokmarkering	1150		V	
E	Wigvormig gedeelte uitrijstrook	90	100	X	Moeilijk te meten
F	Uitrijstrook	190	150	V	
G	Rijbaan, 3 rijstroken	570	150 + 150	V	
H	Tapersplitsing	210	200	V	
I	Afrijbanen 2x2 rijstroken	>> 150	150	V	

¹Toegestane maximumsnelheid complete wegvak = 120 km/h, lagere maximumsnelheid tijdens spitsuren

²Zoals beschreven in richtlijn ontwerp autosnelweg (Rijkswaterstaat, 2017) , hierbij worden ook de turbulentielengtes meegenomen.



15.4 Bijlage D: Invoergegevens FOSIM

Tabel 15-6 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Paalgraven

Knooppunt Paalgraven						
Samenvoeging	Taper/ Weven	Dubbel Links afstrepen	Dubbel rechts ingeklemd	Dubbel rechts afstrepen	Afstrepen Links, weven rechts	Ingeklemd rechts
Lengte samenvoegende rijstrook	850m	3600m	800m	1850m	1800	2250
Strookwissellengte						
- Gewenst 1	-	1200m	-	1200m	1200	-
- Verplicht 1	230m	600m	350m	600m	600	350
- Gewenst 2	50m	1200m	0m	1200m	1200	1200
- Verplicht 2	600m	600m	350m	600m	600	600
Totale lengte samenvoeging 1	230m	1800m	350m	850m	350	350
Totale lengte samenvoeging 2	650m	1800m	350m	1000m	1450	1900
Herkomsten						
- Den Bosch	53%		1590 mvt/h	3180 mvt/h		
- Eindhoven	47%		1410 mvt/h	2820 mvt/h		
Maximale intensiteit	6000 mvt/h					
Simulatietijd	2700s					
Bereiken max. intensiteit	1800s					
Filesnelheid	50km/h					
FOSIM versie	5.1					

Tabel 15-7 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Grijsoord

Knooppunt Grijsoord				
Samenvoeging	Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Ingeklemd invoeging
Lengte samenvoegende rijstrook	230m	1000m	1000m	350m
Totale strookwissellengte	230m	900m	1200m	350m
- Gewenst	-	600m	600m	-
- Verplicht	230m	300m	600m	350m
Totale lengte samenvoeging	230m	900m	1200m	450m
Herkomsten				
- Utrecht	52%		2080 mvt/h	4160 mvt/h
- Oss	48%		1920 mvt/h	3840 mvt/h
Maximale intensiteit	8000 mvt/h			
Simulatietijd	2700s			
Bereiken max.	1800s			



<i>intensiteit</i>	
<i>Filesnelheid</i>	50km/h
<i>FOSIM versie</i>	5.1

Tabel 15-8 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Waterberg

Knooppunt Waterberg

<i>Samenvoeging</i>	Taper	Links afstrepen (kort)	Links afstrepen (lang)	Rechts afstrepen	Weefvak	Ingekleemde invoeging
<i>Lengte samenvoegende rijstrook</i>	250m	900m	1800m	1450m	1800m	
<i>Totale strookwissellengte</i>	250m	900m	1200m	1450m	1800m	
- <i>Gewenst</i>	-	600m	600m	850m	1200m	
- <i>Verplicht</i>	250m	300m	600m	600m	600m	
<i>Totale lengte samenvoeging</i>	250m	900m	1200m	1450m	1800m	
<i>Herkomsten</i>						
- <i>Zevenaar</i>	54%		2160 mvt/h	4320 mvt/h		
- <i>Arnhem</i>	10%		400 mvt/h	800 mvt/h		
- <i>Apeldoorn</i>	36%		1440 mvt/h	2880 mvt/h		
<i>Maximale intensiteit</i>	8000 mvt/h					
<i>Simulatietijd</i>	2700s					
<i>Bereiken max. intensiteit</i>	1800s					
<i>Filesnelheid</i>	50km/h					
<i>FOSIM versie</i>	6.0					

Tabel 15-9 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Azelo

Knooppunt Azelo

<i>Samenvoeging</i>	Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Ingekleemde invoeging
<i>Lengte samenvoegende rijstrook</i>	250m	1800m	1680m	350m
<i>Totale strookwissellengte</i>	250m	1800m	900m	350m
- <i>Gewenst</i>	-	1200m	600m	-
- <i>Verplicht</i>	250m	600m	600m	350m
<i>Totale lengte samenvoeging</i>	250m	1800m	1500m	450m
<i>Herkomsten</i>				
- <i>Almelo</i>	57%		2280 mvt/h	4560 mvt/h
- <i>Deventer</i>	43%		1720 mvt/h	3440 mvt/h
<i>Maximale intensiteit</i>	8000 mvt/h			
<i>Simulatietijd</i>	2700s			
<i>Bereiken max.</i>	1800s			



<i>intensiteit</i>	
<i>Filesnelheid</i>	50km/h
<i>FOSIM versie</i>	5.1

Tabel 15-10 Overzicht invoergegevens FOSIM knooppunt Buren

Knooppunt Buren

<i>Samenvoeging</i>	Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Rechts afstrepen Oml. Borne	Ingekleemde invoeging
<i>Lengte samenvoegende rijstrook</i>	250m	1800m	1800m	1800m	350m
<i>Totale strookwissellengte</i>	250m	1500m	1800m	1800m	350m
- <i>Gewest</i>	-	900m	1200m	1200m	-
- <i>Verplicht</i>	250m	600m	600m	600m	350m
<i>Totale lengte samenvoeging</i>	250m	1800m	1800m	1800m	350m
<i>Herkomsten</i>					
- <i>Oldenzaal</i>	38%	1520 mvt/h	3040 mvt/h		
- <i>Enschede</i>	62%	2480 mvt/h	4960 mvt/h		
- <i>Borne west</i>	*	150 mvt/h	300 mvt/h		
<i>Maximale intensiteit</i>	8000 mvt/h				
<i>Simulatietijd</i>	2700s				
<i>Bereiken max. intensiteit</i>	1800s				
<i>Filesnelheid</i>	50km/h				
<i>FOSIM versie</i>	5.1				

* Bij sommige configuraties komt Borne west boven op de andere intensiteiten



15.5 Bijlage E: Resultaten gevoeligheidsanalyses

Er is een gevoeligheidsanalyse gedaan omtrent de gevoeligheid van de lengte van strookwisselgebieden en omtrent de lengte van de samenvoegende rijstrook. Hieronder zijn de resultaten te zien. In de laatste paragraaf zullen kort maatregelen omtrent dit gedrag genoemd worden.

15.5.1 Strookwisselgebieden

Voor deze analyse zijn alle overige invoergegevens gelijk gehouden. Alleen de gewenste en verplichte strookwisselafstanden zijn gevarieerd om de gevoeligheid hiervan te bepalen. In Tabel 15-11 staan de invoergegevens bij deze analyse.

Tabel 15-11 Invoergegevens gevoeligheidsanalyses strookwisselgebieden

Knooppunt	Grijsoord
Vrachtverkeer	
- Utrecht	10%
- Oss	20%
Lengte samenvoegende rijstrook	1000m
Type samenvoeging	Rechter afstreping

De verplichte strookwisselafstand heeft 2 waardes: 300m en 600m. 300m is in Nederland standaard de afstand waarop het bord 'ritsen vanaf hier' staat, echter kan dit in FOSIM een nogal abrupte file veroorzaken. Daarom wordt ook 600m gesimuleerd om te kijken wat de resultaten zijn.

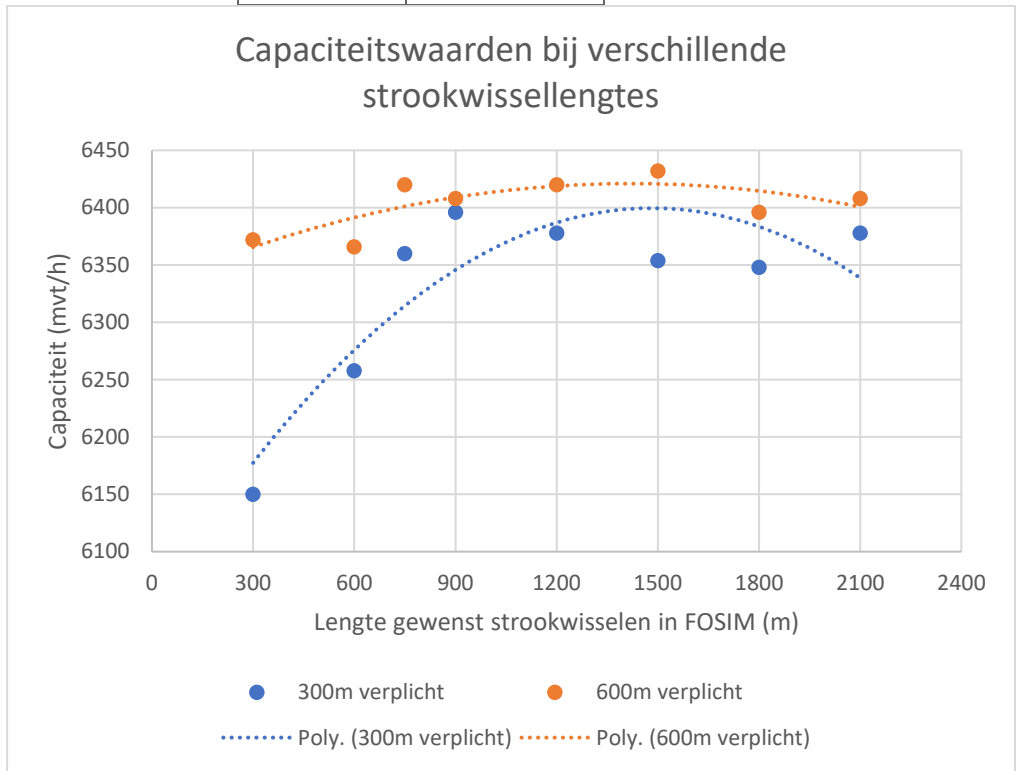
De gewenste strookwisselafstand is in werkelijkheid 1000 à 1200 meter. Op 1000 meter staat namelijk het eerste bord dat er een rijstrook zal verdwijnen. Vanaf hier krijgen mensen de neiging van rijstrook te wisselen. Echter kan deze waarde goed beïnvloed worden door eerder of later aan te geven dat er een rijstrookbeëindiging aan komt. Daarom zijn voor de gewenste strookwisselafstand meerdere waardes genomen tussen 300m en 2100m. In Tabel 15-12 zijn de resultaten van de verschillende afstand combinaties te zien.

Tabel 15-12 Capaciteiten bij diverse lengtes strookwisselgebieden

Invoeging	Gewenst	Capaciteit
Verplicht 300	300	6150
	600	6258
	750	6360
	900	6396
	1200	6378
	1500	6354
	1800	6348
	2100	6378
600	300	6372
	600	6366
	750	6420
	900	6408
	1200	6420
	1500	6432
	1800	6396



2100	6408
------	------



Figuur 15-20 Grafiek met capaciteitswaarden bij verschillende strookwisselgebieden

In Figuur 15-20 zijn de resultaten geplot zodat er een trend gezien kan worden. Men kan zien dat bij kleine gewenste strookwisselafstanden en 300m verplichte strookwisselafstand, de capaciteit lager ligt dan bij grotere strookwisselafstanden. Tevens is er een soortoptimum te zien, wat te verklaren valt door het feit dat de strookwisselafstanden (opgeteld) langer worden dan de samenvoegende rijstrook, waardoor er al voor de samenvoeging drukte ontstaat. De strookwisselafstanden in de simulaties zullen per simulatie aangegeven worden, met inachtneming van deze gevoeligheidsanalyse.

15.5.2 Lengte rijstrook

Om de gevoeligheid van de lengte van een rijstrook te onderzoeken is ook hier een gevoeligheidsanalyse gedaan. Hierbij worden wederom alle overige factoren gelijk gehouden en de lengte van de samenvoegende rijstrook gevarieerd. In Tabel 15-13 staan de invoergegevens van deze gevoeligheidsanalyse.

Tabel 15-13 Invoergegevens gevoeligheidsanalyses lengte samenvoegende rijstrook

Knooppunt	Grijsoord
Vrachtverkeer	
- Utrecht	10%
- Oss	20%
Totale strookwissellengte	1800m
- Gewenst	1200m
- Verplicht	600m
Type samenvoeging	Linker afstreping

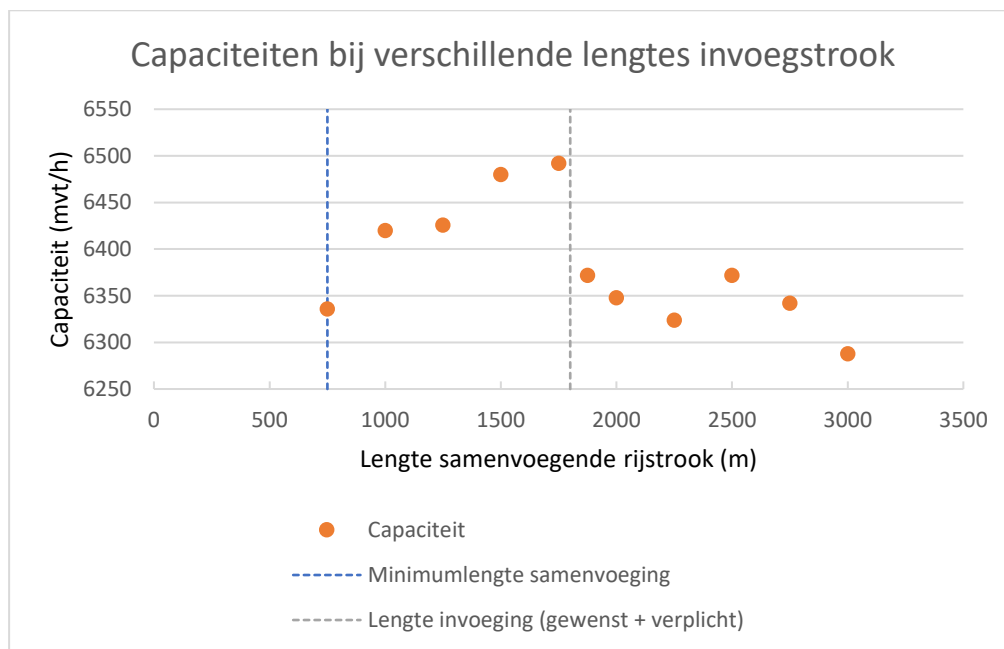
In Tabel 15-14 staan de capaciteitswaarden bij verschillende rijstrooklengtes. De dubbele streep geeft het moment aan waar de lengte van de rijstrook langer wordt dan de totale strookwissellengte.



In Figuur 15-21 zijn de resultaten geplot en is dezelfde lijn getoond. Dit is van belang vanwege het feit dat wanneer de rijstrook langer is dan de totale strookwissellengte, verkeer zich nog naar de meest rechtse rijstrook verplaatst en daarna weer terug van rijstrook moet wisselen. Hierdoor daalt de capaciteit.

Tabel 15-14 Capaciteiten bij diverse lengtes samenvoegende rijstrook

Lengte rijstrook	Capaciteit
750	6336
1000	6420
1250	6426
1500	6480
1750	6492
1875	6372
2000	6348
2250	6324
2500	6372
2750	6342
3000	6288



Figuur 15-21 Grafiek met capaciteitswaarden bij verschillende lengtes samenvoegende rijstrook

15.5.3 Beïnvloeden strookwisselgedrag

Het strookwisselgedrag van bestuurders dient in FOSIM ingevoerd te worden om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de werkelijkheid. Echter kan het strookwisselgedrag in werkelijkheid beïnvloed worden door bebording en belijning. Zoals hierboven al vermeld kan de gewenste strookwissellengte enigszins beïnvloed worden door de bebording. Ook kunnen problemen met te lange rijstroken opgevangen worden door een ononderbroken lijn naast een onderbroken lijn te plaatsen, zodat wisselen van rijstrook verboden wordt. Bij al deze maatregelen gaat het om maatwerk en daarom moeten ze per situatie bekeken worden.



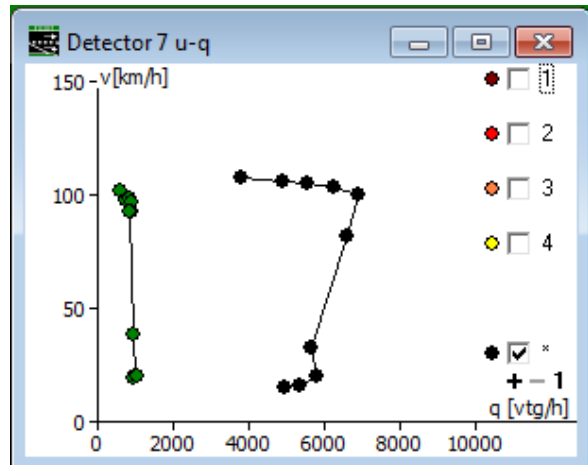
15.6 Bijlage F: Stappenplan onderzoek



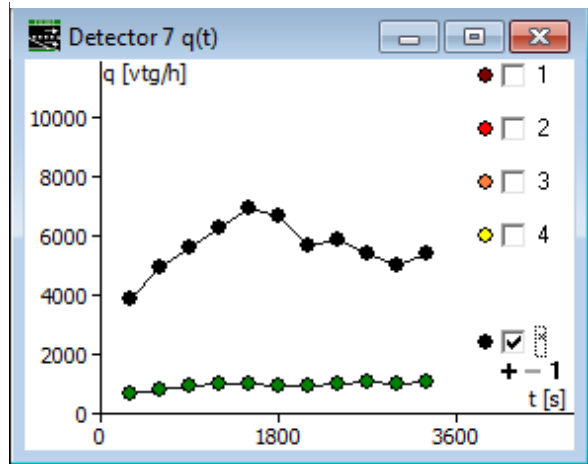
15.7 Bijlage G: Capaciteitsbepaling

De bepaling van de capaciteit van een wegvak berust op een aantal basisprincipes uit de verkeerskunde. De capaciteit van een wegvak wordt namelijk bepaald op het moment dat er congestie ontstaat. Als er congestie ontstaat op een wegvak, daalt de capaciteit namelijk. In Figuur 15-22, Figuur 15-23 en Figuur 15-24 zijn de $u-q$ en $q(t)$ -diagrammen te zien van een wegvak (Waterberg; taper). Zoals je in de $u-q$ diagrammen goed kunt zien, is er bij detector 7 (links) sprake van de congestieve tak. Bij detector 4 (midden) is er sprake van afremming, maar nog geen congestie en bij detector 1 is er de gehele tijd sprake van vrije afstroming. In de $q(t)$ -diagrammen is goed te zien dat de capaciteit oploopt tot een bepaald punt (tijdstip vorming van congestie) waarna er een vrij abrupte daling te zien is. De piek is te beschouwen als de maximale capaciteit van een wegvak. Dit wordt gemeten op detector 1, immers dat is de afstroom van het wegvak. Het gaat hier om de 5-minuten capaciteit. Er is gekozen voor 5 minuten capaciteit op advies van Rijkswaterstaat. Als de capaciteit vaker wordt gemeten, ontstaan er te grote uitschieters waardoor de capaciteitswaarden niet meer overeenkomen met de werkelijkheid.

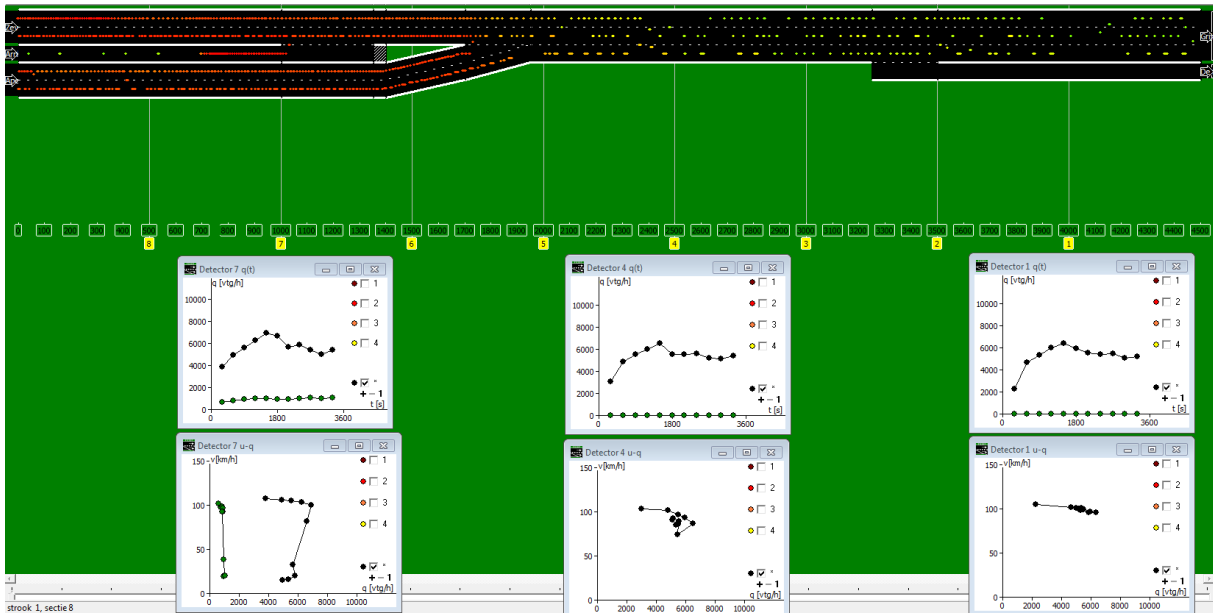
In FOSIM kan de 5 minuten capaciteit bepaald worden door in te stellen dat de maximale capaciteit van detector 1 weergegeven wordt op het moment dat er op detector x (in dit geval is het wijs om detector 7 te kiezen) een gemiddelde snelheid van $< y$ km/h gemeten wordt. Voor y wordt in dit onderzoek altijd 50 km/h gekozen omdat er dan sprake is van congestie.



Figuur 15-23 $u-q$ diagram voor detector 7 van tapersamenvoeging bij Waterberg



Figuur 15-22 $q(t)$ diagram voor detector 7 van tapersamenvoeging bij Waterberg



Figuur 15-24 u-q diagrammen (boven) en q(t) diagrammen (onder) voor resp. detector 7, 4 en 1 (v.l.n.r.) bij tapersamenvoeging op knooppunt Waterberg

Omdat de simulatie gebaseerd is op toeval (de input van verkeer wordt random verdeeld⁴), is het nodig om meerdere simulaties te runnen met dezelfde parameters. Pas dan kan er iets relevants geconcludeerd worden. Dit is in 15.2 Bijlage B: Invoer FOSIM: Linker afstreping knooppunt Grijsoord uitgebreid beschreven.

⁴ In werkelijkheid wordt het door een computer bepaald d.m.v. een algoritme. Het is dus niet echt random, maar kan wel als random worden opgevat.



15.8 Bijlage H: Multi-criteria analyse

Om tot een goed advies te komen per locatie, is er een multi-criteria analyse opgesteld. Met deze MCA worden verschillende alternatieven met elkaar vergeleken. In onderstaande paragrafen worden per criterium de scorebepaling aangegeven.

15.8.1 Capaciteitswaarden

De capaciteitswaarden worden geschaald op een schaal van 1 tot 5 op gehele getallen afgerond. Hiertoe wordt de laagste capaciteit gelijk gesteld aan score 1 en de grootste capaciteit aan score 5. De overige scores worden geschaald tussen deze twee cijfers. De algemene methode is beschreven in

- De laagste capaciteit (q_{min}) krijgt score 1
- De hoogste capaciteit (q_{max}) krijgt score 5
- Bereken de stapgrootte: $\Delta = \frac{q_{max} - q_{min}}{4}$
- Bereken score van q_x : $1 + \frac{q_x - q_{min}}{\Delta}$
- Rond af op het dichtsbijzijnde gehele getal

Vergelijking 1 Scorebepaling capaciteitswaarden

Stel de volgende dataset voor: [30 20 16 12 24]. In dit geval is 12 de laagste waarde en krijgt score 1, Het getal 30 is de hoogste waarde en krijgt score 5. $30 - 12 = 18$, verdeeld over 4 stappen wordt elke stap dus $18/4 = 4,5$. Het getal 16 krijgt score: $1 + (16-12)/4,5 = 1,888... \rightarrow 2$. 20 krijgt score: $1 + (20-12)/4,5 = 2,777... \rightarrow 3$. Etc.

15.8.2 Strookwisselingen

Voor het aantal strookwisselingen van vrachtverkeer zijn er verschillende types strookwisselingen. De eerste is het totaal aantal strookwisselingen. Het meest optimale is het om zo min mogelijk strookwisselingen te hebben. Dit geldt ook voor het aantal strookwisselingen in een bepaalde richting. Des te meer strookwisselingen vrachtverkeer moet maken, des te onveiliger een situatie wordt. Daarom zijn strookwisselingen geschaald zoals weergegeven in Tabel 15-15. Echter zijn strookwisselingen voor vrachtverkeer naar rechts gevaarlijker (en moeilijker uit te voeren; zie kader pagina 19) dan strookwisselingen naar links. Daarom wordt een strookwisseling naar rechts anders gescoord dan een strookwisseling naar links. (zie Tabel 15-16)

Tabel 15-15 Scorebepaling totaal aantal strookwisselingen

Totaal Aantal strookwisselingen	Score
1	5
2	1

Tabel 15-16 Scorebepaling strookwisselingen naar resp. rechts en links

Strookwisselingen naar rechts	Score	Strookwisselingen naar links	Score
0	5	0	5
1	3	1	4
2	1	2	2



15.8.3 Uitwijkmogelijkheden

Om de uitwijkmogelijkheden te schalen is een meer kwantitatieve analyse noodzakelijk. Tevens dient hier in oegenschouw genomen te worden dat bij verschillende situaties dezelfde oplossingen andere scores kunnen krijgen. Dit wordt veroorzaakt door het fenomeen dat er onderling tussen oplossingen wordt vergeleken. Er wordt per oplossing nagegaan welke uitwijkmogelijkheid veiliger is dan andere opties. Daarna wordt per oplossing enigszins arbitrair een score toegeedeeld, waarbij 1 de minst veilige oplossing is en 5 de meest veilige oplossing is. Voor de standaard 4 oplossingen zijn de scores te zien in Tabel 15-17. Eronder staat een toelichting.

Tabel 15-17 Scorebepaling uitwijkmogelijkheden voor vier standaard samenvoegingen

Samenvoeging	Uitwijkmogelijkheid	Score
Taper	Geen	1
Links afstrepen	Verdrijfvlak	2
Rechts afstrepen	Vluchtstrook	5
Ingekleemde invoeging	Verdrijfvlak en rechter rijstrook	3

Een taper heeft minder uitwijkmogelijkheden dan een linker afstreping. Een linker afstreping heeft minder uitwijkmogelijkheden dan een ingeklemde invoeging. Een ingeklemde invoeging heeft veel minder (veilige) uitwijkmogelijkheden dan een rechter afstreping. In een schema:

Taper < Linker afstreping
Linker afstreping < Ing. Invoeging
Ing. Invoeging << Rechter afstreping

15.8.4 Resultaten

In Figuur 15-25 t/m Figuur 15-29 zijn de resultaten van de MCA weergegeven.

		Taper/weefvak	Dubbel Li. Afstr.	Dubbel Re ingeklemd	Dubbel Re Afstr.	Afstr. Li, Weven Re	Ing. Re, Afstr. Li
Kwantiteit	Capaciteit	1	1	2	4	5	2
Kwaliteit	Rijstrookwisselingen	Totaal	5	1	5	1	5
		Rechts	5	1	5	5	3
		Links	4	5	4	2	4
	Uitwijkmogelijkheden	1	2	4	5	3	3
		1,92	1,58	3,17	3,92	3,92	2,83

Figuur 15-26 MCA knooppunt Paalgraven

		Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Ingekleemde invoeging
Kwantiteit	Capaciteit	2	1	5	1
Kwaliteit	Rijstrookwisselingen	Totaal	5	1	5
		Rechts	3	1	3
		Links	5	5	4
	Uitwijkmogelijkheden	1	2	5	3
		2,33	1,58	4,42	2,33

Figuur 15-25 MCA knooppunt Grijsoord



			Taper	Links afstrepen kort	Links afstrepen lang	Rechts afstrepen	Weefvak	Ing. Inv.
Kwantiteit	Capaciteit		3	3	4	5	5	1
Kwaliteit	Rijstrookwisselingen	Totaal	5	1	1	1	1	5
		Rechts	3	1	1	3	3	3
		Links	5	5	5	4	4	5
	Uitwijkmogelijkheden		1	2	2	5	5	3
			✘ 2,83 ✘	2,58 ⚠	3,08 ✓	4,42 ✓	4,42 ✘	2,33 ✘

Figuur 15-27 MCA knooppunt Waterberg

			Taper	Rechts afstrepen	Links afstrepen	Ing. Inv.
Kwantiteit	Capaciteit		3	5	3	1
Kwaliteit	Rijstrookwisselingen	Totaal	5	1	1	5
		Rechts	3	3	1	3
		Links	5	4	5	5
	Uitwijkmogelijkheden		1	5	2	3
			✘ 2,83 ✓	4,42 ✘	2,58 ✘	2,33 ✘

Figuur 15-28 MCA knooppunt Azelo

			Taper	Rechts afstrepen	Re. Afstrepen oml. Borne	Links Afstrepen	Ing. Inv.
Kwantiteit	Capaciteit		2	4	5	3	1
Kwaliteit	Rijstrookwisselingen	Totaal	5	1	1	1	5
		Rechts	3	3	3	1	3
		Links	5	4	4	5	5
	Uitwijkmogelijkheden		1	5	5	2	3
			✘ 2,33 ✓	3,92 ✓	4,42 ✘	2,58 ✘	2,33 ✘

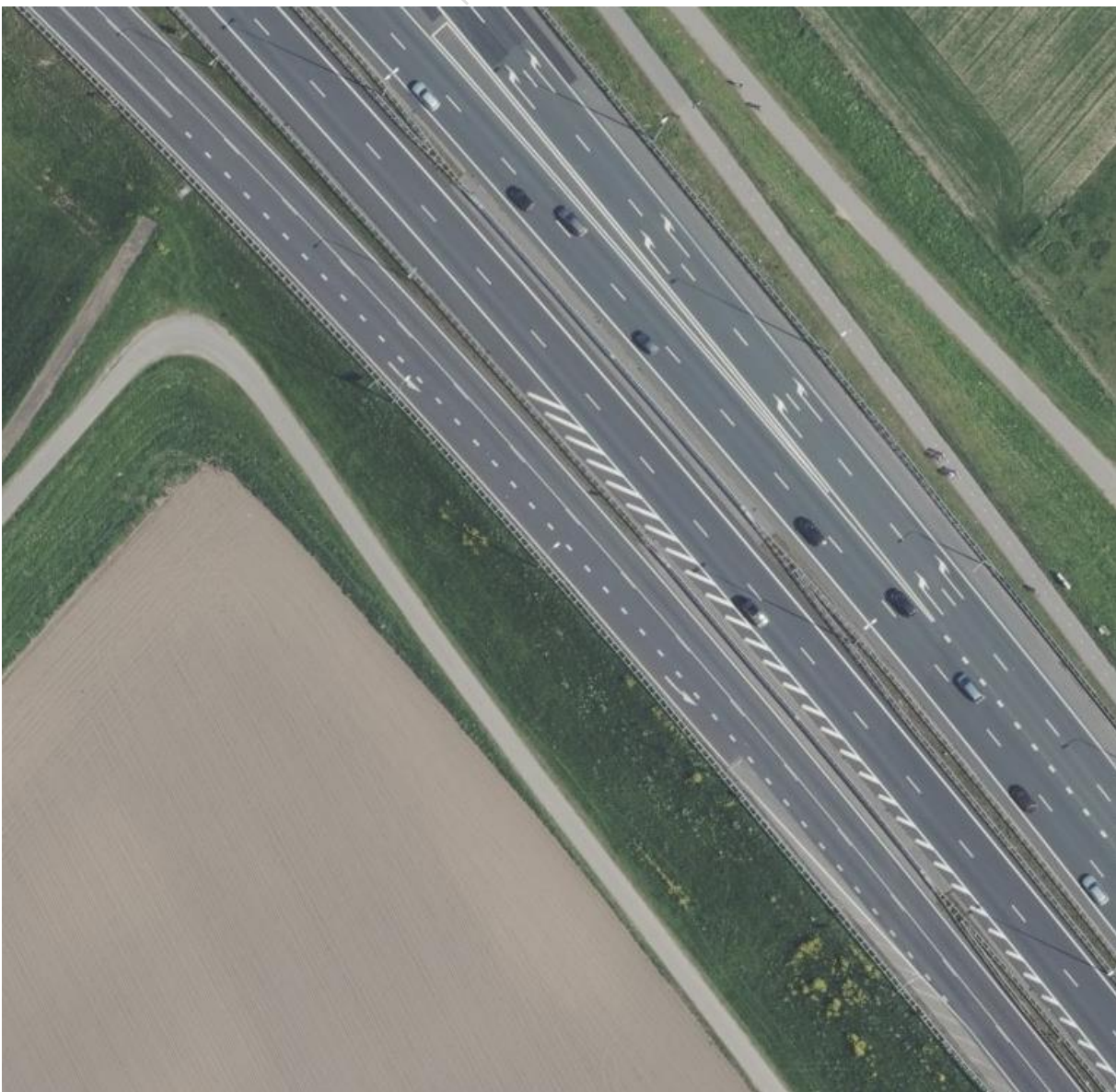
Figuur 15-29 MCA knooppunt Buren



15.9 Bijlage I: Voorbeelden samenvoegen



Figuur 15-30 Voorbeeld rechter afstreping bij knooppunt Ressen (A15/A325)



Figuur 15-31 Rechter afstreping bij knooppunt Velperbroek





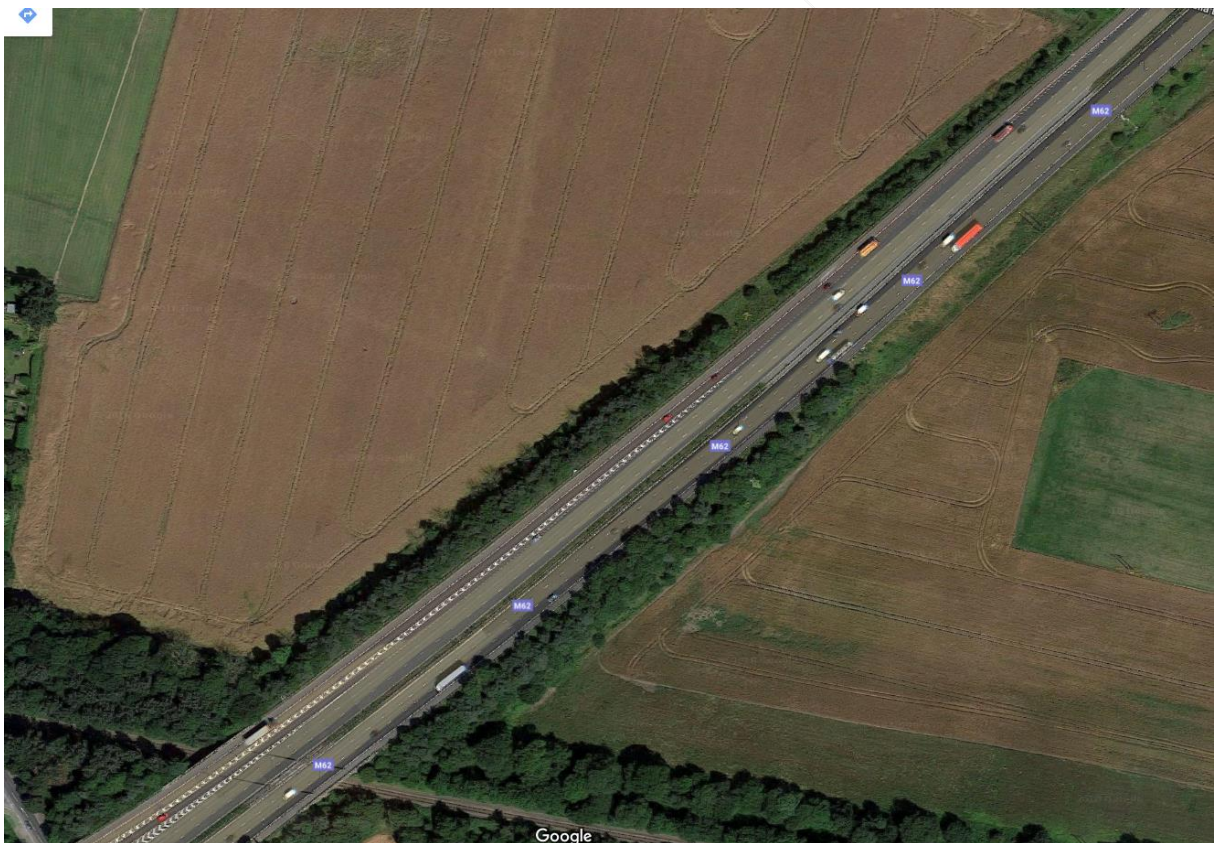
Figuur 15-32 Rechter afstropping (zonder verdrijfvlak) op de Duitse Autobahn bij Hannauer Kreuz (A45/A66)



Figuur 15-33 Rechter afstropping (met verdrijfvlak) op de Belgische Autosnelweg bij knooppunt Ranst (A21/A13)



Figuur 15-34 Ingekleemde invoeging op de Engelse Snelweg bij knooppunt A1(M)/A14



Figuur 15-35 Ingekleemde invoeging met rechter afstreping⁵ in Engeland bij het knooppunt M62/M18

⁵ Aangezien ze in Engeland links rijden, is het eigenlijk een linker afstreping, maar te vergelijken met een rechter afstreping in Nederland.





Figuur 15-36 Voorbeeld Engels verkeersbord van een ingeklemde invoeging met rechter afstreping bij een samenvoeging 3+3 -> 4 bij het knooppunt A1(M)/M1



Figuur 15-37 Rechter afstreping in Engeland met verdrijfvlak, pijlen en blokmarkering (bij knooppunt A1(M)/M1)



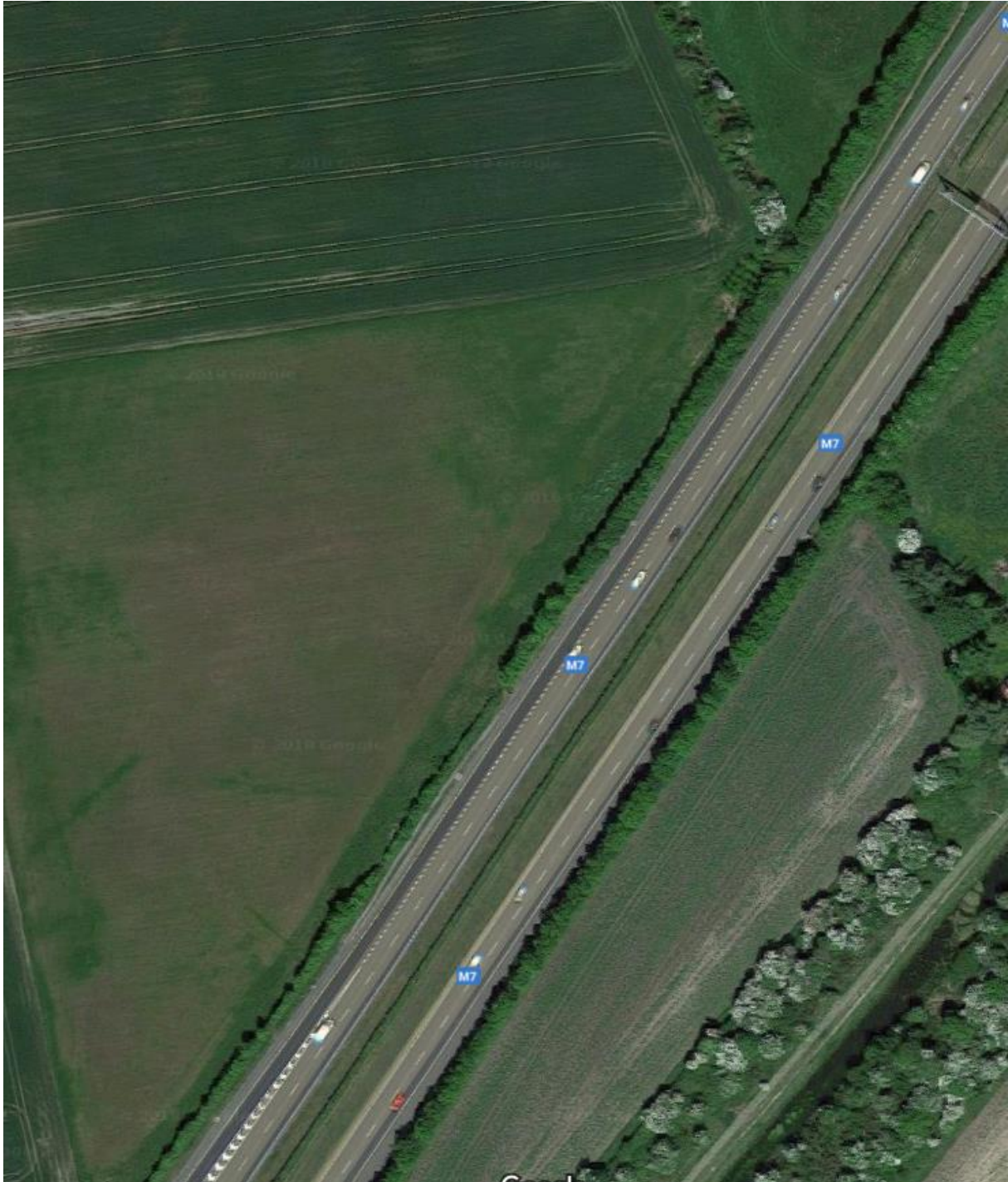


Figuur 15-38 Rechter afstropping op de Franse Autoroute bij het knooppunt A31/A5



Figuur 15-39 Rechter afstropping met pijlen op de Luxemburgse snelweg bij Croix de Gasperich (A3/A1)





Figuur 15-40 Rechter afstreping Ierland zonder verdrijfvlak en pijlen, met blokmarkering bij het knooppunt M7/M9





Figuur 15-41 Dubbele rechter afstreping op de Zwitserse Autosnelweg bij knooppunt Yverdon (A5/A1)



Figuur 15-42 Dubbele rechter afstreping op de Italiaanse Autostrada bij knooppunt A9/A8





Figuur 15-43 Rechter afstreping met pijlen op de Spaanse snelweg bij het knooppunt AP7/B23



Figuur 15-44 Rechter afstreping op de Oostenrijkse Autosnelweg bij Knoten Innsbruck (A12/A13)

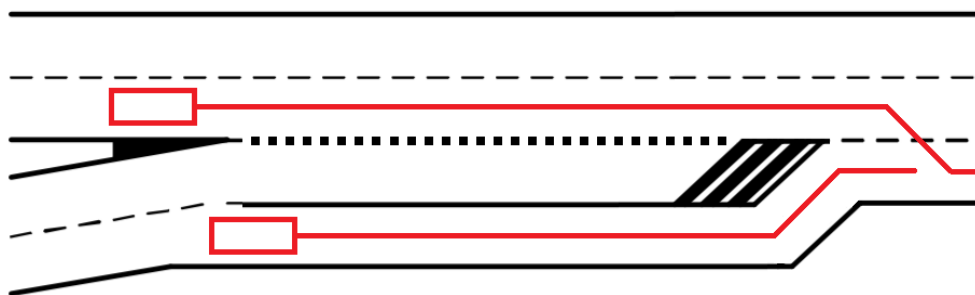
Tabel 15-18 Vormgeving rechter afstreping in Europese landen

	En*	Ie	Be	Fr	De	Dan	Es	CH	Lux	Au	It
Rechter afstreping	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Markering											
- Blok	✓	✓	✓	✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗
- Onderbroken	✗	✗	✗	✓	✓		✗	✓	✓	✓	✓
- Onderbr./Doorg.	✗	✗	✓	✗	✗		✓	✗	✗	✗	✗
Pijlen	✓	✗	✓	✗	✗		✓	✓	✓	✓	✗
Verdrijfvlak	✓	✗	✓	✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗
	* Niet altijd met verdrijfvlak										

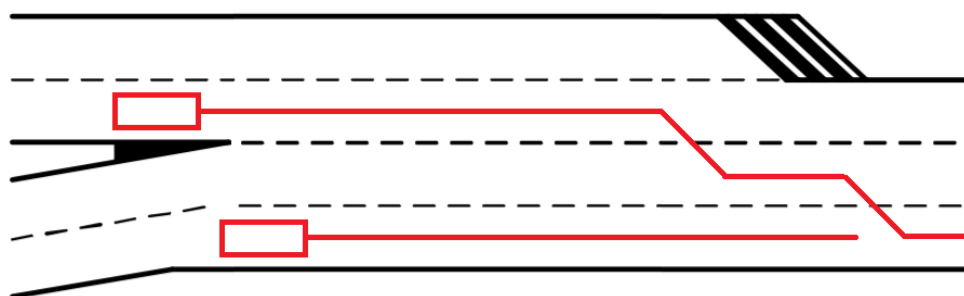
De gegevens in Tabel 15-18 zijn bepaald aan de hand van gevonden samenvoegingen in diverse landen, waarvan in Figuur 15-30 t/m Figuur 15-44 afbeeldingen zijn weergegeven. (Google, 2018). Dit betekent niet dat er geen andere samenvoegingen gebruikt worden dan wel een andere vormgeving gebruikt wordt. Dit is puur ter indicatie wat er in Europa voor varianten gebruikt worden.



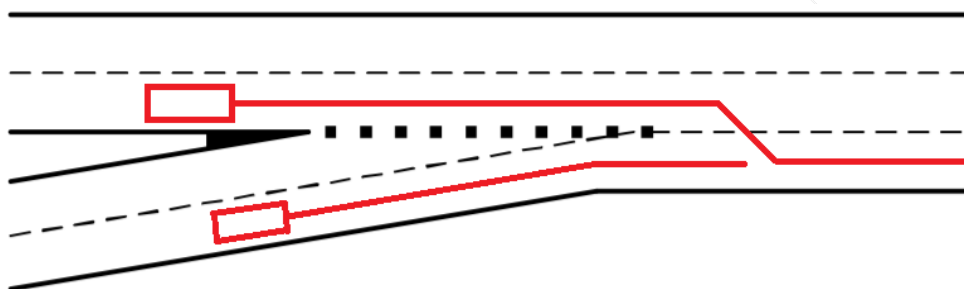
15.10 Bijlage J: Rijstrookwisselingen vrachtverkeer



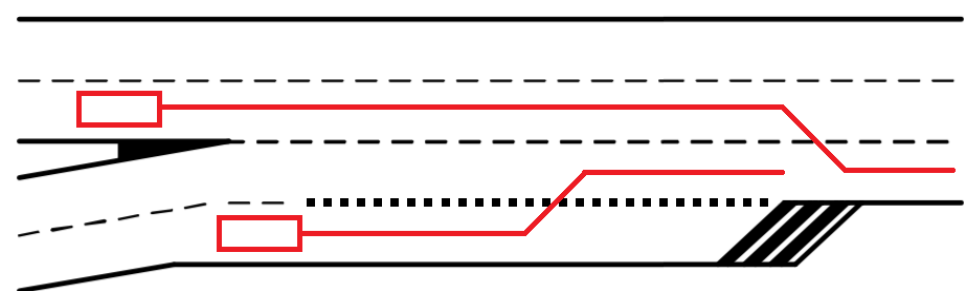
Figuur 15-45 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een ingeklemde invoeging



Figuur 15-46 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een linker afstreping



Figuur 15-47 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een tapersamenvoeging



Figuur 15-48 Rijstrookwisselingen vrachtverkeer bij een rechter afstreping

Tabel 15-19 Overzichtstabel rijstrookwisselingen vrachtverkeer

Rijstrookwisselingen	Taper	Rechts afstrepen	Links afstrepen	Ingekleemde Invoeging
<i>Links</i>	0	1	0	0
<i>Rechts</i>	1	1	2	1
<i>Totaal</i>	1	2	2	1



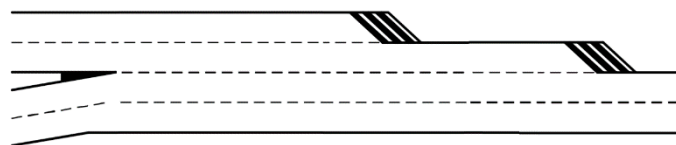
15.11 Bijlage K: Overige samenvoegingen

Naast bovenstaande samenvoegingen zijn er nog een aantal samenvoegingen die op specifieke onderzoeklocaties kunnen worden toegepast. Deze samenvoegingen worden hier kort benoemd en beschreven. Ook wordt de mogelijke locatie voor toepassing erbij vermeld.

15.11.1 Dubbel links afstrepen

Deze vorm van samenvoegen kan toegepast worden op knooppunt Paalgraven. Hier worden de twee linker rijstroken na elkaar afgestreepd. Feitelijk

is er dus sprake van 2x een linker afstreping (zie Figuur 15-49).

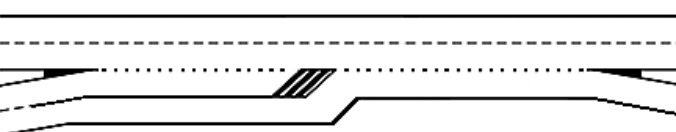


Figuur 15-49 Dubbele linker afstreping

15.11.2 Rechts ingeklemd + weefvak

Deze samenvoeging kan worden toegepast op knooppunt Paalgraven. De linker rijstrook van de samenvoegende

rijbaan, wordt ingeklemd ingevoegd, waarna de rechter rijstrook overgaat in een weefvak. Een schematische weergave is te zien in Figuur 15-50.



Figuur 15-50 Ingeklemd ingevoegd weefvak

15.11.3 Rechts ingeklemd + links afstrepen

Deze samenvoeging kan ook toegepast worden op knooppunt Paalgraven. Hierbij wordt de linker rijstrook van de samenvoegende rijbaan ingeklemd

ingevoegd, waarna de linker rijstrook van de hoofdrijbaan wordt afgestreepd.

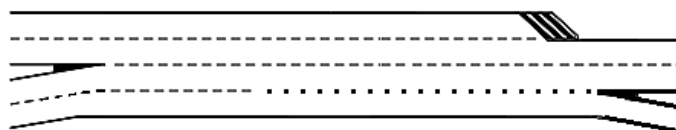
Er wordt hier een aparte uitvoegstrook aangelegd voor de parkeervoorziening. Een schematische weergave is te zien in Figuur 15-51.



Figuur 15-51 Ingeklemd ingevoegd weefvak met linker afstreping

15.11.4 Rechts weefvak + links afstrepen

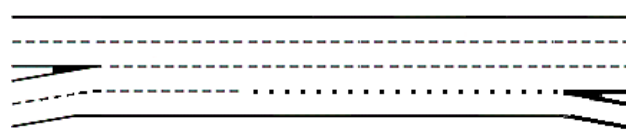
Deze samenvoeging kan ook worden toegepast op knooppunt Paalgraven. De linker rijstrook wordt afgestreepd en de rechter rijstrook verandert in de uitvoegstrook voor de parkeervoorziening. Hierdoor ontstaat een asymmetrisch weefvak met afstreping. In Figuur 15-52 is deze samenvoeging schematisch te zien.



Figuur 15-52 Asymmetrisch weefvak met linker afstreping

15.11.5 Asymmetrisch weefvak

Op knooppunt Waterberg kan een asymmetrisch weefvak toegepast worden. Hierbij wordt de rechter rijstrook de uitvoegstrook naar de parkeervoorziening. Een schematische weergave is te zien in Figuur 15-53



Figuur 15-53 Asymmetrisch weefvak (2+2 --> 3+1)

15.12 Bijlage L: Statistische toets

Om te bepalen of de resultaten uit het onderzoek statistisch significant zijn, is er voor de vergelijkingswaarden een statistische test uitgevoerd. Omdat de gemiddelden en de standaardafwijkingen van beide steekproeven bekend zijn (dit zijn resultaten die uit FOSIM komen), is er een 'u-toets voor het verschil in gemiddelden' zoals beschreven door ir. J. van Soest (van Soest, 1983).

Een capaciteitswaarde is verschillend en statistisch significant als de nulhypothese kan worden verworpen. Dit wordt gedaan door de nulhypothese te toetsen tegen een alternatieve hypothese.

Nulhypothese $H_0: \mu_1 = \mu_2$
 (waarin μ_1 het gemiddelde van de huidige samenvoeging is
 en μ_2 het gemiddelde van het alternatief)

Alternatieve hypothese $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Als toetsingsgrootheid neemt men het verschil tussen de gemiddelden:

$$d = \mu_1 - \mu_2$$

Daarmee worden de kritieke gebieden:

$$d \begin{cases} \leq -u_{1/2\alpha} \sigma_d \\ \geq u_{1/2\alpha} \sigma_d \end{cases}$$

waarin: $\sigma_d = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$

en $u_{1/2\alpha}$ een waarde uit een tabel is, afhankelijk van je acceptatieniveau
 waarin: $\sigma_x =$ standaardafwijking alternatief x

Vergelijking 2 Statistische u-toets voor gemiddelden

Deze formules zijn toegepast in een Excelsheet. De resultaten bij een acceptatieniveau van 0,025 zijn te zien in Figuur 15-54 t/m Figuur 15-58.

Paalgraven 10% / 20%						
	Taper/weven	Dubbel links	Dubbel rechts ingeklemd	Dubbel rechts afstrepen	Afstrepen links weven rechts	Ingeklemd rechts
Gemiddelde	4048	3960	3960	4193	4255	4086
Std. Afwijking	174	197	256	169	207	197
Aantal metingen	100	100	100	100	100	100
sigmad		26,28	30,95	24,26	27,04	26,28
d		88,00	88,00	-145,00	-207,00	-38,00
min grens		-25,76	-30,33	-23,77	-26,50	-25,76
max grens		25,76	30,33	23,77	26,50	25,76
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT
Paalgraven 15% / 20%						
	Taper/weven	Dubbel links	Dubbel rechts ingeklemd	Dubbel rechts afstrepen	Afstrepen links weven rechts	Ingeklemd rechts
Gemiddelde	3880	3865	3852	4025	4136	3992
Std. Afwijking	155	177	241	198	179	175
Aantal metingen	100	100	100	100	100	100
sigmad		23,5274308	28,65414455	25,14537731	23,67826007	23,37733946
d		15	28	-145	-256	-112
min grens		-23,05688218	-28,08106166	-24,64246976	-23,20469487	-22,90979267
max grens		23,05688218	28,08106166	24,64246976	23,20469487	22,90979267
T.O.V. Taper	-	NIET SIGNIFICANT	NIET SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Figuur 15-54 Resultaten statistische toets Paalgraven bij 10%/20% en 15%/20% vrachtverkeer



Waterberg 15% / 5%						
	Taper	Rechts	Links Kort	Links Lang	Weefvak	Ing. Inv.
Gemiddelde	6149	6750	6210	6508	6777	5406
Std. Afwijking	371	251	339	250	342	419
Aantal metingen	100	100	100	100	99	100
sigmad		44,79	50,26	44,74	50,58	55,96
d		-601,00	-61,00	-359,00	-628,00	743,00
min grens		-43,90	-49,25	-43,84	-49,56	-54,85
max grens		43,90	49,25	43,84	49,56	54,85
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Waterberg 15% / 10%						
	Taper	Rechts	Links Kort	Links Lang	Weefvak	Ing. Inv.
Gemiddelde	5980	6479	6036	6261	6564	5215
Std. Afwijking	328	284	310	322	286	433
Aantal metingen	100	100	100	100	100	100
sigmad		43,38663389	45,13136382	45,96389888	43,51781245	54,32062224
d		-499	-56	-281	-584	765
min grens		-42,51890121	-44,22873654	-45,0446209	-42,6474562	-53,23420979
max grens		42,51890121	44,22873654	45,0446209	42,6474562	53,23420979
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Figuur 15-55 Resultaten statistische toets Waterberg bij 15%/5% en 15%/10% vrachtverkeer



Grijsoord 15% / 5%				
	Taper	Rechts	Links	Ing. Inv.
Gemiddelde	6307	6706	5939	6231
Std. Afwijking	385	225	286	265
Aantal metingen	100	97	100	100
sigmad		44,77	47,96	46,74
d		-399,00	368,00	76,00
min grens		-43,87	-47,00	-45,80
max grens		43,87	47,00	45,80
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Grijsoord 15% / 10%				
	Taper	Rechts	Links	Ing. Inv.
Gemiddelde	6113	6526	5745	5980
Std. Afwijking	403	214	258	307
Aantal metingen	100	99	100	100
sigmad		45,68014731	47,85112329	50,66142517
d		-413	368	133
min grens		-44,76654437	-46,89410082	-49,6481967
max grens		44,76654437	46,89410082	49,6481967
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Figuur 15-56 Resultaten statistische toets Grijsoord bij 15%/5% en 15%/10% vrachtverkeer



Azelo 5% / 10%				
	Taper	Rechts	Links Kort	Ing. Inv.
Gemiddelde	6652	7048	6596	6246
Std. Afwijking	428	194	243	421
Aantal metingen	100	96	100	100
sigmad		47,16	49,22	60,04
d		-396,00	56,00	406,00
min grens		-46,21	-48,23	-58,83
max grens		46,21	48,23	58,83
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Azelo 5% / 15%				
	Taper	Rechts	Links Kort	Ing. Inv.
Gemiddelde	6546	6873	6473	6180
Std. Afwijking	400	196	240	472
Aantal metingen	100	100	100	100
sigmad		44,54391092	46,64761516	61,86954016
d		-327	73	366
min grens		-43,6530327	-45,71466286	-60,6321494
max grens		43,6530327	45,71466286	60,6321494
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Azelo 10% / 10%				
	Taper	Rechts	Links Kort	Ing. Inv.
Gemiddelde	6276	6785	6426	6009
Std. Afwijking	462	253	234	443
Aantal metingen	100	100	100	100
sigmad		52,67	51,79	64,01
d		-509,00	-150,00	267,00
min grens		-51,62	-50,75	-62,73
max grens		51,62	50,75	62,73
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Azelo 10% / 15%				
	Taper	Rechts	Links	Ing. Inv.
Gemiddelde	6121	6602	6244	5991
Std. Afwijking	416	155	244	426
Aantal metingen	100	100	100	100
sigmad		44,39380587	48,22779282	59,5425898
d		-481	-123	130
min grens		-43,50592976	-47,26323696	-58,351738
max grens		43,50592976	47,26323696	58,351738
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Figuur 15-57 Resultaten statistische toets Azelo bij 5%/10%, 5%/15%, 10%/10% en 10%/15% vrachtverkeer



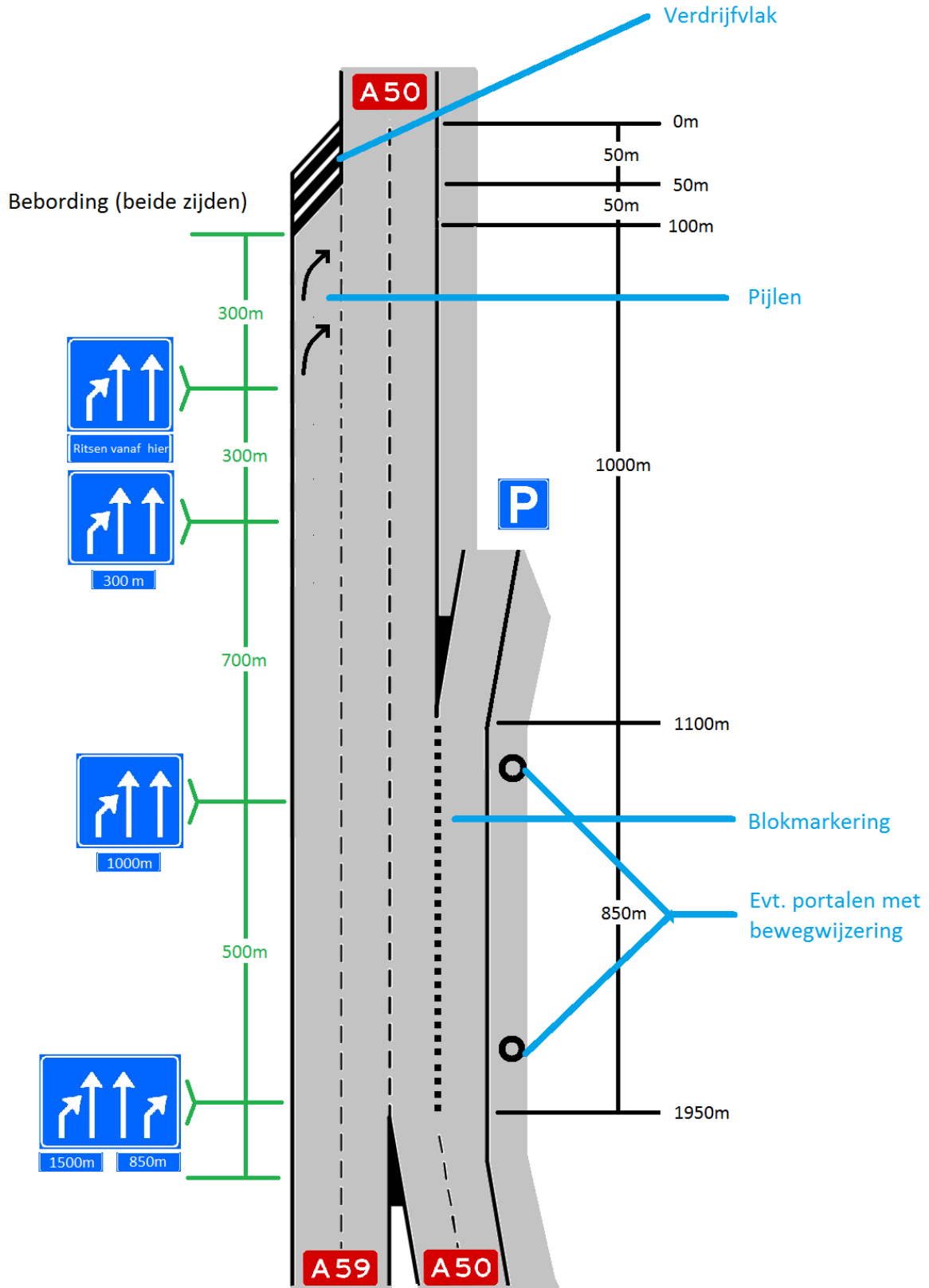
Buren 20% / 5%					
	Taper	Rechts	Rechts oml. Borne	Links	Ing. Inv.
Gemiddelde	5971	6575	6673	6225	5896
Std. Afwijking	538	190	144	262	455
Aantal metingen	100	100	100	100	100
sigmad		57,06	55,69	59,84	70,46
d		-604,00	-702,00	-254,00	75,00
min grens		-55,92	-54,58	-58,64	-69,05
max grens		55,92	54,58	58,64	69,05
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Buren 20% / 10%					
	Taper	Rechts	Rechts oml. Borne	Links	Ing. Inv.
Gemiddelde	5970	6392	6509	6075	5659
Std. Afwijking	484	194	161	264	408
Aantal metingen	100	100	100	100	100
sigmad		52,14326419	51,00754846	55,13184198	63,30244861
d		-422	-539	-105	311
min grens		-51,1003989	-49,98739749	-54,0292051	-62,0363996
max grens		51,1003989	49,98739749	54,0292051	62,0363996
T.O.V. Taper	-	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT	SIGNIFICANT

Figuur 15-58 Resultaten statistische toets Buren bij 20%/5% en 20%/10% vrachtverkeer

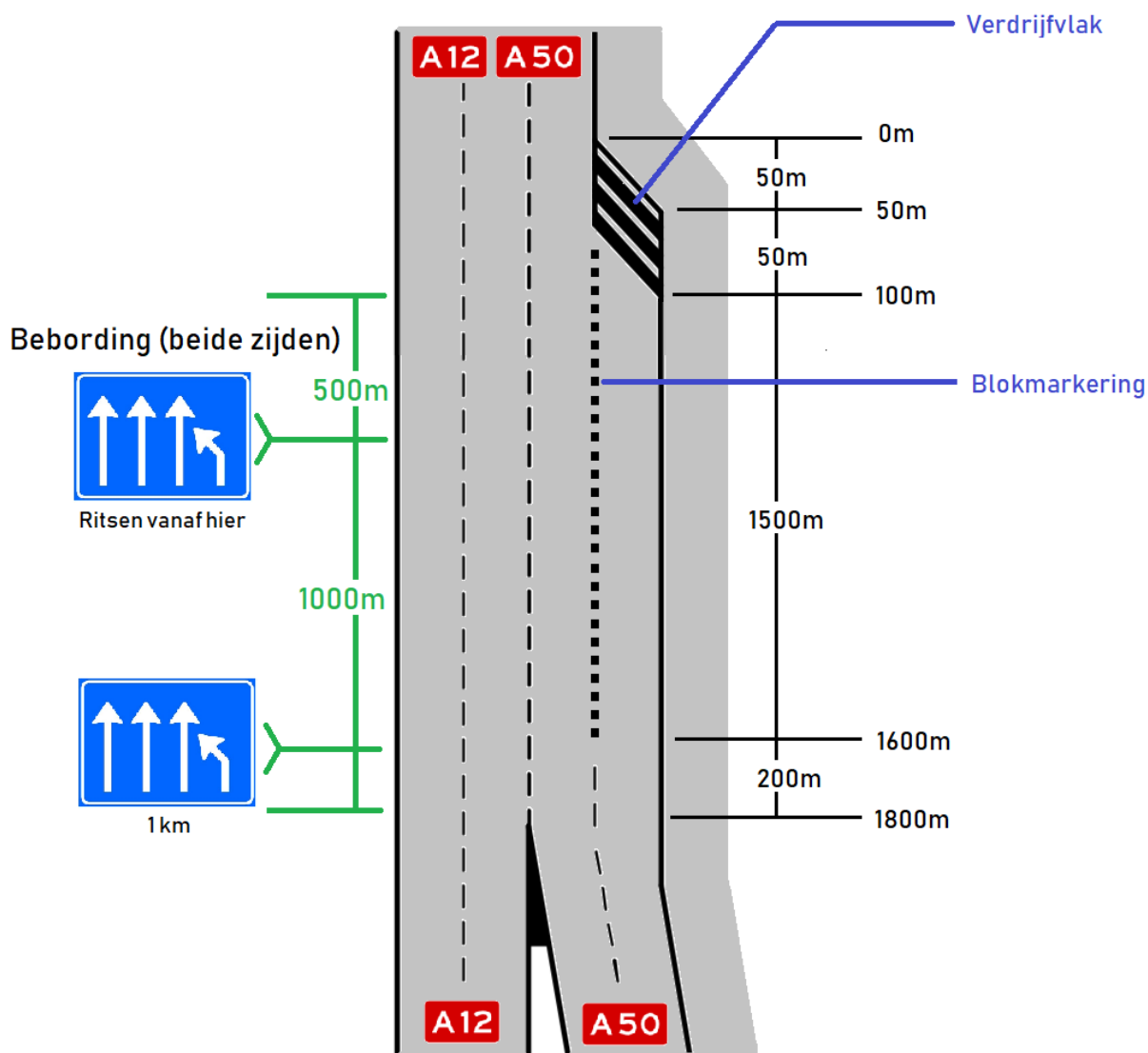


15.13 Bijlage M: Ontwerpen nieuwe samenvoegingen



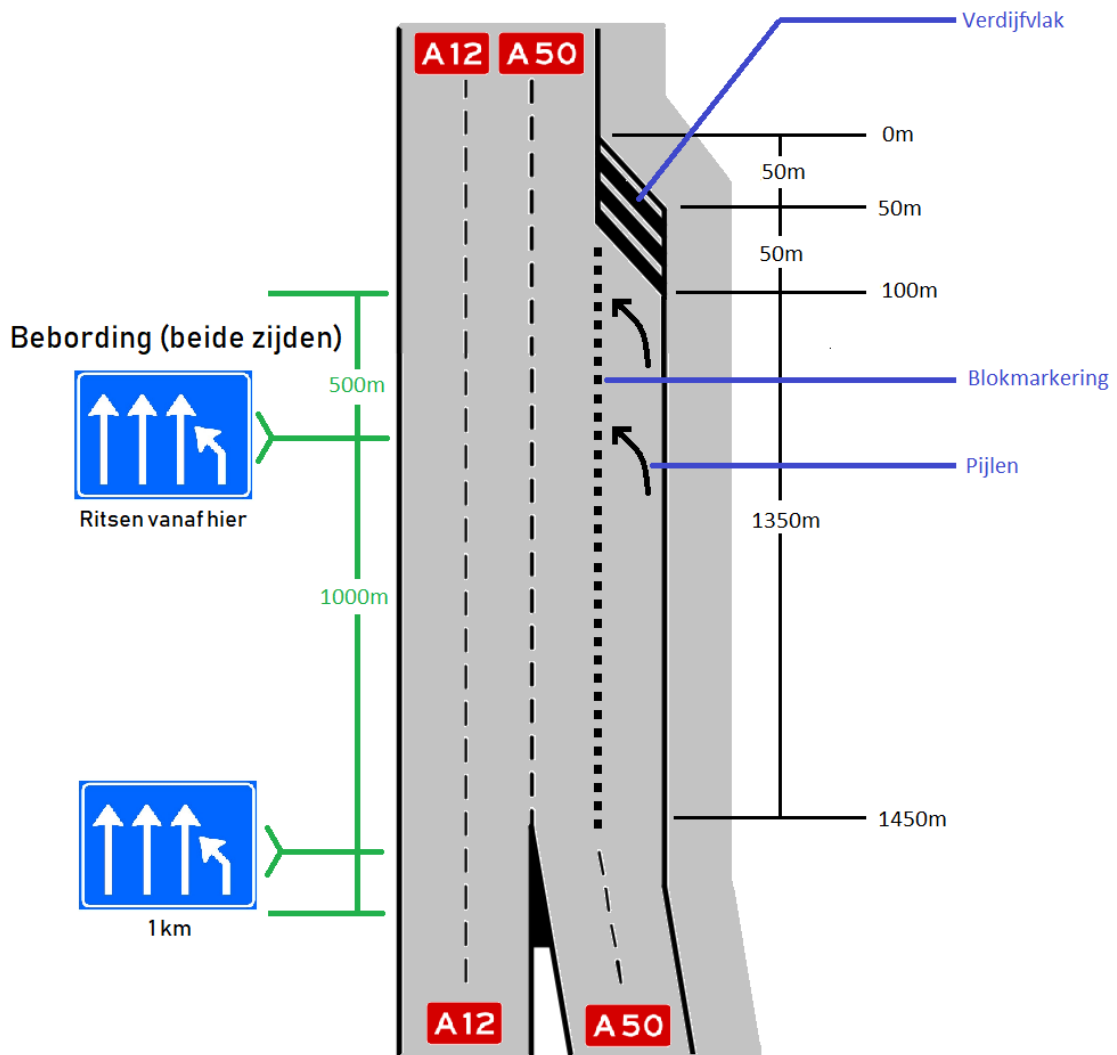
Figuur 15-59 Schematische weergave oplossing Paalgraven





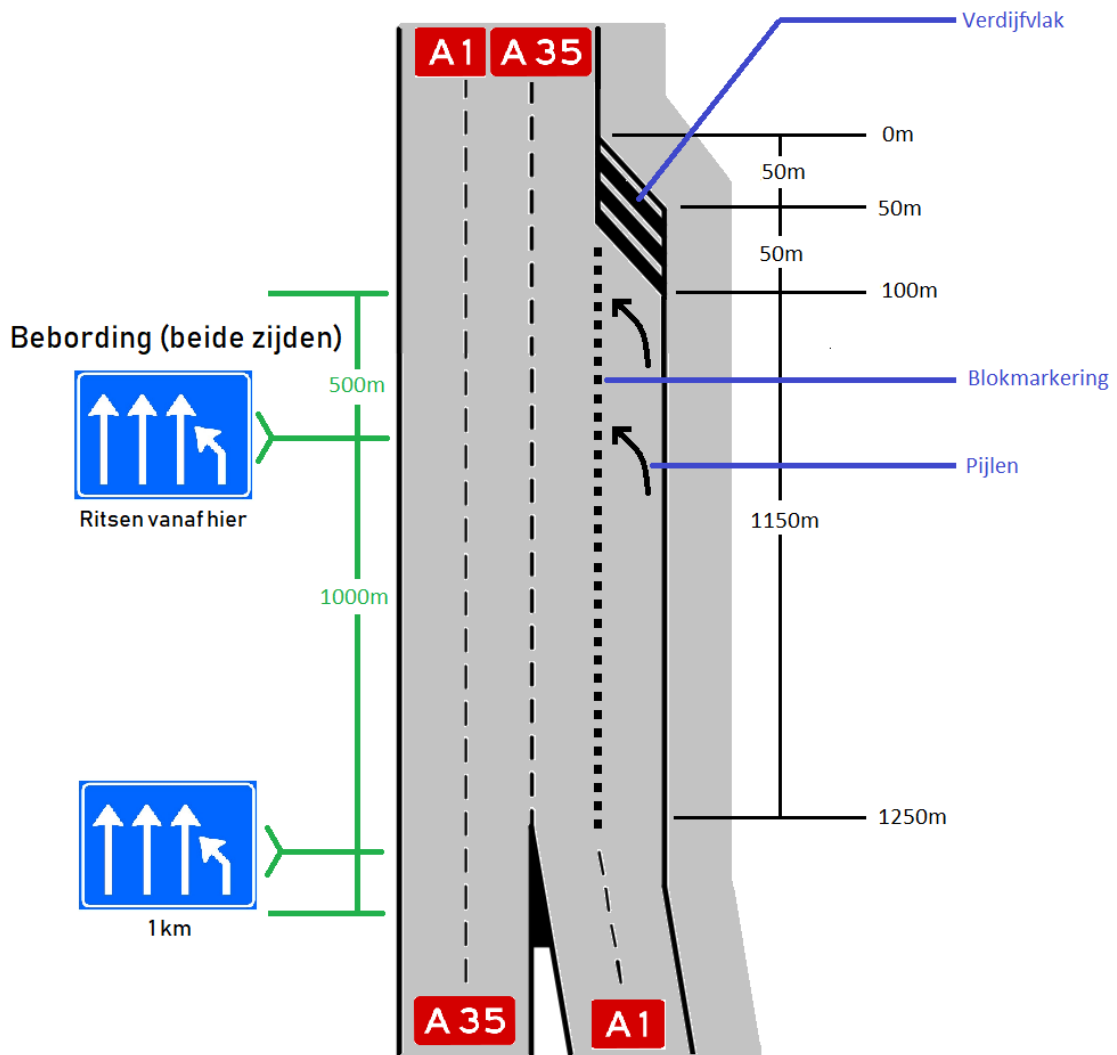
Figuur 15-60 Schematische weergave oplossing Grijsoord





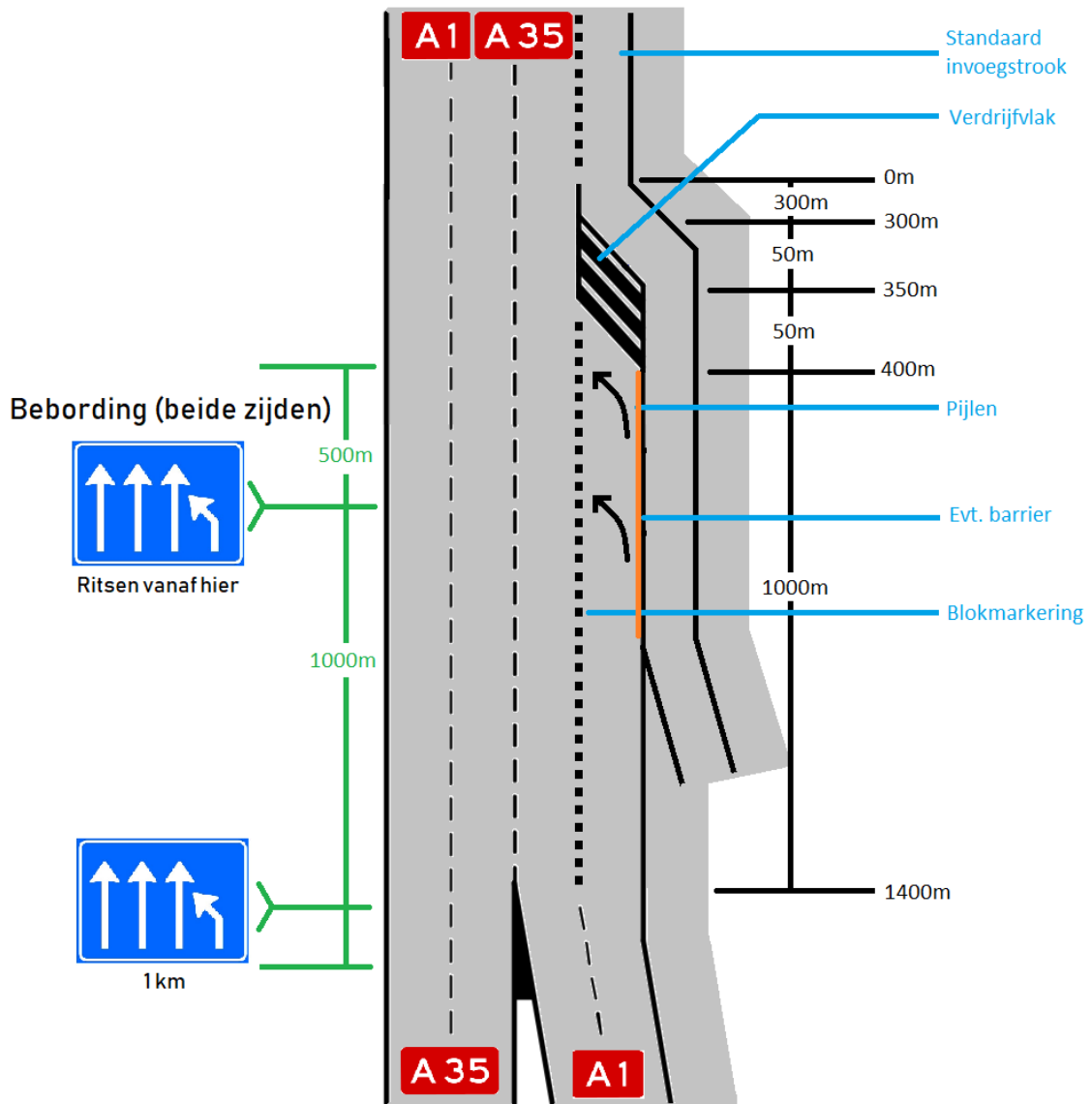
Figuur 15-61 Schematische weergave oplossing Waterberg





Figuur 15-62 Schematische weergave oplossing Azelo





Figuur 15-63 Schematische weergave oplossing Buren

15.14 Bijlage N: Resultaten locaties

De huidige verdeling van verkeersstromen en de huidige percentages vrachtverkeer zijn afkomstig van meetgegevens van Rijkswaterstaat en interne gegevens die door Rijkswaterstaat verstrekt zijn. (Rijkswaterstaat, 2018)

15.14.1 Knooppunt Paalgraven

Knooppunt Paalgraven					
Herkomsten		Max. Intensiteit		Bestemmingen	
		Begin	Eind		
Den Bosch	53%	1590	3180	Nijmegen	100%
Eindhoven	47%	1410	2820		
-	0%	0	0		

Samenvoeging	Percentage vrachtverkeer			Taper/weven	Dubbel links	Dubbel rechts ingeklemd	Afstrepen dubbel rechts	Afstrepen Li Weven Re	Ingeklemd rechts	Procentuele verandering t.o.v. taper					
	Den Bosch	Eindhoven	-							Dubbel Li	Dubbel Re, ing.	Dubbel Re Afstr.	Afstr. Li, Weven Re	Ing. Re, Afstr. Li	
Taper	2%	2%	0	5208	4860	5064	5142	5154	4932	-7%	-3%	-1%	-1%	-5%	
	2%	5%	0	5016	4674	4962	4932	4956	4800	-7%	-1%	-2%	-1%	-4%	
	2%	10%	0	4716	4464	4590	4698	4800	4524	-5%	-3%	0%	2%	-4%	
	2%	15%	0	4536	4344	4512	4560	4596	4404	-4%	-1%	1%	1%	-3%	
	2%	20%	0	4404	4206	4440	4440	4422	4356	-4%	1%	1%	0%	-1%	
	5%	2%	0	4908	4722	4800	4962	4950	4800	-4%	-2%	1%	1%	-2%	
	5%	5%	0	4770	4572	4548	4812	4788	4644	-4%	-5%	1%	0%	-3%	
	5%	10%	0	4536	4356	4464	4554	4584	4422	-4%	-2%	0%	1%	-3%	
	5%	15%	0	4392	4272	4428	4428	4464	4278	-3%	1%	1%	2%	-3%	
	5%	20%	0	4296	4122	4308	4320	4368	4230	-4%	0%	1%	2%	-2%	
	10%	2%	0	4596	4452	4530	4674	4710	4548	-3%	-1%	2%	2%	-1%	
	10%	5%	0	4464	4320	4416	4548	4530	4428	-3%	-1%	2%	1%	-1%	
	10%	10%	0	4296	4212	4128	4386	4404	4278	-2%	-4%	2%	3%	0%	
	10%	15%	0	4140	4068	4092	4332	4332	4176	-2%	-1%	5%	5%	1%	
	10%	20%	0	3996	3942	4002	4110	4230	4020	-1%	0%	3%	6%	1%	
	15%	2%	0	4458	4308	4380	4512	4536	4410	-3%	-2%	1%	2%	-1%	
	15%	5%	0	4290	4224	4128	4440	4422	4296	-2%	-4%	3%	3%	0%	
	15%	10%	0	4056	4032	3990	4308	4302	4188	-1%	-2%	6%	6%	3%	
15%	15%	0	3942	3936	3954	4092	4182	4026	0%	0%	4%	6%	2%		
15%	20%	0	3828	3840	3864	3972	4044	3924	0%	1%	4%	6%	3%		
Vergelijkingswaarde (D: 14% ; E: 20%)				3862	3860	3892	4000	4081	3943	0%	1%	4%	6%	2%	

Figuur 15-64 Resultaten knooppunt Paalgraven



15.14.2 Knooppunt Grijsoord

Knooppunt Grijsoord					
Herkomsten		Max. Intensiteit		Bestemmingen	
		Begin	Eind		
Utrecht	52%	2080	4160	Duitsland	100%
Oss	48%	1920	3840		
NVT					

Percentage vrachtverkeer			Capaciteitswaarde				Procentuele verandering t.o.v. taper		
Utrecht	Oss	NVT	Taper	Links	Rechts	Ing. Inv.	Links	Rechts	Ing. Inv.
2%	2%	0	6960	6648	7626	7128	-4%	10%	2%
	5%	0	6780	6558	7440	6960	-3%	10%	3%
	10%	0	6588	6324	7152	6684	-4%	9%	1%
	15%	0	6456	6060	6972	6594	-6%	8%	2%
5%	2%	0	6912	6468	7404	6864	-6%	7%	-1%
	5%	0	6606	6288	7176	6696	-5%	9%	1%
	10%	0	6522	6036	6996	6498	-7%	7%	0%
	15%	0	6258	5892	6804	6432	-6%	9%	3%
	20%	0	6216	5826	6606	6156	-6%	6%	-1%
	30%	0	5958	5640	6360	5904	-5%	7%	-1%
10%	5%	0	6450	6060	7026	6468	-6%	9%	0%
	10%	0	6174	5880	6720	6204	-5%	9%	0%
	20%	0	6012	5610	6366	5928	-7%	6%	-1%
	30%	0	5934	5292	6120	5778	-11%	3%	-3%
15%	5%	0	6402	5862	6672	6324	-8%	4%	-1%
	10%	0	6024	5712	6528	5988	-5%	8%	-1%
	20%	0	5952	5412	6264	5820	-9%	5%	-2%
	30%	0	5832	5172	5904	5586	-11%	1%	-4%
Gewenste rijstrookwissellengte			0	600m	600m	0			
Verplichte rijstrookwissellengte			230m	300m	600m	350m			
Lengte samenvoeging vanaf convergentiepunt			230m	1000m	1000m	450m			
Vergelijkingswaarde (U: 15% ; O: 7,5%)			6213	5787	6600	6156	-7%	6%	-1%

Figuur 15-65 Resultaten knooppunt Grijsoord



15.14.3 Knooppunt Waterberg

Knooppunt Waterberg					
Herkomsten		Max. Intensiteit		Bestemmingen	
		Begin	Eind		
Zevenaar	54%	2160	4320	Grijsoord	100%
Arnhem	10%	400	800	De Schaars	0
Apeldoorn	36%	1440	2880		

Samenvoeging	Percentage vrachtverkeer *			Taper	Links afstrepen kort wisselen	Links afstrepen lang wisselen	Rechts afstrepen	Weefvak	Ingeklemd invoeging	Procentuele verandering t.o.v. taper				
	Zevenaar	Arnhem	Apeldoorn							Li. Afstr. Kort	Li. Afstr. Lang	Rechts afstr.	Weefvak	Ingekl. Invoeging
	5%	0%	5%	6744	6624	7038	7356	7422	5550	-2%	4%	9%	10%	-18%
	5%	0%	10%	6576	6570	6744	7212	7308	5508	0%	3%	10%	11%	-16%
	5%	0%	15%	6564	6468	6588	7014	7152	5490	-1%	0%	7%	9%	-16%
	5%	0%	20%	6444	6132	6564	6822	6924	5496	-5%	2%	6%	7%	-15%
	10%	0%	5%	6468	6540	6804	7086	7218	5394	1%	5%	10%	12%	-17%
	10%	0%	10%	6252	6408	6612	6996	7050	5370	2%	6%	12%	13%	-14%
	10%	0%	15%	6108	6108	6492	6768	6840	5394	0%	6%	11%	12%	-12%
	10%	0%	20%	6090	6054	6372	6588	6648	5388	-1%	5%	8%	9%	-12%
	15%	0%	5%	6060	6234	6654	6876	6954	5214	3%	10%	13%	15%	-14%
	15%	0%	10%	5988	6030	6468	6654	6720	5220	1%	8%	11%	12%	-13%
	15%	0%	15%	6012	5970	6282	6522	6612	5268	-1%	4%	8%	10%	-12%
	15%	0%	20%	5886	5904	6156	6432	6492	5268	0%	5%	9%	10%	-10%
Gewenste strookwisseling				-	600	1200	850	1200m						
Verplichte strookwisseling				-	300	600	600	600m						
Lengte samenvoeging vanaf convergentiepunt				250m	1800m	1800m	1450	1800m						
Vergelijkingswaarde (Zev: 12% ; Ap: 15%)				6070	6053	6408	6670	6749	5344	0%	6%	10%	11%	-12%

Figuur 15-66 Resultaten knooppunt Waterberg



15.14.4 Knooppunt Azelo

Knooppunt Azelo					
Herkomsten		Max. Intensiteit		Bestemmingen	
		Begin	Eind		
Almelo/Zwolle	57%	2280	4560	Hengelo/Enschede	100%
Deventer	43%	1720	3440		
-	0%	0	0		

Samenvoeging	Percentage vrachtverkeer			Taper	Rechts afstrepen	Links afstrepen	Ingeklemd rechts	Procentuele verandering t.o.v. taper				
	Almelo/Zwolle	Deventer	-					Re	Li	Ing.	Re	
Taper	2%	2%	0	6858		7086	6780			3%	-1%	
	2%	5%	0	6912		6996	6696			1%	-3%	
	2%	10%	0	6828	7176	6738	6708	5%		-1%	-2%	
	2%	15%	0	6846	7104	6648	6528	4%		-3%	-5%	
	2%	20%	0	6732	6852	6510	6624	2%		-3%	-2%	
	5%	2%	0	6792	7236	6966	6618	7%		3%	-3%	
	5%	5%	0	6780	7212	6780	6396	6%		0%	-6%	
	5%	10%	0	6690	7068	7044	6576	6228	6%	5%	-2%	-7%
	5%	15%	0	6636	6858	6798	6480	6138	3%	2%	-2%	-8%
	5%	20%	0	6540	6648		6306	6264	2%		-4%	-4%
	10%	2%	0	6630	7212		6708	6174	9%		1%	-7%
	10%	5%	0	6546	7128		6600	6126	9%		1%	-6%
	10%	10%	0	6312	6798	6768	6444	6048	8%	7%	2%	-4%
	10%	15%	0	6156	6684	6576	6252	6060	9%	7%	2%	-2%
	10%	20%	0	6156	6666		6126	6000	8%		0%	-3%
	15%	2%	0	6594	7050		6576	6114	7%		0%	-7%
	15%	5%	0	6240	6822		6486	6072	9%		4%	-3%
	15%	10%	0	6132	6588		6294	5904	7%		3%	-4%
15%	15%	0	6078	6444		6072	5982	6%		0%	-2%	
15%	20%	0	5988	6252		5958	5916	4%		-1%	-1%	
Gewenste rijstrookwissellengte 1			0	900	600	1200	0					
Verplichte rijstrookwissellengte 1			250	600	600	600	350					
Lengte samenvoeging vanaf convergentiepunt 1			250	1680	1250	1800	350					
Vergelijkingswaarde (Alm: 6% ; Dev: 14%)			6433	6866	6805	6424	6134	7%	6%	0%	-5%	

Figuur 15-67 Resultaten knooppunt Azelo



15.14.5 Knooppunt Buren

Knooppunt Buren					
Herkomsten		Max. Intensiteit		Bestemmingen	
		8000			
		Begin	Eind		
Oldenzaal	38%	1520	3040	Azelo	100%
Enschede	62%	2480	4960		
Borne-West	0%	0	0		

Samenvoeging	Percentage vrachtverkeer			Taper	Rechts afstrepen	Re afstr. Oml. Brn	Re afstr. Oml. Brn	Links afstrepen	Ingeklemd rechts	Procentuele verandering t.o.v. taper						
	Oldenzaal	Enschede	Borne-West							Re afstr.	Re.afstrepen om. B.	Links afstrepen	Ing. Re			
	2%	2%	0	6894	-	-		7032	6757			2%	-2%			
	2%	5%	0	7032	7338	7542		6948	6708			4%	7%	-1%	-5%	
	2%	10%	0	7302	7224	7380		6732	6690			-1%	1%	-8%	-8%	
	2%	15%	0	6840	7008	7188		6624	6570			2%	5%	-3%	-4%	
	2%	20%	0	6787	6876	6972		6528	6636			1%	3%	-4%	-2%	
	5%	2%	0	6864	7422	7536		6894	6672			8%	10%	0%	-3%	
	5%	5%	0	6846	7284	7404		6828	6468			6%	8%	0%	-6%	
	5%	10%	0	6768	7032	7248		6582	6288			4%	7%	-3%	-7%	
	5%	15%	0	6792	6870	7008		6420	6144			1%	3%	-5%	-10%	
	5%	20%	0	6702	6720	6804		6396	6330			0%	2%	-5%	-6%	
	10%	2%	0	6672	7212	7290		6696	6240			8%	9%	0%	-6%	
	10%	5%	0	6636	6972	7128		6576	6162			5%	7%	-1%	-7%	
	10%	10%	0	6582	6744	6972		6450	6024			2%	6%	-2%	-8%	
	10%	15%	0	6378	6642	6780		6324	6072			4%	6%	-1%	-5%	
	10%	20%	0	6342	6468	6594		6174	6030			2%	4%	-3%	-5%	
	15%	2%	0	6462	6906	7080		6540	6132			7%	10%	1%	-5%	
	15%	5%	0	6186	6762	6840		6468	6048			9%	11%	5%	-2%	
	15%	10%	0	6324	6564	6708		6228	5994			4%	6%	-2%	-5%	
	15%	15%	0	6090	6408	6552		6120	5988			5%	8%	0%	-2%	
	15%	20%	0	6120	6228	6384		5934	5940			2%	4%	-3%	-3%	
	20%	2%	0	6120	6708	6774	6816	6450	6102			10%	11%	11%	5%	0%
	20%	5%	0	6072	6606	6684	6720	6252	6012			9%	10%	11%	3%	-1%
	20%	10%	0	6060	6390	6534	6504	6042	5640			5%	8%	7%	0%	-7%
	20%	15%	0	6018	6168	6360	6336	5922	5826			2%	6%	5%	-2%	-3%
	20%	20%	0	5844	6084	6180		5814	5754			4%	6%		-1%	-2%
Gewenste rijstrookwissellengte 1				0	1200	1200	600	900	0							
Verplichte rijstrookwissellengte 1				250	600	600	600	600	350							
Lengte samenvoeging vanaf convergentiepunt 1				250	1800	1800	1000	1800	350							
Vergelijkingswaarde (D: 20% ; E: 8%)				6067	6520	6624	6634	6168	5863			7%	9%	9%	2%	-3%

Figuur 15-68 Resultaten knooppunt Buren



15.14.6 Totaaloverzicht

Verkeer hoofdrijbaan		57%				52%				38%			
Samenvoeging		Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Ing. Inv.	Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Ing. Inv.	Taper	Links afstrepen	Rechts afstrepen	Ing. Inv.
% vrachtverkeer													
Hoofdrijbaan	Samenvoegende rijbaan												
2%	2%	6858	3%		-1%					6894	2%		-2%
2%	5%	6912	1%		-3%					7032	-1%	4%	-5%
2%	10%	6828	-1%	5%	-2%					7302	-8%	-1%	-8%
2%	15%	6846	-3%	4%	-5%					6840	-3%	2%	-4%
2%	20%	6732	-3%	2%	-2%					6787	-4%	1%	-2%
5%	2%	6792	3%	7%	-3%					6864	0%	8%	-3%
5%	5%	6780	0%	6%	-6%	6606	-5%	9%	1%	6846	0%	6%	-6%
5%	10%	6690	-2%	6%	-7%	6522	-7%	7%	0%	6768	-3%	4%	-7%
5%	15%	6636	-2%	3%	-8%	6258	-6%	9%	3%	6792	-5%	1%	-10%
5%	20%	6540	-4%	2%	-4%	6216	-6%	6%	-1%	6702	-5%	0%	-6%
10%	2%	6630	1%	9%	-7%					6672	0%	8%	-6%
10%	5%	6546	1%	9%	-6%	6450	-6%	9%	0%	6636	-1%	5%	-7%
10%	10%	6312	2%	8%	-4%	6174	-5%	9%	0%	6582	-2%	2%	-8%
10%	15%	6156	2%	9%	-2%					6378	-1%	4%	-5%
10%	20%	6156	0%	8%	-3%	6012	-7%	6%	-1%	6342	-3%	2%	-5%
15%	2%	6594	0%	7%	-7%					6462	1%	7%	-5%
15%	5%	6240	4%	9%	-3%					6186	5%	9%	-2%
15%	10%	6132	3%	7%	-4%	6024	-5%	8%	-1%	6324	-2%	4%	-5%
15%	15%	6078	0%	6%	-2%	5952	-9%	5%	-2%	6090	0%	5%	-2%
15%	20%	5988	-1%	4%	-1%					6120	-3%	2%	-3%
20%	2%									6120	5%	10%	0%
20%	5%									6072	3%	9%	-1%
20%	10%									6060	0%	5%	-7%
20%	15%									6018	-2%	2%	-3%
20%	20%									5844	-1%	4%	-2%

Figuur 15-69 Overzicht van procentuele verschillen t.o.v. een tapersamenvoeging bij diverse verkeersbelastingen

