



Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2020

Colofon

Uitgegeven door	Agentschap Wegen en Verkeer (AWV)
Informatie	Team Verkeersplannen Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica (VWT) Agentschap Wegen en Verkeer wegenenverkeer.be verkeer.wegsystemen.telematica@mow.vlaanderen.be
Datum	2 april 2020
Status	Definitief
Versienummer	2020-1
Coördinator	Winfried Casters (Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica, AWV)
Stuurgroep	Jeroen De Bruyne, Joris Cornu, Veerle Delcourt, Matthias De Smet, Johannes Martens, Katrien Rahoens, Tomas Van Beersel, Stanny Van Herzeele, Michiel van 't Hof, Wim Verlinden (Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica, AWV)
Tekeningen	Tom Vermeir, Cédric Van Elsuwé (Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica, AWV)

Voorwoord

Verkeerslichtengeregelde kruispunten zijn niet meer weg te denken uit ons wegbeeld. Dagelijks maken honderdduizenden mensen (voetgangers, fietsers, openbaar vervoer en privaat gemotoriseerd verkeer) gebruik van onze wegen waarbij ze vaak verkeerslichtengeregelde kruispunten tegenkomen.

Het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) beheert ongeveer 1.700 van deze verkeerslichtengeregelde kruispunten in Vlaanderen. Voor elk van deze kruispunten zijn een verkeerslichtenregeling en grondplan opgemaakt en gebundeld in een 'V-plan'.

Het team Verkeersplannen van de Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica (VWT) van het Agentschap Wegen en Verkeer heeft o.a. als taak de verkeerssituaties op verkeerslichtengeregelde kruispunten in de vijf Vlaamse provincies te analyseren, de V-plannen te ontwerpen, waar nodig te simuleren en advies te verlenen.

Door de jaren heen werd er bij het Agentschap Wegen en Verkeer veel theoretische en praktische kennis uit het werkveld verworven over verkeerslichtenregelingen. Aan de hand van deze kennis is dit handboek opgesteld om het volledige proces van het ontwerpen van verkeerslichtenregelingen voor de Vlaamse gewestwegen te beschrijven.

Daarnaast wordt er binnen AWV ook gewerkt aan toekomstige ontwikkelingen omtrent verkeerslichtenregelingen, die waar mogelijk reeds in dit handboek beschreven worden.

Dit is de eerste editie van dit handboek. In de toekomst zullen er, wanneer noodzakelijk, updates gepubliceerd worden. Opmerkingen en vragen kunnen in tussentijd via mail bezorgd worden aan de Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica (VWT) van het Agentschap Wegen en Verkeer.

Inhoud

1	Inleiding	8
1.1	Types verkeerslichtenregelingen	10
1.1.1	Verkeerslichtenregelingen voor een individueel kruispunt	10
1.1.2	Regelstrategieën voor meerdere kruispunten	11
1.2	Opbouw van het handboek	13
2	Input voor de opmaak van een verkeerslichtenregeling	16
2.1	Wettelijke voorschriften, normen en vademecums	16
2.1.1	Wettelijke bepalingen betreffende verkeerslichtenregelingen	16
2.1.2	Dienstorders bij het Agentschap Wegen en Verkeer	17
2.1.3	Normen betreffende de opmaak en benaming van een V-plan	18
2.2	Tellingen	18
2.2.1	Kruispunttellingen	20
2.2.2	Doorsnedetellingen	23
2.2.3	Prognoses	24
2.3	Overige informatie	25
2.3.1	Maximale snelheden	25
2.3.2	Informatie over bus/tramlijnen	25
2.4	Kruispuntontwerp	26
2.4.1	Rijstrookindeling	28
2.4.2	Verkeerseilanden	31
2.4.3	Boogstralen	32
2.4.4	Bypass	33
2.4.5	Fietsers- en voetgangersvoorzieningen	36
2.4.6	Voorzieningen voor het openbaar vervoer	39
2.4.7	Uitzonderlijk vervoer	47
2.4.8	Voorrangsregeling bij niet-werkende verkeerslichten	47
2.5	Plaatsing van de elementen van de verkeersregelinstallatie	48
2.5.1	Configuratie van de seinen en palen	48
2.5.2	Naamgeving en nummering van de symbolen op een V-plan	56
3	Het ontwerp van de basisregeling en de kruispuntanalyse: een iteratief proces	59
3.1	De basisregeling: de eerste iteratie	62
3.1.1	Conflictmatrix	62
3.1.2	Tussengroentijdmatrix	64
3.1.3	Verzadigingsintensiteiten	74
3.1.4	Bepaling van de conflictbelasting, het aantal fasen en de fasenvolgorde	79
3.1.5	Fase-indeling "Maximaal conflictvrije" regelingen	82
3.1.6	Cyclusduur	92
3.1.7	Groentijdverdeling	97
3.2	Kruispuntanalyse: iteratie(s) van analyse en maatregelen	98
3.2.1	Analytische evaluatie	99
3.2.2	Analyse o.b.v. microsimulatie	103
3.2.3	Maatregelen om de conflictbelasting te verlagen	104
4	Voertuigafhankelijke werking: Definiëring van de regelprincipes	114
4.1	Verlengen en afbreken van fasen	116
4.1.1	Timers	117
4.1.2	Wachtstanden, correlatiepunten en rusttoestanden	118

4.2	Beïnvloeden van de fasenvolgorde	122
4.2.1	Aanvragen en overslaan van fasen.....	122
4.2.2	Omwisselen en tussenvoegen van fasen	126
4.3	Programmawerking.....	131
4.3.1	Tijdsgebonden Programma's.....	132
4.3.2	Plaatsgebonden Programma's	132
4.3.3	Programmabeïnvloeding door actuele tellingen (Verkeersafhankelijke programmaselectie).....	133
4.3.4	Programma "Knipperend Oranje-Geel".....	134
5	Gedetailleerd ontwerp van de voertuigafhankelijke regeling	135
5.1	Beïnvloeding door motorvoertuigen	136
5.1.1	Opbouw van de Vlaamse standaarddetectieconfiguratie	136
5.1.2	Werkingsdiagrammen.....	147
5.1.3	Afwijken van de standaarddetectieconfiguratie.....	153
5.2	Beïnvloeding door openbaar vervoer ('BOV').....	157
5.2.1	Lijst van afkortingen	158
5.2.2	Aanvraag van vervroegde groenfase ("afkappen").....	159
5.2.3	Extra verlenging van groenfase ("verlengen")	160
5.2.4	Detectieconfiguraties	162
5.2.5	Werkingsdiagram.....	165
5.2.6	Bijkomende optimalisaties	166
5.3	Beïnvloeding door voetgangers.....	169
5.3.1	Aanvraag van groenfase	169
5.3.2	Detectieconfiguraties	169
5.3.3	Flexibiliteit	170
5.3.4	Geloofwaardigheid	171
5.3.5	Lokgroen.....	171
5.3.6	Voetgangersvoorzieningen bij OV in eigen bedding.....	172
5.3.7	Hulpsignalen voor voetgangers met een visuele beperking	173
5.3.8	Werkingsdiagram.....	175
5.4	Beïnvloeding door fietsers	177
5.4.1	Aanvraag van groenfase.....	177
5.4.2	Detectieconfiguraties	177
5.4.3	Flexibiliteit	178
5.4.4	Geloofwaardigheid	178
5.4.5	Lokgroen.....	178
5.4.6	Werkingsdiagram.....	179
5.5	Samenvattende figuur.....	180
6	Afstemming met nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten	181
6.1	Voordelen en nadelen	181
6.2	Mate van afstemming.....	183
6.2.1	Strakke afstemming bij kleine tussenafstand	183
6.2.2	Losse afstemming bij grote tussenafstand.....	186
6.3	Aandachtspunten bij afstemmingen.....	191
6.3.1	Niet permanent afstemmen	191
6.3.2	Geen volledige groene golf.....	191
6.3.3	Wederzijdse afstemming versus 'master-slave'	191
7	Bijzondere verkeerslichtenregelingen.....	192
7.1	Voetgangersoversteekplaatsen (VOP) of Fietsoversteekplaatsen (FOP)	192
7.2	Steunlichten	193

7.3 Oranjegeel verkeersknipperlicht.....	196
7.4 Spoorwegovergangen en bruggen.....	196
7.4.1 Spoorwegovergangen.....	196
7.4.2 Bruggen.....	197
7.5 Beurtelingse doorgang van het verkeer over 1 rijstrook.....	197
8 Bijlagen.....	198
8.1 Referentielijst.....	198
8.2 Lijst van afkortingen.....	199
8.3 Lijst met figuren.....	200
8.4 Lijst met tabellen.....	203

1 Inleiding

Op bepaalde wegen en kruispunten manifesteert zich naar verloop van tijd mogelijk een veiligheidsprobleem of wachttijdprobleem. Dit kan leiden tot verkeersongevallen of een capaciteitsprobleem met wachtrijen tot gevolg. Om deze problemen aan te pakken bestaan er meestal meerdere mogelijke oplossingen.

De meest ingrijpende oplossing is het kiezen voor een ander **kruispunttype**.

Over het algemeen bestaan er vijf kruispunttypes:

- kruispunten die geregeld worden volgens het principe “voorrang van rechts”;
- kruispunten met een voorrangregeling;
- verkeerslichtengeregelde kruispunten;
- rotondes;
- ongelijkvloerse kruisingen.

Er bestaan verscheidene redenen waarom een bepaalde kruispuntoplossing kan gekozen worden voor een bepaalde locatie. Dit kan bijvoorbeeld om **verkeersplanologische** redenen zijn, zoals bijvoorbeeld de categorisering van de wegen. In Vlaanderen is het wegennet opgedeeld in een structuur van primaire, secundaire en lokale wegen. In het Vademecum Veilige Wegen en Kruispunten is hiervoor onderstaande tabel opgenomen om te bepalen welke kruispunttypes gewenst zijn op kruispunten van wegen met een bepaalde categorisering. Een volledige versie van deze tabel is terug te vinden in bijlage.

wegen-categorisering	bubeko / bubeko	snelheids-norm	primaire wegen		toe- en afritten			secundaire wegen			lokale wegen		
			I	II				I	II	III	L1: lokale verbindingsweg	L2A: gebiedsontsluitingsweg - L2B: stadsontsluitingsweg	L3: erfontsluitingsweg
I primaire wegen	auto-snelweg / autoweg	120 km/h / 90 km/h											
	bubeko	50-70 km/h / 70-90 km/h											
II secundaire wegen	bubeko	50-70 km/h / 70-90 km/h											
	bubeko	50 km/h											
	bubeko	50 km/h											
	bubeko	50 km/h											
	bubeko	50 km/h											
	bubeko	50 km/h											
L1 lokale wegen	bubeko	30-50 km/h / 50-70 km/h											
	bubeko	30-50 km/h / 50-70 km/h											
L2A en L2B lokale wegen	bubeko	30-50 km/h / 50-70 km/h											
	bubeko	30-50 km/h / 50-70 km/h											
L3 lokale wegen	bubeko	30-50 km/h / 50-70 km/h											
	bubeko	30-50 km/h / 50-70 km/h											

Tabel 1 Kruispunttypes (Bron: Vademecum veilige wegen en kruispunten, 2010)

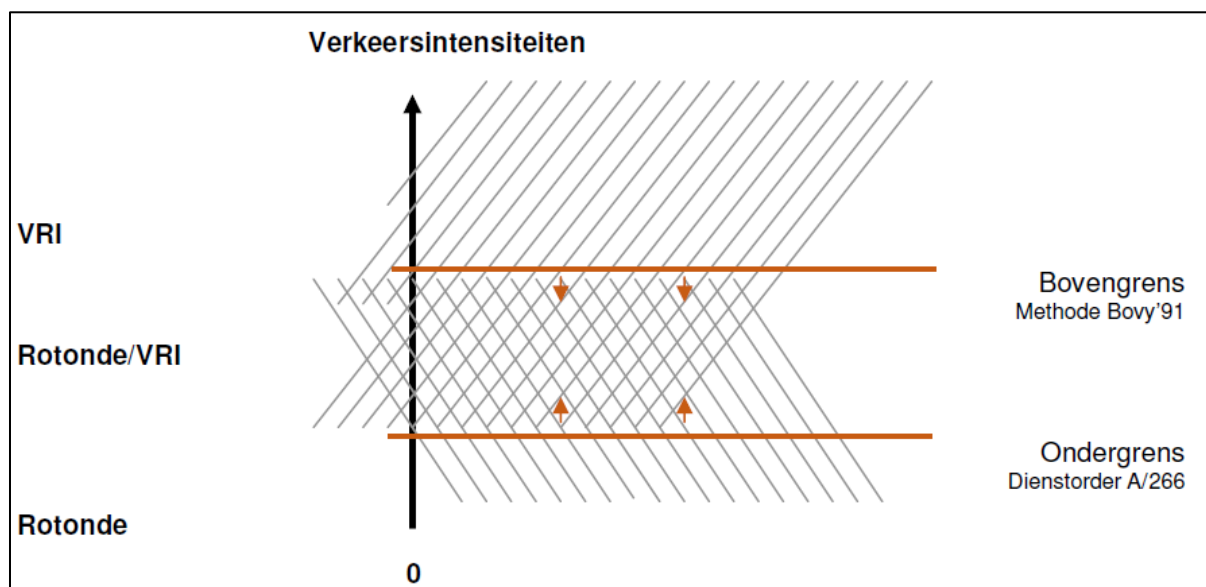
Daarnaast is ook **verkeersveiligheid** een belangrijk aspect bij deze keuze. In functie van het (toekomstig) gebruik van het kruispunt dient er rekening gehouden te worden met de historiek van verkeersongevallen op de locatie of een inschatting gemaakt te worden van de te verwachten belangrijkste conflicten. Zo kan het voor een bepaald kruispunt met veel links afslaand verkeer nodig zijn om linksaf bewegingen apart te regelen in een verkeerslichtenregeling, zodat er hierbij geen conflicten voorkomen met conflicterend verkeer.

Verder is ook de **capaciteit** van een kruispunt vaak een reden om een bepaalde kruispunttype te kiezen. Voor het bepalen van de noodzaak van een lichtengeregeld kruispunt of rotonde op een bepaalde kruising bestaan er verschillende methodes.

In Figuur 1 wordt dit concreter gemaakt. Boven een bepaalde intensiteitsgrens (die beschreven wordt in Dienstorder A/266 van AWW) zijn verkeerslichten wenselijk of aangewezen. In hoofdstuk 2.1.2 wordt er meer uitleg gegeven over dit dienstorder.

Onder die grens zijn verkeerslichten uiteraard steeds een mogelijkheid, indien hiervoor een specifieke reden bestaat.

Ook rotondes zijn zowel boven als onder deze grens mogelijk. Voor rotondes is er ook een duidelijke bovengrens, die wordt berekend met de Methode Bovy. Als ondergrens voor verkeerslichten wordt door het Agentschap Wegen en Verkeer het dienstorder A/266 gehanteerd.



Figuur 1 Schematische voorstelling van boven- en ondergrens intensiteit bij kruispuntkeuze (Bron: Vademecum veilige wegen en kruispunten, 2010)

In hoofdstuk 2 van het Vademecum Veilige Wegen en Kruispunten wordt het gehele proces beschreven van het maken van de keuze tussen verschillende kruispuntoplossingen en het bekomen van een voorkeursoplossing. In dit handboek zal hier dan ook verder niet op worden ingegaan.

Bij het Agentschap Wegen en Verkeer gebeurt de beslissing tot het al dan niet plaatsen van verkeerslichten in een vergadering van de PCV (Provinciale Commissie Verkeersveiligheid) of RMC (Regionale Mobiliteitscommissie) waarbij alle betrokken partijen tot een gemeenschappelijk standpunt komen inzake de te nemen maatregelen ter verbetering van de verkeersveiligheid en/of verkeersdoorstroming.

Wanneer er uiteindelijk voor een kruispunt met verkeerslichten gekozen wordt, zal hiervoor een V-plan moeten worden gemaakt.

Wanneer op een kruispunt een V-plan eenmaal uitgevoerd is en de verkeerslichten in dienst gesteld zijn, kunnen er verschillende aanleidingen zijn waarom er bij een bepaald kruispunt een V-plan aangepast moet worden, onder meer:

- Nood aan regelmatig functioneel onderhoud door normale veroudering van de regeling;
- Gewijzigd beleid of nieuwe beschikbare techniek;
- Herinrichtingen of andere aanpassingen aan de infrastructuur;
- Verkeersongevallen;
- Tijdelijke werfsituaties;
- Wijziging van verkeersstromen door bv. lokale of bovenlokale verkeersmaatregelen;
- Vragen, meldingen, klachten, opmerkingen,... van o.a.:
 - Weggebruikers, omwonenden;
 - Openbaar vervoer (bv. doorstromingsmaatregelen voor De Lijn);

- Stads- en gemeentebesturen of districten;
- Politiezones;
- Vragen van belangengroepen (bv. Fietsersbond, blindenverenigingen,...);
- Bedrijven, scholen,... bv. veiligheid bij aanvang/einde werk/school.

1.1 Types verkeerslichtenregelingen

Geen enkel kruispunt is hetzelfde: ze danken hun diversiteit aan het grote aantal aspecten dat ze kenmerkt. Niet alleen het aantal toeleidende wegen waaruit het bestaat, maar ook de omgeving van het kruispunt en de kenmerken van de verschillende kruispunttakken, zoals het aantal rijstroken en de snelheidslimiet spelen een rol. Daarnaast is ook de gemeten verkeersintensiteit per richting en per vervoermiddel een belangrijke factor. Al deze verschillende factoren zorgen er niet alleen voor dat er verschillende types kruispunten zijn, maar ook dat er meerdere types verkeerslichtenregelingen zijn. Die types worden in dit hoofdstuk kort besproken, vooraleer er op sommige dieper ingegaan zal worden verderop in dit handboek.

1.1.1 Verkeerslichtenregelingen voor een individueel kruispunt

1.1.1.1 Starre regelingen

Historisch gezien waren de eerste verkeerslichtenregelingen voor individuele kruispunten regelingen die met de hand werden bediend. Vanaf ca. de jaren '20 van de 20^{ste} eeuw verschenen er in de wereld automatische, starre regelingen die functioneren volgens een vast tijdschema, waarin alle signaalgroepen binnen een vaste cyclusduur en in een vaste volgorde een vaste groentijd krijgen.

Na verloop van tijd werd, mede door het drukker wordende verkeer, duidelijk dat starre regelingen heel wat beperkingen hadden. Zo kon er niet bepaald worden of een richting nood had aan een langere groenfase of genoeg had aan een korte groenfase, of zelfs helemaal geen groen nodig had. Hierdoor werd overgeschakeld naar voertuigafhankelijke regelingen.

Starre regelingen komen bijna niet meer voor op de gewestwegen in Vlaanderen, maar ze vormen wel een eenvoudig vertrekpunt in het ontwerpproces voor een voertuigafhankelijke regeling. Immers, als een starre regeling het verkeer in de spitsuren kan verwerken met bepaalde groentijden, dan kan een voertuigafhankelijke regeling dat ook met dezelfde maximale groentijden.

1.1.1.2 Voertuigafhankelijke regelingen

Het gebruik van voertuigafhankelijke regelingen biedt heel wat voordelen ten opzichte van een starre regeling. Zo hangt de groentijd en eventueel de fasenvolgorde af van de aan- of afwezigheid van verkeer, wat de verliestijden kan verkleinen.

Bij een voertuigafhankelijke regeling wordt de duur van het groen mee bepaald door detectie van één of meerdere aankomende voertuigen.

Hierdoor kan een betere verkeersafwikkeling verzorgd worden en kan beter ingespeeld worden op de doorstroming van het openbaar vervoer en het verkeersaanbod dat voor de verschillende tijdstippen op de dag sterk uiteenlopend kan zijn.

1.1.1.3 De “Vlaamse” voertuigafhankelijke regelingen

In Vlaanderen worden anno 2020 vrijwel alle lichtengeregelde kruispunten voertuigafhankelijk geregeld. De geschiedenis leert ons echter dat de mate van voertuigafhankelijkheid sterk afhankelijk is van de ontwerpeisen die er gesteld worden aan de verkeerslichtenregelingen. In het verleden werd er in Vlaanderen vooral aandacht geschonken aan het optimaliseren van de groentijden in de spitsuren en werd het voldoende geacht om hiervoor een basisconfiguratie qua detectiemiddelen en

verkeerslichtenregeling te gebruiken. Dit was voldoende om tegemoet te komen aan een (beperkt) wisselend verkeersbeeld in de spitsuren, er werd echter minder rekening gehouden met de eigenlijke flexibiliteit van de regeling bij een sterker wisselend verkeersbeeld gedurende de dag of nacht.

Tegenwoordig streeft AWW naar voertuigafhankelijke regelingen die zo conflictvrij mogelijk zijn, die budgetvriendelijk zijn en die flexibel zijn.

Het implementeren van dergelijke flexibele regelingen is eveneens belangrijk voor de perceptie van de weggebruikers. Er wordt naar gestreefd naar regelingen waarbij weggebruikers niet nodeloos voor het rood moeten wachten. Dit principe wordt 'nooit voor niets voor rood' genoemd.

1.1.2 Regelstrategieën voor meerdere kruispunten

1.1.2.1 Op elkaar afgestemde regelingen

Het is niet zeldzaam dat in een stedelijke (of andere) omgeving twee of meerdere kruispunten dicht bij elkaar liggen. In dit geval is het waarschijnlijk dat het ene kruispunt het aankomstpatroon van het andere kruispunt gaat beïnvloeden. Dit kan niet alleen resulteren in een langere wachttijd, maar de wachtrij die zich vormt kan een optimale werking van het andere kruispunt mogelijk verhinderen.

Daarom worden de regelingen van dergelijke kruispunten indien wenselijk zodanig op elkaar afgestemd dat de status van het ene kruispunt naar het andere kruispunt wordt doorgegeven. Hoe deze (deel)kruispunten met elkaar communiceren kan verschillen afhankelijk van de noden ter plaatse:

- Twee (of meer) kruispunten kunnen elkaar beïnvloeden. Dit wil zeggen dat het aangaan van een bepaalde fase bij het ene deelkruispunt, een reactie tot stand brengt in het andere, maar ook omgekeerd. In dat geval spreken we van wederzijdse afstemming.
- Soms is de hiërarchie in deelkruispunten echter duidelijk, en moet een bepaald kruispunt altijd de leiding nemen. In dat geval spreken we van een "master-slave"-afstemming. Het master-kruispunt zal dan de cyclus doorlopen en input geven aan het andere kruispunt, dat 'slaafs' zal volgen.
- Een andere vorm van afstemming is dat een peloton voertuigen dat groen krijgt bij het ene kruispunt, ook groen krijgt bij aankomst aan het andere kruispunt of opeenvolgende kruispunten. Zo ontstaat een "groene golf". Groene golven kunnen zowel voor kruispunten die dicht bij elkaar liggen als kruispunten die verder uit elkaar liggen worden ontworpen. Alleen in het eerste geval is een groene golf verkeerskundig strikt noodzakelijk, om blokkeringen van de verkeersstromen te voorkomen. In geval van een doorgaande weg is een groene golf voor kruispunten die verder uit elkaar liggen verkeerskundig niet noodzakelijk, maar soms echter wel wenselijk. In de praktijk zijn er een heel aantal voorwaarden waaraan voldaan moet worden om een goed functionerende groene golf te ontwerpen. Deze voorwaarden worden in hoofdstuk 6 "Afstemming met nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten" verder verduidelijkt.

Een afgestemde regeling kan slechts in beperkte mate worden uitgerust met een voertuigafhankelijke werking. Daarom worden afstemmingen soms ontworpen als zijnde "half-star", aangezien er steeds een star gedeelte is om de coördinatie tussen de verschillende kruispunten te verzekeren, en een voertuigafhankelijk gedeelte dat op ieder kruispunt individueel de regeling aanstuurt naar het lokale verkeersaanbod. In de praktijk wordt het starre gedeelte gebruikt om steeds een vaste cyclustijd te waarborgen of om bij de verschillende kruispunten het begin van de cyclus (of delen van de cyclus) steeds gelijk te laten lopen. Door dit noodzakelijke starre gedeelte is het echter mogelijk dat men voor rood moet wachten zonder dat er conflicterend verkeer is.

Indien men regelingen niet alleen op elkaar afstemt en niet alleen laat beïnvloeden door de aan-/afwezigheid van voertuigen, maar ook door de actuele intensiteiten, dan wordt er een zekere mate van verkeersafhankelijkheid aan toegevoegd. Deze regelingen zijn in Vlaanderen nog niet standaard in gebruik wegens hun vaak sterk verschillende karakter of functioneringsvoorwaarden. Hieronder volgt een korte toelichting over hetgeen deze regelingen over het algemeen trachten te bewerkstelligen.

1.1.2.2 Verkeersafhankelijke programmaselectie

Meestal wordt op vaste tijdstippen overgeschakeld tussen een ochtendprogramma, een avondprogramma en eventueel een ander voertuigafhankelijk programma zoals een dalprogramma of een zaterdagmiddagprogramma. Maar door op voldoende grote afstand voor het kruispunt de voertuigen met lussen te tellen kan het moment van overschakelen afhankelijk gemaakt worden van de actuele verkeersdrukke. Dan kan bijvoorbeeld ook onderscheid gemaakt worden tussen een drukke-avondspits-programma en een rustige-avondspits-programma.

Eén zo'n lus kan soms gebruikt worden voor de programmaselectie van meerdere kruispunten tegelijk, al dan niet afgestemd. We spreken dan van macro-lussen. Verkeersafhankelijke programmaselectie wordt onder meer toegepast bij de VLCC in Antwerpen, de verkeerscomputer R40 Gent en de TASS-regelingen in Limburg.

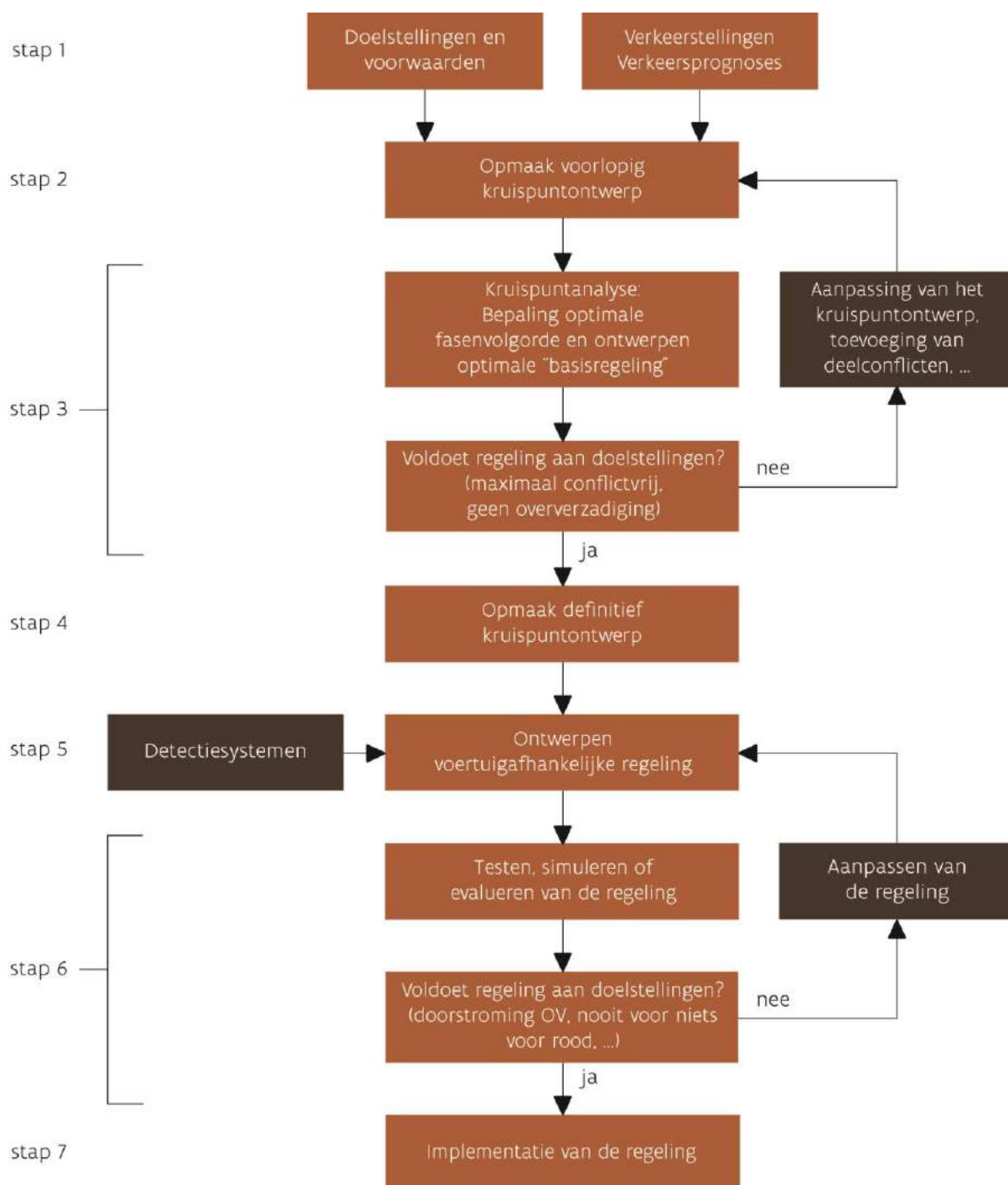
Meer informatie over deze techniek is samengevat in hoofdstuk 4.3.3.

1.1.2.3 Optimaliserende verkeersafhankelijke (netwerk)regelingen

Het grote nadeel van voertuigafhankelijke verkeerslichtenregelingen is dat ze niet streven naar een optimum. Ze minimaliseren niet de verliestijden of het aantal stops van voertuigen. Optimaliserende verkeersafhankelijke regelingen doen dat wel. Ze houden er bijvoorbeeld rekening mee hoeveel voertuigen er al lang staan te wachten en hoeveel er nog naderen, en maken een optimale afweging voor het totale verkeer dat zich aandient. Meestal kan de doelfunctie door de wegbeheerder worden gewijzigd om een groter relatief gewicht toe te kennen aan de verliestijd, het aantal stops en/of de wachtrijlengte van verschillende modi uit de verschillende kruispunttakken.

Wanneer de doelfunctie niet enkel betrekking heeft op één kruispunt, maar het verkeersverloop op een netwerk met meerdere lichtengeregelde kruispunten optimaliseert, dan spreken we over een optimaliserende verkeersafhankelijke netwerkregeling. De beperkte ervaring die daarmee in Vlaanderen is opgedaan kon niet positief geëvalueerd worden. De gemeten verkeerseffecten waren nauwelijks positief en de kosten en beheersproblemen m.b.t. software en detectie vielen tegen. De complexiteit en vertrouwelijkheid van de optimaliseringslogaritmen bemoeilijkt foutopsporing en gerichte aanpasbaarheid van de regelingen.

1.2 Opbouw van het handboek



Figuur 2 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling

De volledige opmaak van een verkeerslichtenregeling kan gezien worden als een iteratief proces. Bepaalde stappen dienen immers herhaald te worden tot de gewenste doelstellingen behaald worden.

Aan de hand van het schema in Figuur 2 wordt verder geduid welke stappen in het proces dienen doorlopen te worden om tot een indienststelling van een verkeerslichtenregeling te komen.

Dit schema beschrijft een 'ideaal' volledig proces vanaf nul tot een volledige implementatie. Bij het aanpassen van bestaande verkeerslichtenregelingen, waar bijvoorbeeld geen ingrijpende aanpassingen aan het kruispuntontwerp mogelijk zijn, worden bepaalde stappen overgeslagen of beperkter geïnterpreteerd.

Hieronder volgt een verdere beschrijving van iedere stap in dit proces.

Stap 1 (Hoofdstuk 2.1 t.e.m. 2.3)

Bij de eerste stap van dit proces dient de benodigde input volledig te zijn. Deze input bestaat meestal uit twee elementen:

- De doelstellingen en voorwaarden:
Wat is het opzet van de aanpassing van dit kruispunt? Zijn er bepaalde randvoorwaarden of doelstellingen waarmee rekening gehouden moet worden in de opmaak van het kruispuntontwerp of verkeerslichtenregeling? Voorbeelden van doelstellingen zijn:
 - Veiligheid van de fietsers of van bepaalde voertuigbewegingen verhogen, bv. op basis van ongevallengegevens;
 - Doorstroming van het openbaar vervoer verbeteren;
 - Een kwalitatieve ontsluiting van een industriezone.
- Kruispunttellingen of prognoses:
Om een kruispuntontwerp of regeling aan te passen is het steeds wenselijk om recente tellingen en/of zo accuraat mogelijke prognoses te hebben om hier het kruispuntontwerp of de uiteindelijke verkeerslichtenregeling op af te kunnen stemmen. Deze gegevens zijn cruciaal om bijvoorbeeld in een volgende stap een correcte inschatting te maken van de verkeersbelasting van een kruispunt.

Stap 2 (Hoofdstuk 2.4 en 2.5)

Met deze input kan er reeds een voorlopig kruispuntontwerp opgemaakt worden dat tracht zoveel mogelijk rekening te houden met de aangeleverde gegevens en aanbevelingen omtrent het kruispuntontwerp bij een kruispunt met verkeerslichten.

Stap 3 (Hoofdstuk 3)

Aan de hand van een voorlopig kruispuntontwerp kan er een kruispuntanalyse gebeuren, waarvoor eerst de optimale fasenvolgorde bepaald wordt. Deze fasenvolgorde dient zo gekozen te worden dat de verliestijden geminimaliseerd worden. Daarna wordt met behulp van de gekende intensiteiten de maximale cyclusduur en de groentijdverdeling berekend. Zo komt men tot een eerste optimale "basis"-regeling, die in eerste instantie volledig conflictvrij is.

Indien uit de kruispuntanalyse blijkt dat deze regeling niet op een aanvaardbare manier functioneert, kan het ontwerp aangepast worden (bijvoorbeeld door een afslagstrook toe te voegen of te verlengen) of kunnen bepaalde deelconflicten toegelaten worden. Op die manier wordt de lichtenregeling mogelijk minder conflictvrij, maar wordt de kans op congestie kleiner. Dit is een eerste 'iteratief' proces.

Stap 4

Wanneer dit iteratief proces ten einde is gebracht, is er sprake van een definitief kruispuntontwerp. In deze stap zou er reeds een beeld moeten zijn van hoe het kruispunt wordt uitgerust met de palen van de verkeerslichten op het grondplan en zou er reeds een ontwerpplan en/of signalisatieplan moeten zijn dat weergeeft waar de markeringen zullen komen te liggen (bv. de stopstrepen).

Stap 5 (Hoofdstuk 4 en 5)

In deze stap wordt er voertuigafhankelijkheid ingebracht in de lichtenregeling. Hierbij wordt de regeling verder geoptimaliseerd om om te gaan met een wisselend verkeersaanbod, door bv. het groen te verlengen of in te korten naarmate het verkeersaanbod verschilt. Er bestaat eveneens de mogelijkheid om bepaalde fasen over te slaan wanneer er zich op bepaalde takken geen verkeer aandient. Dit kan door gebruik te maken van verschillende detectiemogelijkheden en verlengstanden. In hoofdstuk 4 worden de principes van een voertuigafhankelijke werking besproken. In hoofdstuk 5 worden de detectiemogelijkheden voor alle weggebruikers (voetgangers, fietsers, openbaar vervoer en privaat gemotoriseerd verkeer) en hun gebruik in een voertuigafhankelijke werking verder toegelicht.

Stap 6 (Hoofdstuk 3.2)

Wanneer het ontwerp voorzien is van een voertuigafhankelijke regeling, dient te worden nagegaan of er aan alle doelstellingen wordt voldaan. In Stap 3 wordt reeds een analytische evaluatie gedaan en deze analyse kan in deze stap verder verfijnd worden, maar in sommige gevallen kan het noodzakelijk zijn om verder in detail na te gaan of de regeling wel naar behoren zal werken. Dit kan gebeuren d.m.v. een microsimulatie met gespecialiseerde software. Deze simulaties zullen slechts een benadering van de werkelijkheid zijn, maar in vele gevallen geven deze reeds een goed inzicht over de prestaties van een regeling en mogelijke verbeterpunten. Een microsimulatie is meestal wenselijk in specifieke situaties, waar er minder zekerheid is over hoe de verkeerslichtenregeling in de praktijk zal functioneren, of wanneer het kruispunt cruciaal is in een groter netwerk.

Idealiter is het eindresultaat van deze stap een voertuigafhankelijke regeling die maximaal conflictvrij geregeld wordt en die nooit voor niets voor rood laat wachten, zonder daarbij de verliestijden onaanvaardbaar hoog te laten oplopen en/of files te creëren.

Stap 7

Wanneer het uiteindelijke ontwerp voldoet aan de doelstellingen en voorwaarden, kan dit worden geïmplementeerd. In de praktijk begint bij deze stap het proces van het omzetten van een ontwerp (V-plan) naar een praktische indienststelling op het terrein.

2 Input voor de opmaak van een verkeerslichtenregeling

2.1 Wettelijke voorschriften, normen en vademecums

2.1.1 Wettelijke bepalingen betreffende verkeerslichtenregelingen

Bij het plaatsen van een driekleurige signalisatie is de ontwerper gebonden aan enkele wettelijke bepalingen.

Deze wettelijke bepalingen zijn beschreven in:

- Het Koninklijk Besluit betreffende het algemeen reglement op de politie van het wegverkeer (KB 01/12/75 / BS 09/12/75), m.a.w. "het verkeersreglement";
- Het Ministerieel Besluit waarin de minimum-afmetingen en bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens worden bepaald (MB 11/10/76 (BS 14/10/76) en aangepast op 15/11/2001) of beter gekend als het "Reglement voor de wegbeheerder".

Beide besluiten kunnen op www.wegcode.be geraadpleegd worden. Hieronder worden de belangrijkste artikels uit de wettelijke bepalingen wat betreft verkeerslichtenregelingen opgesomd.

a) K.B. van 1 DECEMBER 1975. - Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg. (Hierna aangeduid als "het verkeersreglement")

In dit koninklijk besluit staan onder "Titel III, Hoofdstuk I – verkeerslichten", onder meer de volgende artikelen die moeten gerespecteerd worden bij het plaatsen van verkeerslichten:

- Art. 61: Driekleurige verkeerslichten
- Art. 62: Ontruimingspijl
- Art. 62 ter.: Bijzondere verkeerslichten voor het regelen van het verkeer van voertuigen van geregelde diensten voor gemeenschappelijk vervoer
- Art. 63: Tweekleurige verkeerslichten
- Art. 64: Verkeersknipperlichten

Het is echter aan te bevelen dat men bij het ontwerpen van kruispunten op de hoogte is van alle bepalingen in dit koninklijk besluit.

b) M.B. van 11 OKTOBER 1976. - Ministerieel besluit houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens. (Hierna aangeduid als "het Reglement voor de wegbeheerder")

Dit ministerieel besluit is een verdere uitwerking en toepassing van de verkeerswetgeving. Hierin staan bepalingen die vooral voor de wegbeheerder van belang zijn, vandaar de benaming "Reglement (of code) voor de wegbeheerder".

Uit dit ministerieel besluit worden de zaken die belangrijk zijn voor de verkeerslichtenregelingen besproken in hoofdstuk I – verkeerslichten (art. 2 t/m 5).

Ook bij deze wettelijke bepalingen is het aan te bevelen dat men bij het ontwerpen van kruispunten op de hoogte is van alle bepalingen van dit ministerieel besluit.

2.1.2 Dienstorders bij het Agentschap Wegen en Verkeer

Bij het Agentschap Wegen en Verkeer zijn er een aantal dienstorders die volledig of gedeeltelijk betrekking hebben op kruispunten met verkeerslichten. Hieronder worden enkele dienstorders vermeld. Deze lijst is echter niet exhaustief, enkel de belangrijkste dienstorders wordt vermeld.

a) Dienstorder A/266 (1991): Richtwaarden voor de plaatsing van verkeerslichten

In dienstorder A/266 is terug te vinden of het plaatsen van verkeerslichten uit het oogpunt van capaciteit wenselijk of aangewezen is. Aan de hand van dit dienstorder kan er, op basis van de intensiteiten op de 2 hoofd takken en 2 dwarstakken van het kruispunt worden berekend of het plaatsen van verkeerslichten wenselijk of aangewezen is.

Voor de volledige beschrijving van de methode voor het bepalen richtwaarden voor de plaatsing van verkeerslichten wordt verwezen naar het AWW dienstorder A/266.

b) Dienstorder 155.310/RTE.012.036 (1991) - Gewestwegen : Installaties met driekleurige verkeerslichten - Hulpsignalisatie voor visueel gehandicapten - Afhandeling van aanvragen en karakteristieken

Dit dienstorder betreft de werking van hulpsignalen voor visueel gehandicapten. Hierop wordt verder ingegaan in hoofdstuk 5.3.7.

c) Dienstorder MOW/AWV/2008/26: Aanleg en zichtbaarheid van verhoogde verkeerseilanden en rotondes

Dit dienstorder betreft de "Aanleg en zichtbaarheid van verhoogde verkeerseilanden en rotondes". Onder een verkeerseiland verstaat men een verkeersgeleider, een vluchtheuvel of een middenberm. Kruispunten met een verkeerslichtenregeling bevatten in de meeste gevallen verkeerseilanden.

Er wordt onder meer bepaald wat de minimumbreedtes zijn van verkeerseilanden met en zonder voetgangers- of fietsoversteekplaatsen. Ook worden er veiligheidszones bepaald tussen de rand van het verkeerseiland en de rijbaan. In bijlage is een samenvattende tabel te vinden van de minimumbreedtes van verkeerseilanden.

d) Dienstorder MOW/AWV/2012/4: Richtlijnen verhardingsbreedtes op gewestwegen

Dit dienstorder beschrijft richtlijnen wat betreft de verhardingsbreedtes op gewestwegen. De minimale verhardingsbreedtes en obstakelvrije ruimtes beschreven in dit dienstorder zijn ook van belang voor de kruispunten die verkeerslichtengeregeld zijn.

e) Dienstorder MOW/AWV/2015/12 - Procedure voor aanvragen van voorzieningen voor blinden en slechtzienden

Ook dit dienstorder wordt verder toegelicht in hoofdstuk 5.3.7.

f) Dienstorder MOW/AWV/2017/6 - Geleurde wegoppervlakken voor fietsvoorzieningen - fietsgeleiding op kruispunten

Dit dienstorder betreft geleurde wegoppervlakken voor fietsvoorzieningen en fietsgeleiding op kruispunten. Het bepaalt dat de geleurde wegoppervlakken beperkt worden tot fietspaden en fietssuggestiestroken. Deze geleurde wegoppervlakken mogen enkel onder bepaalde voorwaarden aangebracht worden.

Daarnaast worden er ook richtlijnen beschreven over fietsgeleiding op kruispunten. Deze richtlijnen gelden ook op verkeerslichtengeregelde kruispunten. Voor het volledige dienstorder wordt verwezen naar het desbetreffende document.

2.1.3 Normen betreffende de opmaak en benaming van een V-plan

Deze normen, gebaseerd op de ISO-procedure binnen het Agentschap Wegen en Verkeer, zijn van toepassing op alle V-plannen die nieuw opgemaakt of aangepast worden en beoogt een eenduidige manier van naamgeving voor V-plannen van kruispunten op Vlaamse gewestwegen. Daarnaast wordt er ook bepaald welke benamingen en symbolen gebruikt worden op de V-plannen en hoe een V-plan precies opgebouwd wordt.

Hieronder een korte beschrijving van de huidig geldende conventies rond de benaming van een V-plan.

a) V-plannummer van een verkeerslichtenregeling

- Samenstelling: V006979v00 = 10 karakters lang, zonder spaties, punten, komma's, streepjes
- **Prefix:** V006979v00 = altijd 1 hoofdletter V.
- **Volgnummer:** V006979v00 = steeds 6 cijfers (altijd uniek voor een kruispunt of een reeks van opeenvolgende kruispunten)
- **Fase:** V006979v00 = steeds 1 letter, klein geschreven. Dit kan zijn:

v, a, b = index verkeersplan

c = coördinatieplan

x, y, z = (her)inrichtingsvoorstellen, lussen en palenplan

w = werfplan

s = V-plan t.b.v. een microsimulatie

- **Index:** V006979v00 = steeds 2 cijfers (nummer van 00 t.e.m. 99)
- **Afspraak:** bij elke aanpassing wordt er een nieuw indexnummer gegeven (het volgnummer blijft gelijk)

b) VP-dossiernummer van een kruispunt

- Samenstelling: VP2/0017 = 8 karakters lang, zonder spaties, punten, komma's
- Prefix: **VP2/0017** = bestaande uit 2 letters (telkens VP) + 1 cijfer (1, 2, 3, 4 of 7 = dit cijfer bepaalt de provincie waarin het kruispunt beschreven op het V-plan zich bevindt) + schuine streep (/)

VP1: Wegen Antwerpen (WA)

VP2: Wegen Vlaams-Brabant (WVB)

VP3: Wegen West Vlaanderen (WWV)

VP4: Wegen Oost-Vlaanderen (WOV)

VP7: Wegen Limburg (WL)

- Volgnummer: VP2/**0017** = 4 cijfers (volgnummer van 0001 t.e.m. 9999)
- Het VP-nummer wordt gebruikt voor het klassement (blauwe map): Hierin worden alle indexen (V-plannen), adviezen, meldingen, ... die betrekking hebben op dit kruispunt geklasseerd.

2.2 Tellingen

Een kruispunt dat uitgerust is of wordt met verkeerslichten kent een bepaalde hoeveelheid verkeer die wordt aangeboden. Het is van belang dat deze hoeveelheden verkeer gekend zijn om een gepaste verkeerslichtenregeling te ontwerpen. De zogenaamde 'intensiteit' in de context van het verkeer betekent

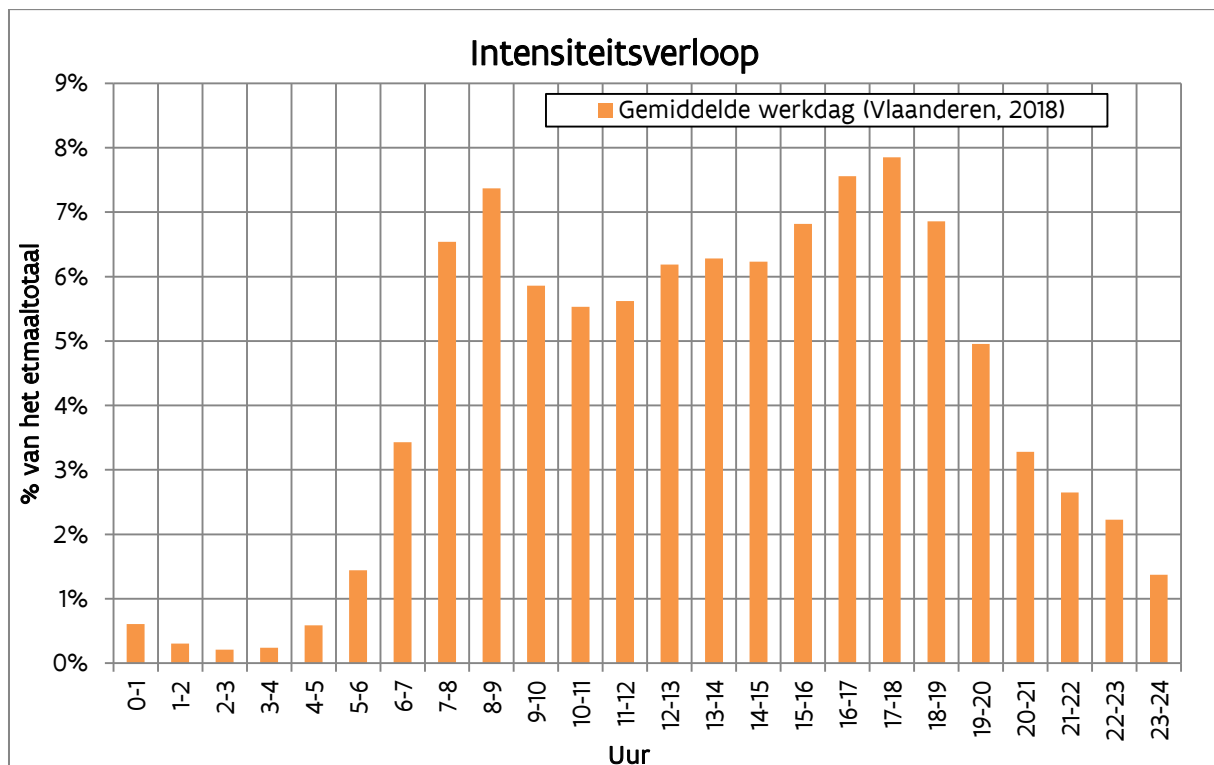
een bepaald aantal verkeerseenheden dat in een bepaalde tijdperiode een bepaald punt passeert. Er kan dus een intensiteit bepaald worden voor een bepaalde rijstrook, kruispunt, beweging, oversteek, ...

Deze intensiteiten kunnen sterk variëren naargelang het tijdstip dat er gemeten wordt. In Vlaanderen kan men spreken van een aantal invloeden op het intensiteitsverloop naargelang het gekozen moment:

- Tijdstip van de dag:
 - Tijdens de ochtend- en avondspits zijn de intensiteiten vaak het hoogst;
 - In de tussenperiode zijn deze gemiddeld iets lager dan de ochtend- en avondspits;
 - In de avond- en nachturen zijn de intensiteiten dan weer vaak laag tot zeer laag;
 - Soms is er gezien de omstandigheden een bijkomende drukte op andere tijdstippen van de dag, zoals bijvoorbeeld bij de wissel van een shift bij een groot bedrijf.
- Dag van de week:
 - Weekdagen hebben doorgaans hogere intensiteiten dan zaterdag en zon- en feestdagen;
 - Dinsdag en donderdag kennen in veel gevallen representatievere intensiteiten dan de andere weekdagen;
 - Intensiteiten op zaterdagen en zon- en feestdagen zijn op sommige locaties zeer afhankelijk van openingstijden van winkels, bepaalde evenementen, dagtoerisme of andere lokale invloedsfactoren.
- Periode in het jaar:
 - In de winterperiode kan er sprake zijn van uitzonderlijke weersomstandigheden zoals ijzel en sneeuw, hierdoor zijn de intensiteiten lager (echter de afrijcapaciteiten dalen eveneens, waardoor dit weer toch tot langere files kan leiden);
 - Bij regenweer is er doorgaans meer gemotoriseerd verkeer en minder fietsers;
 - Tijdens de schoolvakanties zijn de intensiteiten gemiddeld lager (echter op sommige locaties zijn de intensiteiten net hoger, zoals in vakantiegebieden).

In Figuur 3 wordt het gemiddeld intensiteitsverloop van het gemotoriseerd verkeer op een werkdag weergegeven.

In dit hoofdstuk wordt er verder ingegaan op de manier waarop deze intensiteiten worden bepaald en welke informatie noodzakelijk of nuttig is om een verkeerslichtenregeling op te maken.



2.2.1 Kruispunttellingen

2.2.1.1 Algemene beschrijving

Bij bestaande kruispunten kunnen de verkeersintensiteiten bepaald worden door een visuele kruispunttelling (ter plaatse of met behulp van videobeelden). Hierbij wordt er voor iedere tak van het kruispunt het licht vervoer (auto's, lichte bestelwagens, motoren), het zwaar vervoer (vrachtwagens, bussen), de fietsers en voetgangers geteld. Tevens wordt geregistreerd welke rijrichting dit verkeer volgde of welke oversteek er werd gebruikt. In de spitsperiodes worden deze intensiteiten bij voorkeur geregistreerd per tijdsinterval van 15 minuten, omdat er tijdens de spitsperiodes vaak snel stijgende of dalende intensiteiten worden waargenomen. In periodes die minder onderhevig zijn aan sterk wisselende intensiteiten, kan men eventueel per 30 of 60 minuten de intensiteiten registreren.

Om een goede kruispuntvormgeving en verkeerslichtenregeling te ontwerpen worden de maatgevende intensiteiten gebruikt. De maatgevende uurintensiteit is de som van de vier achtereenvolgende kwartieren met de hoogste intensiteiten, wat vaak het ochtend- en avondspitsuur zijn. Deze som is altijd een onderschatting van de hoogste verkeersbelasting die een kruispunt te verwerken krijgt, aangezien de intensiteit in de drukste vijf minuten (die bepaalt of zich files vormen) aanmerkelijk hoger is dan de gemiddelde intensiteit over het drukste uur. In sommige gevallen kunnen de intensiteiten per minuut of kwartier sterk fluctueren, bijvoorbeeld in schoolomgevingen of bij de uitritten van industriegebieden of bedrijven. Men moet er daarom steeds rekening mee houden dat bijvoorbeeld één of meerdere kwartierintensiteiten afwijkend hoog kunnen zijn t.o.v. het uurgemiddelde.

De meest belangrijke periodes voor kruispunttellingen zijn dan ook de ochtend- en avondspits. Gelet op de eerder genoemde variaties in verkeersintensiteiten, is het noodzakelijk om deze tellingen uit te voeren op een werkdag bij goede weersomstandigheden, op een dinsdag of donderdag tijdens het schooljaar tijdens de ochtend- en avondspitsuren (van 7 tot 9 en van 16 tot 18 uur, uitzonderingen daargelaten).

De intensiteiten van het gemotoriseerd verkeer (licht vervoer en zwaar vervoer) worden uitgedrukt in personenauto-equivalenten per uur (pae/u) of personenwageneenheden per uur (pwe/u). Voor fietsers- en voetgangersoversteken worden de intensiteiten per oversteek bepaald. Wanneer fietsers meerijden met het gemotoriseerd verkeer, kunnen zij ook worden uitgedrukt in personenauto-equivalenten per uur. Afhankelijk van de situatie is het soms voordelig om naast de uurwaarden in pae ook over de afzonderlijke telcijfers per voertuigcategorie te beschikken. In eventuele evaluaties of simulaties kan het immers belangrijk zijn om specifiek te weten hoeveel zwaar verkeer er werkelijk is. De uurwaarden in pae laten in die gevallen niet toe om dit correct in te schatten.

Met behulp van de gegevens die detectielussen van een VRI genereren, kan eveneens een kruispunttelling worden opgemaakt. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er geschikte "tellussen" aanwezig zijn op het kruispunt en dat de rijstrookconfiguratie geschikt is om een voldoende gedetailleerd beeld te genereren van de afslagbewegingen.

KRUISPUNTTELLING

Motorvoertuigen

N369 / BRUGSTRAAT, IEPER

Dinsdag 8 mei 2018

Meetlocatie

N369 / Brugstraat

Ieper

O = N369 komende van Westkaaipad

Z = Brugstraat komende van Dekemelelaan

W = N369 komende van Diksmuidseweg

N = Brugstraat komende van Barmstraat

Meting

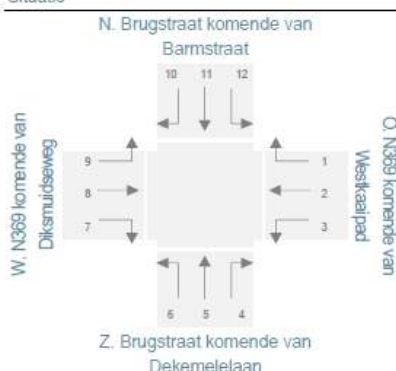
Meetdag: Dinsdag 8 mei 2018

Methodiek: Camera + automatische beeldverwerking

In opdracht van: Agentschap Wegen en Verkeer

Uitgevoerd door: Dufec

Situatie



MOTORVOERTUIGEN - TOTAAL PER RICHTING

	Tak Oost			Tak Zuid			Tak West			Tak Noord		
	ri. 1	ri. 2	ri. 3	ri. 4	ri. 5	ri. 6	ri. 7	ri. 8	ri. 9	ri. 10	ri. 11	ri. 12
Kwartieren												
7:00 - 7:15	10	54	2	2	34	1	0	54	35	8	7	11
7:15 - 7:30	7	46	3	4	38	0	1	68	55	15	20	18
7:30 - 7:45	17	57	4	1	49	2	1	71	53	14	25	7
7:45 - 8:00	21	59	6	2	51	1	2	87	75	24	27	8
8:00 - 8:15	12	55	0	2	34	0	1	71	38	18	22	9
8:15 - 8:30	11	43	3	1	38	2	2	71	33	18	22	7
8:30 - 8:45	15	54	0	2	23	0	1	67	30	13	14	4
8:45 - 9:00	11	46	5	3	15	3	1	62	11	12	20	9
16:00 - 16:15	11	53	6	4	26	0	0	53	30	30	47	15
16:15 - 16:30	10	75	4	1	21	2	2	75	18	45	47	10
16:30 - 16:45	7	51	5	3	22	1	2	77	21	42	50	12
16:45 - 17:00	13	71	4	0	20	2	3	101	33	35	41	11
17:00 - 17:15	18	76	5	1	16	0	2	71	22	50	50	17
17:15 - 17:30	17	97	3	2	22	0	3	68	29	51	46	11
17:30 - 17:45	23	75	7	4	23	0	3	79	21	36	38	17
17:45 - 18:00	14	79	7	3	11	0	2	89	15	37	29	14
Uren												
7:00 - 8:00	55	216	15	9	172	4	4	280	218	61	79	44
8:00 - 9:00	49	198	8	8	110	5	5	271	112	61	78	29
16:00 - 17:00	41	250	19	8	89	5	7	306	102	152	185	48
17:00 - 18:00	72	327	22	10	72	0	10	307	87	174	163	59
Perioden												
7:00 - 9:00	104	414	23	17	282	9	9	551	330	122	157	73
16:00 - 18:00	113	577	41	18	161	5	17	613	189	326	348	107
Drukste uren												
7:15 - 8:15	57	217	13	9	172	3	5	297	221	71	94	42
16:45 - 17:45	71	319	19	7	81	2	11	319	105	172	175	56

Figuur 4 Voorbeeld van een kruispunttelling per kwartier

2.2.1.2 File- en wachtrijmeting

Eerst en vooral is het van belang dat er een onderscheid wordt gemaakt tussen de begrippen 'file' en 'wachtrij'. Een 'wachtrij' is het verkeer dat zich tijdens een roodfase en in de daaropvolgende groenfase opstelt voor een verkeerslicht. Er is pas sprake van "file" indien er gedurende meerdere achtereenvolgende cycli na het einde van een groenfase voertuigen uit de opgebouwde wachtrij, het verkeerslicht niet gepasseerd zijn.

Op bepaalde kruispunten kan er zich tijdens de meting een file vormen op één of meerdere takken van een kruispunt. Als dit zich voordoet is de werkelijke intensiteit hoger dan de louter de gemeten intensiteit ter hoogte van bijvoorbeeld de stopstreep aan het kruispunt. Er is dan sprake van een "latente vraag", er wil namelijk meer verkeer het kruispunt passeren dan dat er momenteel werkelijk passeert.

Dit probleem kan men oplossen door de opbouw van de file te meten, bijvoorbeeld per periode van 15 minuten. Indien men aan het eind van het drukste uur bijvoorbeeld een file meet van 200 meter méér dan aan het begin van het drukste uur, dan zijn er voor die periode op die rijstrook +/- 20 pae (uitgaande van een ruimtegebruik van 10 meter per voertuig) het verkeerslicht niet gepasseerd. Deze bijkomende aantallen kunnen voor dat bepaalde uur dan in deze volgorde verwerkt worden:

- vermenigvuldigen met het aantal rijstroken;
- optellen bij de gemeten intensiteit;
- verdelen over de verschillende rijrichtingen (bv. naar rato van de in de volledige spits gemeten verdeling van het verkeer over de verschillende rijrichtingen van een bepaalde tak).

WACHTRIJMETING

Motorvoertuigen

N369 / BRUGSTRAAT, IEPER

Dinsdag 8 mei 2018

Meetlocatie

N369 / Brugstraat

Ieper

O = N369 komende van Westkaaipad

Z = Brugstraat komende van Dekemelelaan

W = N369 komende van Diksmuidseweg

N = Brugstraat komende van Barmstraat

Meting

Meetdag: Dinsdag 8 mei 2018

Methodiek: Camera + automatische beeldverwerking

In opdracht van: Agentschap Wegen en Verkeer

Uitgevoerd door: Dufec

Situatie



Legenda

Li = Meest linker voorsorteerstrook

Re = Meest rechter voorsorteerstrook

WACHTRIJLENGTE PER TAK EN VOORSORTEERSTROOK

	Tak Oost			Tak Zuid			Tak West			Tak Noord		
	←Li	2	Re→	←Li	2	Re→	←Li	2	Re→	←Li	2	Re→
Kwartieren												
7:00 - 7:15	5	5				20			10	30		10
7:15 - 7:30	5	35				45			25	30		25
7:30 - 7:45	10	50				110			35	30		40
7:45 - 8:00	10	50				50			160	150		45
8:00 - 8:15	0	50				25			30	30		30
8:15 - 8:30	5	5				20			15	35		30
8:30 - 8:45	5	110				20			20	100		5
8:45 - 9:00	5	50				5			10	40		5
16:00 - 16:15	10	40				10			0	0		95
16:15 - 16:30	5	90				30			10	30		130
16:30 - 16:45	0	50				15			35	30		90
16:45 - 17:00	0	90				5			20	95		130
17:00 - 17:15	0	190				15			35	90		90
17:15 - 17:30	0	40				20			20	40		25
17:30 - 17:45	10	110				5			10	30		70
17:45 - 18:00	5	90				10			25	85		65
Uren												
7:00 - 8:00	10	50	0	0	110	0	160	150	0	0	45	0
8:00 - 9:00	5	110	0	0	25	0	30	100	0	0	30	0
16:00 - 17:00	10	90	0	0	30	0	35	95	0	0	130	0
17:00 - 18:00	10	190	0	0	20	0	35	90	0	0	90	0
Perioden												
7:00 - 9:00	10	110	0	0	110	0	160	150	0	0	45	0
16:00 - 18:00	10	190	0	0	30	0	35	95	0	0	130	0

Figuur 5 Voorbeeld van een wachtrijmeting

2.2.1.3 Stroomdiagram

Een kruispunttelling in de spitsperiodes bevat vaak een telling over meerdere uren. Voor verkeerslichtenregelingen kiest men er echter vaak voor om de maatgevende uurintensiteit te gebruiken om de regeling te ontwerpen. Uit de kruispunttelling dient dan ook best het uur met de hoogste totale intensiteit afgeleid te worden. Dit kan men dan weergeven in een stroomdiagram.

Dit stroomdiagram kan dan worden gebruikt om eenvoudige inschattingen te maken en dient vaak als basis om berekeningen te doen over een bepaald kruispunt. Het kan bijvoorbeeld opvallen dat een bepaalde beweging erg frequent wordt gedaan. Figuur 6 is een voorbeeld van zo'n stroomdiagram. Hierin is bijvoorbeeld te zien dat op de westtak de intensiteit van het links afslaand verkeer erg hoog is. In het verdere ontwerp van het kruispunt en de lichtenregeling kan het erg van belang zijn om hier voldoende aandacht aan te besteden.

Een andere vaststelling die men bijvoorbeeld kan doen met behulp van een stroomdiagram is het bekijken van het aantal fietsers dat het kruispunt passeert op de verschillende richtingen, waarbij er specifiek gelet kan worden op de frequentie van conflicten tussen gemotoriseerd verkeer en fietsers.

KRUISPUNTELLING

Motorvoertuigen

N369 / BRUGSTRAAT, IEPER

Dinsdag 8 mei 2018

Meetlocatie

N369 / Brugstraat
Ieper

O = N369 komende van Westkaaipad

Z = Brugstraat komende van Dekemelelaan

W = N369 komende van Diksmuidseweg

N = Brugstraat komende van Barmstraat

Meting

Meetdag: Dinsdag 8 mei 2018

Methodiek: Camera + automatische beeldverwerking

In opdracht van: Agentschap Wegen en Verkeer

Uitgevoerd door: Dufec

Algemeen

Dossier: MDN75-EVT010

V-plan: V017419

Provincie: West-Vlaanderen

Gemeente: Ieper

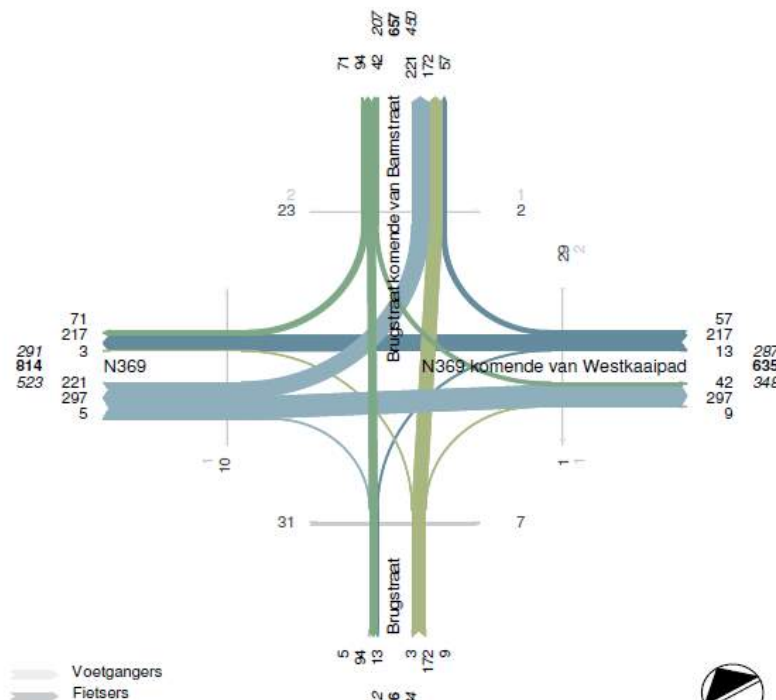
Deelgemeente: Ieper

Weer: Droog, onbewolkt, 28 °C

DRUKSTE UUR OCHTEND

van	naar	O	Z	W	N	Totaal
O. N369 komende van Westkaai		-	13	217	57	287
Z. Brugstraat komende van Deker		9	-	3	172	184
W. N369 komende van Diksmuid		297	5	-	221	523
N. Brugstraat komende van Barr		42	94	71	-	207
Totaal		348	112	291	450	1201

Drukste uur ochtend: 07:15 - 08:15 uur



Figuur 6 Voorbeeld van een stroomdiagram

2.2.1.4 Kruispunttelling met gegevens uit de verkeersregelaar

Met behulp van de gegevens die detectielussen van een VRI genereren, kan eveneens een kruispunttelling opgemaakt worden.

De volgende aandachtspunten zijn echter belangrijk bij het opmaak van een dergelijke telling:

- Er dient op iedere richting die geteld moet worden een detectielus te zijn die betrouwbare tellingen kan uitvoeren;
- Detectielussen meten het aantal voertuigen, niet het aantal "pae"; dit kan eventueel gecorrigeerd worden met historische gegevens.

2.2.2 Doorsnedetellingen

Doorsnedetellingen worden uitgevoerd met apparatuur die de intensiteiten op een bepaalde rijstrook, weghelft of rijbaan meet. Doorsnedetellingen zijn een prima instrument om een indruk van het aantal voertuigen over de uren van de dag en de dagen van de week te verkrijgen. Een voordeel van deze tellingen is dat deze meestal meerdere dagen omvatten. Je krijgt daardoor een goed beeld van de intensiteit over de verschillende dagen en uren.

De visuele tellingen kunnen ook gecombineerd worden met bijvoorbeeld een 7-daagse doorsnedetelling op de toeleidende takken. Op die manier kan ook een gedetailleerdere regeling uitgewerkt worden voor de daluren en weekends. Het wordt op die manier ook snel duidelijk wanneer er bijkomende drukke momenten zijn behalve de gebruikelijke ochtend- en avondspits, zoals bij shiftwissels of winkelcentra.

2.2.3 Prognoses

Voor niet-bestaande kruispunten of voor kruispunten waar de intensiteiten significant zullen veranderen omwille van bijvoorbeeld toekomstige ontwikkelingen, bieden kruispunttellingen onvoldoende informatie.

Voor deze situaties kan men een prognose opstellen van de te verwachten verkeersintensiteiten. Dit kan gebeuren door de intensiteiten aan te passen aan de hand van berekeningen uit studies (bv. een mobiliteitseffectenrapport) of door verkeersmodellen (bv. een stadsmodel, regionaal of provinciaal verkeersmodel) te gebruiken. Aan de hand van deze aangepaste intensiteiten kan men dan stroomdiagrammen opstellen van de te verwachten intensiteiten voor een kruispunt, die dan verder gebruikt kunnen worden om de verkeerslichtenregeling te ontwerpen.

Wanneer prognoses gebruikt worden om een regeling op te stellen moet er extra veel aandacht gaan naar de opvolging na de indienststelling. Het zal dan immers blijken of de prognoses de situatie goed hebben ingeschat. Ook moet er rekening gehouden worden met het feit dat het meeste verkeer zich doorgaans niet direct helemaal zal aanpassen aan de nieuwe situatie.

2.3 Overige informatie

2.3.1 Maximale snelheden

De maximale snelheden op kruispunten zijn van invloed op de bepaling van de optimale detectorconfiguratie en op de ongevalsrisico's. Het is belangrijk in het achterhoofd te houden dat ze kunnen variëren van tak tot tak. Het Geoloket van het Agentschap Wegen en Verkeer bevat de meest accurate gegevens over de snelheidsregimes die gelden op de gewestwegen. Voor wat betreft de snelheidsregimes op de gemeentewegen, kan de Verkeersbordendatabank, een observatie op terrein of een consultatie van de beelden uit de 360° beeldendatabank van het AGIV of de "Street View"-beelden van Google gebruikt worden. Omdat een maximumsnelheid altijd kan wijzigen, wordt die bij elke tak op het V-plan vermeld zodat afwijkingen op het terrein door alle lezers van het V-plan gesignaleerd kunnen worden.

2.3.2 Informatie over bus/tramlijnen

De bus- en tramlijnen in Vlaanderen worden vrijwel allemaal beheerd door de vervoersmaatschappij De Lijn. Vanuit het beleid is bepaald dat deze openbaar-vervoersmodi prioritair behandeld moeten worden ter hoogte van lichtengeregelde kruispunten.

Hiervoor zijn gedetailleerde gegevens nodig:

- Lijnnummers (viercijferige code, deze zijn niet gelijk aan de zichtbare lijnnummers op de bus) (indien verschillende lijnen vanaf eenzelfde rijstrook verschillende lichten moeten beïnvloeden (bijvoorbeeld links afslaande en rechtdoorgaande buslijnen));
- Frequenties (indien De Lijn wenst dat laagfrequente lijnen de verkeerslichten niet beïnvloeden);
- Haltelocaties voor het kruispunt;
- Onderlinge prioriteit tussen de verschillende buslijnen of assen (indien niet alle bussen/trams op het kruispunt tegelijk groen kunnen hebben en afgeweken moet worden van het principe dat OV-verlenging voorgeeft op OV-afkapping)?

Deze input is te verkrijgen bij De Lijn.

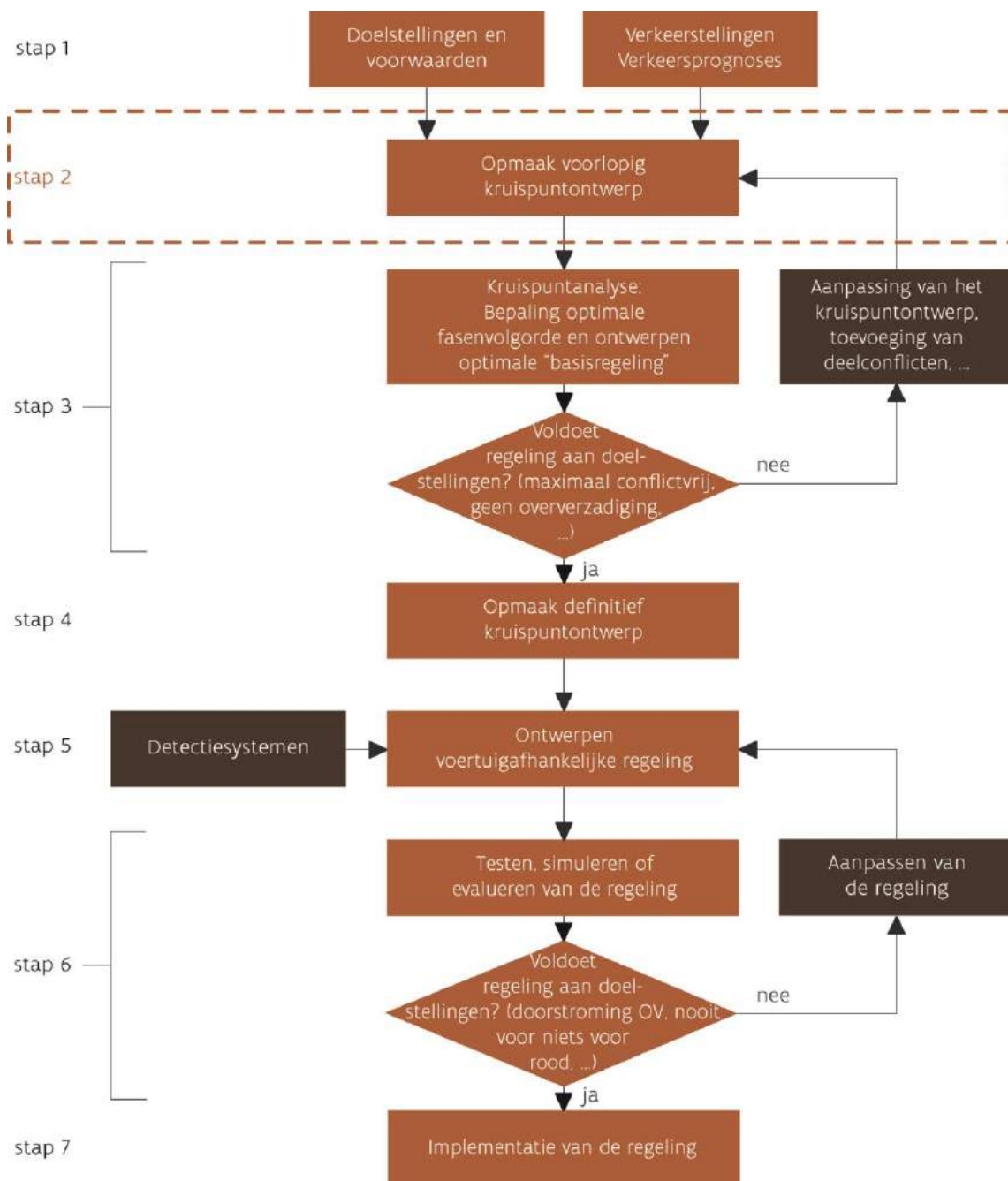
2.4 Kruispuntontwerp

De basisvoorwaarde waarbinnen een verkeerslichtenregeling wordt opgesteld is de ruimtelijke configuratie van het kruispunt. Voor het ontwerpen van de uiteindelijke verkeerslichtenregeling is het kruispuntontwerp nl. het belangrijkste uitgangspunt. De vormgeving van het kruispunt is zeer belangrijk om een vlotte en veilige afwikkeling van het verkeer te bekomen. Het is daarom ook belangrijk dat de ontwerper van de verkeerslichtenregeling betrokken is bij het ontwerp van het eigenlijke kruispunt. Zowel bij het ontwerp van nieuwe kruispunten als bij het aanpassen van bestaande kruispunten dient er steeds aandacht besteed te worden aan een kwalitatief ontwerp waarbij er voldoende ruimte gemaakt wordt voor het gewenste verkeer en voor de verkeersregelininstallatie zelf.

Het uiteindelijke kruispuntontwerp wordt voorgesteld in een grondplan op schaal.

Wanneer dit voltooid is, kan het opgemaakte grondplan gebruikt worden om, met behulp van symbolen, aan te geven waar de palen en seinen moeten geplaatst worden maar ook om afstanden te bepalen die gebruikt kunnen worden in berekeningen.

In dit hoofdstuk wordt er verder ingegaan op belangrijke aandachtspunten bij een kruispuntontwerp en bij de inplanting van de verschillende elementen van een verkeersregelininstallatie op het grondplan.



Figuur 7 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 2)

Het is belangrijk om een bepaalde uniformiteit en herkenbaarheid na te streven wat betreft de vormgeving van het kruispunt om het gewenste rijgedrag te bekomen. In de praktijk zijn er in Vlaanderen echter kruispunten in alle vormen en maten, door een verscheidenheid aan ruimtelijke ordening en nood aan verkeersafwikkeling.

Afhankelijk van onder meer de functie van een bepaalde weg, de voorrangssituatie en de beschikbare ruimte kunnen diverse ontwerpelementen gehanteerd worden bij het kruispuntontwerp, onder andere:

- Rijstrookindeling
- Verkeerseilanden
- Boogstralen
- Bypasses
- Fietsers- en voetgangersvoorzieningen
- Voorzieningen voor het openbaar vervoer
- Uitzonderlijk vervoer
- Voorrangsregeling bij niet-werkende verkeerslichten

In dit hoofdstuk wordt er verder ingegaan op deze ontwerpelementen.

2.4.1 Rijstrookindeling

De rijstrookindeling is vaak het belangrijkste ontwerpelement bij een kruispuntontwerp. Niet alleen heeft het de grootste impact op het uiterlijk en de herkenbaarheid van een kruispunt, maar ook op de afwikkeling van het verkeer. Het archetype van een kruispunt omvat één rijstrook per richting, maar naarmate er meer conflictvrij geregeld dient te worden, zal dit in de praktijk steeds minder vaak voldoen om voldoende afwikkelingskwaliteit te bekomen. De rijstroken kunnen op verschillende manieren verdeeld worden over de rechtsaf, rechtdoor of linksaf. Een rijstrook kan een enkele rijrichting omvatten, bijvoorbeeld enkel rechtsaf, maar kan ook meerdere rijrichtingen combineren, bijvoorbeeld rechtdoor en rechtsaf. Indien nodig wordt gebruik gemaakt van de overeenkomstige pijlmarkering om dit gebruik duidelijk te maken aan de weggebruiker. Afhankelijk van de noden ter plaatse is het niet noodzakelijk de rechtdoorgaande richting die de meeste rijstroken nodig heeft (hoewel dat in de praktijk vaak wel het geval is).

Op rijstroken die uitlopen in een bypass wordt later nog ingegaan in hoofdstuk 2.4.4.

2.4.1.1 Linksafstroken

a) De voordelen van een linksafstrook

Linksafstroken zorgen ervoor dat links afslaand verkeer zich ter hoogte van een kruispunt kan opstellen. Dit verhoogt de capaciteit van een kruispunt vaak aanzienlijk aangezien het rechtdoorgaande en het rechts afslaande verkeer niet gehinderd wordt door eventuele links afslaande voertuigen. Voertuigen die een links afslaande beweging maken moeten immers vaak afremmen en stoppen om voorrang te verlenen aan tegemoetkomend verkeer (bij een niet-conflictvrije regeling).

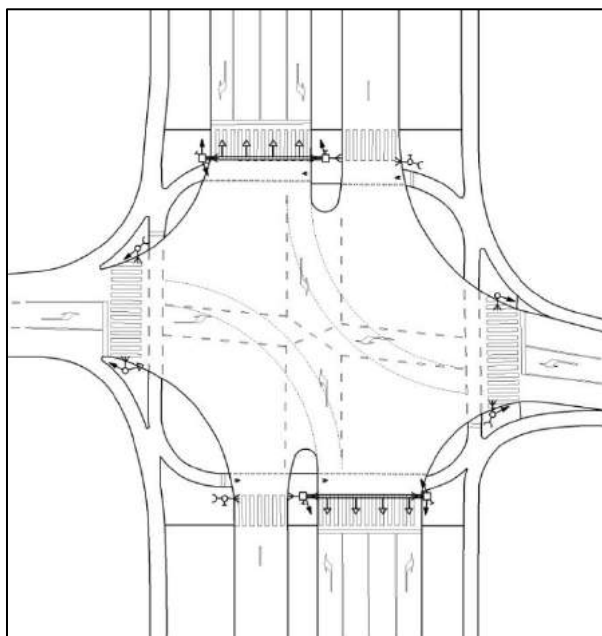
Een aparte, voldoende lange linksafstrook maakt het eveneens mogelijk om deze verkeersstroom conflictvrij te regelen, zodat het conflict met rechtdoorgaande voertuigen, fietsers en voetgangers wordt geëlimineerd.

b) Het kruisen van links afslaande voertuigen onderling

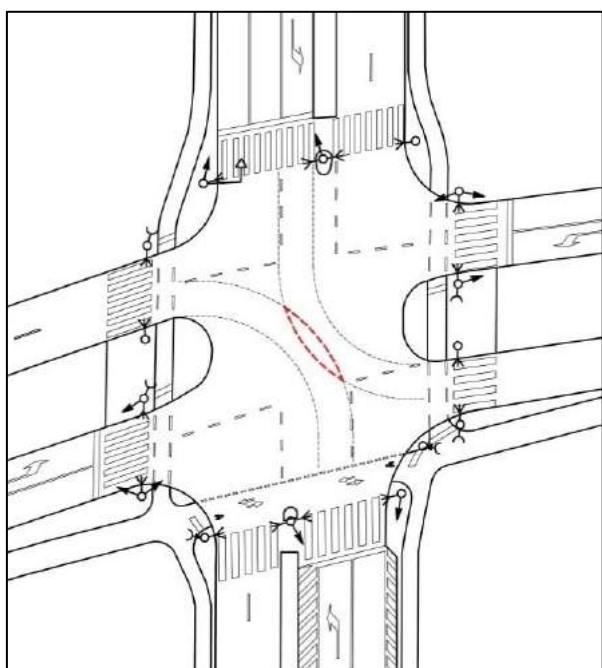
Een bijkomend aandachtspunt is dat van de kruising van links afslaande voertuigen. Art. 15 van het verkeersreglement stelt dat het kruisen rechts geschiedt en er daarna wordt afgedraaid. Bij drukke kruispunten is dit echter verre van ideaal. Daarom wordt er, indien mogelijk, voorkeur gegeven aan "Indonesisch kruisen" waarbij de links afslaande voertuigen van tegengestelde rijrichtingen links van elkaar kruisen (voor elkaar) in plaats van rechts (achter elkaar). Concreet is dit de norm bij kruispunten met veel

links afslaand verkeer waar er voldoende zichtbaarheid is en linksafstroken zijn aangelegd. De rijstrookmarkering wordt zodanig aangebracht dat men als vanzelf voor elkaar langs rijdt. Daarbij kan het helpen om op het kruispunt zelf de gemarkeerde pijl linksaf te herhalen.

Verder dient er ook worden nagekeken of 2 tegenovergestelde linksaf bewegingen samen kunnen verlopen (zie Figuur 8 en Figuur 9). Dit wordt gedaan door de binnenstraal en buitenstraal van beide bochten uit te zetten. De loodrechte afstand tussen de 2 binnenstralen geeft dan de ruimte om voorlangs af te draaien. Indien de afstand tussen de twee binnenstralen van de linksafslagbewegingen kleiner is dan 10 m kunnen er problemen ontstaan wanneer 2 vrachtwagens tegelijk deze beweging doen.



Figuur 8 Ontwerp van twee tegenover elkaar liggende linksafslagbewegingen die tegelijkertijd groen kunnen hebben ("Indonesisch kruisen")



Figuur 9 Ontwerp van twee tegenover elkaar liggende linksafslagbewegingen die niet tegelijkertijd groen kunnen hebben

c) De lengte van een linksafstrook

De benodigde lengte van een linksafstrook is afhankelijk van enkele factoren:

- De intensiteit van het links afslaand verkeer
- Het type van regeling:
 - Conflictvrij
 - Niet-conflictvrij, met ontruimingspijl
 - Niet-conflictvrij, zonder ontruimingspijl
- De cyclusduur van de verkeerslichtenregeling

De effectieve noodzakelijke opstellengte is uiteindelijk zeer specifiek afhankelijk van deze parameters (die bij ieder kruispunt verschillen) en dient dus tijdens het kruispuntontwerp ingeschat te worden en bij opmaak van het V-plan definitief bepaald te worden. Op wegen met een hoge verkeersintensiteiten en waar voldoende ruimte is dienen ze bij voorkeur minimaal 75 à 100m lang te zijn. De stroken hebben namelijk ook een veiligheidsfunctie: het geven van rugdekking aan afremmende/stilstaande afslaande voertuigen ten opzichte van achteropkomende rechtdoorgaande voertuigen met een hogere snelheid. De strooklengte moet dus niet enkel plaats bieden om stil te staan, maar ook om af te remmen van bijna de maximum snelheid tot stilstand.

Het kan nodig zijn om toch een lange linksafstrook te voorzien bij lage intensiteiten linksaf, bijvoorbeeld in het geval dat de intensiteit van het rechtdoorgaande verkeer zo groot is dat de wachtrijen voor rechtdoorgaand verkeer verhinderen dat het links afslaande verkeer de linksafstrook kan bereiken.

Een vaak gebruikte vuistregel voor het bepalen van de aanbevolen lengte van een linksafstrook die conflictvrij geregeld wordt op een kruispunt is de volgende:

$$\text{Benodigde lengte linksafstrook} = (\text{pae} / \text{u op linksafstrook} / \text{aantal cycli per uur}) * 7 \text{ meter} * 1,5$$

Bijvoorbeeld:

Stel:

- een intensiteit van 400 pae/u linksaf en
- een cyclusduur van 90 seconden (dit betekent dat er $3600/90 = 40$ cycli per uur zijn)

Dit betekent dat er $400/40 = 10$ voertuigen per cyclus dienen afgewikkeld/opgesteld te worden.

Rekening houdend met 7 meter per voertuig (i.e. de lengte van het voertuig + volgafstand) betekent dit $10 * 7 = 70$ meter nodige opstellengte. Rekening houdend met een reserve van 50% (* 1,5) voor de voertuigen die aansluiten tijdens de groenfase en de intensiteitsvariaties boven het piekurgemiddelde, dient er dus een linksafstrook voorzien te worden van $70 * 1,5 = 105$ meter.

2.4.1.2 Rechtsafstroken

a) De voordelen van een rechtsafstrook

De voordelen van een rechtsafstrook zijn gelijkaardig aan die van een linksafstrook, nl.:

- Afslaande voertuigen hinderen de verkeersstroom niet van de rechtdoorgaande voertuigen en zorgen voor een verhoging van de capaciteit van deze tak van het kruispunt. Dit effect is meestal kleiner dan bij linksafstroken, omdat er geen conflict is tussen rechts afslaand en tegemoetkomend verkeer, maar wel met kruisende fietsers en voetgangers, indien deze niet conflictvrij geregeld zijn.
- Een aparte rechtsafstrook maakt het mogelijk om het conflict van afslaande voertuigen met fietsers en voetgangers die dezelfde rijrichting volgen, te beveiligen.

b) De lengte van een rechtsafstrook

Net zoals bij linksafstroken is het voor rechtsafstroken belangrijk dat de strook voldoende lang is om het nodige verkeer te verwerken. Veel rechtsafstroken zijn in de praktijk immers te kort, waardoor de afwikkeling van het rechtdoorgaande verkeer niet wordt verbeterd.

In het geval van een conflictvrije rechtsafstrook, is de manier van berekenen vrijwel identiek aan de methode van linksafstroken. Indien het omwille van ruimtegebrek niet mogelijk is om een voldoende lange rechtsafstrook te maken, dan kan deze ofwel niet uitgevoerd worden, ofwel moet het verkeer dat te veel is om verwerkt te worden bij de conflictbelasting (zie hoofdstuk 3.1.4) van de rechtdoorgaande richting geteld worden. Er dient dan voldoende groentijd voorzien te worden om zowel het rechtdoorgaand als het rechts afslaand verkeer af te wikkelen.

Rechtsafstroken worden idealiter gebruikt in situaties met driekleurige pijllichten om een conflictvrije regeling te waarborgen. Ook wanneer het om beperkte intensiteiten gaan die rechtsaf slaan, kan het nuttig zijn om een rechtsafstrook aan te leggen om het conflict met rechtdoorgaande fietsers en voetgangers te beveiligen. Bij niet-conflictvrije regelingen kan een rechtsafstrook ook het gebruik van een zgn. "bijkomende" pijl rechtsaf mogelijk maken, wat de capaciteit van het kruispunt kan verhogen.

Een rechtsafstrook kan zodanig aangelegd worden dat ze minder scherp is dan een gebruikelijke rechtsafslagbeweging en rechts langs de verkeerslichten doorgaat. In dat geval gaat het om een bypass, deze oplossing zal in hoofdstuk 2.4.4 worden behandeld.

2.4.1.3 Rijstrookvermindering na een kruispunt

Na een kruispunt dienen er vanzelfsprekend evenveel rijstroken te zijn als voor het kruispunt. Het kan in sommige situaties wel noodzakelijk zijn om een rijstrookvermindering toe te passen, bijvoorbeeld om van 2 rijstroken naar 1 rijstrook over te gaan. Als lengte van zo'n rijstrookvermindering of weefstrook worden bij voorkeur de volgende maten gehanteerd¹:

- rechtdoorgaande richtingen: minimaal 150 meter;
- afslaande richtingen: minimaal 100 meter.

In deze gevallen dient altijd ² de linkse rijstrook beëindigd en gemarkeerd te worden met rijstrookverminderingsspijlen.



2.4.2 Verkeerseilanden

Onder een verkeerseiland wordt elke vorm van verkeersgeleider, vluchtheuvel of middenberm verstaan. Bij het gebruik van verkeerseilanden zijn er specifieke vereisten waaraan voldaan moeten worden, deze werden door AWW beschreven in dienstorder "MOW/AWV 2008/26". Zo wordt opgelegd hoe groot een verkeerseiland in bepaalde gevallen moet zijn en hoe het aangegeven moet worden. Belangrijk is dat verkeerseilanden zo worden ontworpen dat deze het gewenste gebruik ondersteunen en de gewenste voorzieningen erop geplaatst kunnen worden.

Onderstaande bevat een samenvatting van de bepalingen in het dienstorder. Voor de precieze bepalingen is het aangewezen om het dienstorder in zijn geheel te consulteren.

¹ Bron: CROW, Handboek Wegontwerp 2013 - Gebiedsontsluitingswegen

² Het verkeer dat de rechterraand van de rijbaan volgt heeft nl. in deze gevallen altijd voorrang, ook indien de rechterrijstrook zou beëindigd zou worden. Om onduidelijkheid in deze situaties te voorkomen, wordt daarom altijd de linkse rijstrook beëindigd.

Aard van de oversteek ten opzichte van het verkeerseiland	Minimum breedte verhoogd verkeerseiland (middenberm) (gemeten over de boordstenen, randmarkering van de rijbaan niet inbegrepen)	Minimumbreedte totale verkeerseiland (middenberm) (gemeten tot over de randmarkering van de rijbaan)		
		Snelheid < 70 km/h	Snelheid ≥ 70 km/h	
	haakse doorsteek	2,00 m	2,30 m	3,00 m
	schuine doorsteek	1,80 m	2,10 m	2,80 m
	bajonet doorsteek	2,00 m	2,30 m	3,00 m
	haakse doorsteek	2,50 m	2,80 m	3,50 m
	schuine doorsteek	1,80 m	2,10 m	2,80 m
	bajonet doorsteek	2,20 m	2,50 m	3,20 m

Tabel 2 Minimumbreedtes voor verkeerseilanden (bron: Dienstorder MOW/AWV 2008/26)

2.4.3 Boogstralen

Bij het nakijken van het wegontwerp van een kruispunt is het van belang dat de boogstralen van een binnenbocht (links- of rechtsaf) voor voertuigen niet te krap zijn om een vlotte afslagbeweging toe te laten maar ook niet te ruim zodat er voldoende afgeremd dient te worden om de veiligheid te verhogen. De waarde van deze boogstralen varieert daarom meestal tussen 12 m en 25 m.

Deze waarde kan men afleiden uit de formule voor de minimale boogstraal van een weg en is afhankelijk van de ontwerpsnelheid van de weg. Dit wordt als volgt berekend:

$$R = \frac{v^2}{g(a+f_z)}$$

Hierin is:

R : boogstraal (m)

V : ontwerpsnelheid (m/s)

a : verkanting (-)

f_z : wrijvingscoëfficiënt in zijdelingse richting (-)

g : zwaartekrachtsversnelling (m/s²)

Deze formule is vooral geschikt om de minimale boogstralen van wegvakken te berekenen. Wanneer men echter in deze formule standaardwaarden invult van een afslagbeweging, bijvoorbeeld:

- snelheid in de bocht: V = 10 m/s (36 km/h)
- Verkanting: a = 0
- wrijvingscoëfficiënt voor rubber op asfalt: $f_z = 0,8$
- Zwaartekrachtsversnelling: g = 9,81

$$\text{Dan bekomt men } R = \frac{v^2}{g(a+f_z)} = \frac{10^2}{9,81 \cdot (0+0,8)} = \frac{100}{7,848} = 12,75 \text{ m}$$

Een bocht met een dergelijke minimale boogstraal kan nog net met de ontwerpsnelheid genomen worden. De formule houdt echter geen rekening met het type voertuig of met de factoren die de wrijvingscoëfficiënt beïnvloeden, zoals weersomstandigheden en de toestand van de wielen. In de praktijk

zijn het vaak de grote voertuigen (bussen, vrachtwagens) die de grootte van de benodigde boogstraal bepalen.

Naast de effectieve boogstraal is ook de bochtverbreding aan het einde van de bocht van belang. De breedte die een voertuig nodig heeft vergroot naar mate men langer een bocht doorloopt (en hoe kleiner de straal is). Hoe krappere de bocht, hoe meer ruimte een afdraaiende vrachtwagen dus zal nodig hebben voor zijn sleeplijn. Deze verbreding kan eventueel worden aangelegd als een rammelstrook (bv. in printbeton). In de praktijk is de benodigde verbreding afhankelijk van allerlei eigenschappen van de bocht: hoek, straal, breedte van toeleidende rijstrook, verschil overrijdbare en obstakelvrije breedte, ...

Voor linksafslagbewegingen die over twee rijstroken gaan, is het aan te raden om een grotere boogstraal te hanteren. Een goede vuistregel hierbij is om de binnenbocht een boogstraal van 25 m te geven. Ook is het aan te raden om enige overbreedte te voorzien bij het einde van de bocht. Deze maatregelen kunnen voorkomen dat er zijdelingse aanrijdingen gebeuren tussen twee links afslaande voertuigen.

Naast deze vuistregels bestaan ook simulatieprogramma's die in detail de rijlijnen van afdraaiende voertuigen kunnen simuleren. Bij detailontwerp is het zeker aangeraden om hiervan gebruik te maken. Bijvoorbeeld wanneer een beweging naar rechts wordt gevolgd door een beweging naar links (of omgekeerd) op minder dan 30 m, is een simulatie zeker aan te raden.

Bij sommige kruispunten is het belangrijk dat voertuigen op linksafstroken ook een keerbeweging kunnen maken op het kruispunt. Een keerbeweging, zeker voor grote voertuigen, is een complexe beweging ter hoogte van een kruispunt die vaak meer ruimte vergt dan een klassieke linksafslagbeweging. Indien het bekend is dat er regelmatig keerbewegingen dienen te gebeuren, dient het wegontwerp en de opstelling van de palen hier zoveel mogelijk rekening mee te houden.

2.4.4 Bypass

Indien wenselijk kan voor de rechtsafstrook (of meerdere rechtsafstroken) een bypass worden voorzien als hier de ruimte voor is.

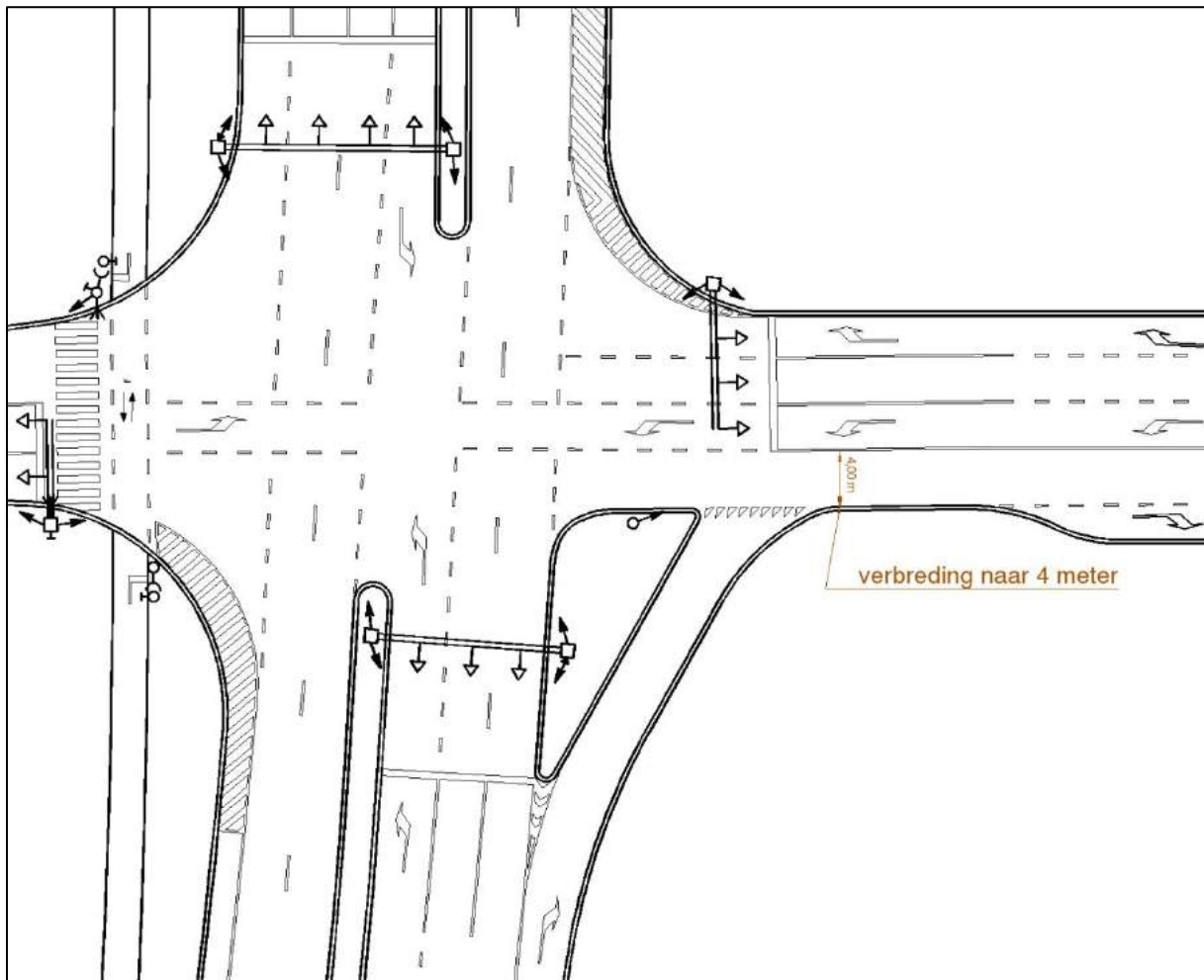
Er zijn hoofdzakelijk twee redenen die een bypass wenselijk kunnen maken:

- Indien de hoek die gevormd wordt door de hoofdtak en zijtak van het kruispunt kleiner is dan 90°, zodat rechts afslaand (vracht)verkeer eenvoudiger verloopt dan wanneer er geen bypass zou worden gebruikt;
- Wanneer door een bypass de capaciteit op het kruispunt verhoogd kan worden. Een belangrijk aspect hierbij is dat de 'voeding' van de bypass (de rechtsafstrook) voldoende lang kan zijn.

Enkele algemene ontwerprichtlijnen voor een bypass:

- Een bypass van één rijstrook kan met of zonder verkeerslichten geregeld worden. Indien de bypass twee rijstroken telt wordt deze lichtengeregeld en opgenomen in de verkeerslichten.
- De rechtsafstrook leidend naar de bypass is liefst zo lang mogelijk. Aan de hand van de bepalingen in dit handboek kan er bepaald worden wat de aanbevolen lengte van de rechtsafstrook is, zodat de werking van de bypass niet beïnvloedt wordt door wachtrijen van andere rijrichtingen.
- De aansluiting op de andere rijrichting kan op twee manieren:
 - Met een invoegstrook, zodat het verkeer conflictvrij kan invoegen in het andere verkeer;
 - Met haaiantanden, waarbij het verkeer op de bypass voorrang moet verlenen aan het andere verkeer.
- De te hanteren binnenstraal bij de aansluiting van een bypass aan de toeleidende weg is bij voorkeur 20 m, om zo een vlotte rijbeweging mogelijk te maken. Bypassen worden daarnaast meestal aangelegd in een hoek van 30° of 60° t.o.v. de as van de toeleidende weg.
- Dienstorder MOW/AWV/2009/3 vermeldt een aanbeveling om de vereiste oprij-zichtafstanden te bepalen. Het dienstorder vermeldt ook dat dit kan toegepast worden op een bypass om te bepalen of een voertuig voldoende zicht heeft op het aankomende verkeer om op een veilige manier in te voegen.

- Een verbreding van de beweging d.m.v. zogenaamde “rammelstroken” of een (gedeeltelijk) overrijdbare middenberm, kan het vooral voor grote, lange voertuigen eenvoudiger maken om de afslagbeweging te maken.
- Wanneer er geen middenberm aanwezig is bij de toeleidende weg, kan de weg waarop men dient in te voegen verbreed worden ter hoogte van de aansluiting van de bypass om de draaibewegingen van grote voertuigen beter te faciliteren (bijvoorbeeld tot 4 m, zie Figuur 10). Als dit het geval is dan moet die breedte geleidelijk afgebouwd worden (over ongeveer 30 tot 50m) totdat de breedte opnieuw overeenkomt met de gewenste verhardingsbreedte.



Figuur 10 Voorbeeld van een rijstrookverbreding na de aansluiting van een bypass

Een bypass heeft echter ook enkele belangrijke nadelen. Er zijn verschillende onderzoeken die aangeven dat het nadelig is voor de veiligheid van de fietsers om een bypass te moeten kruisen.

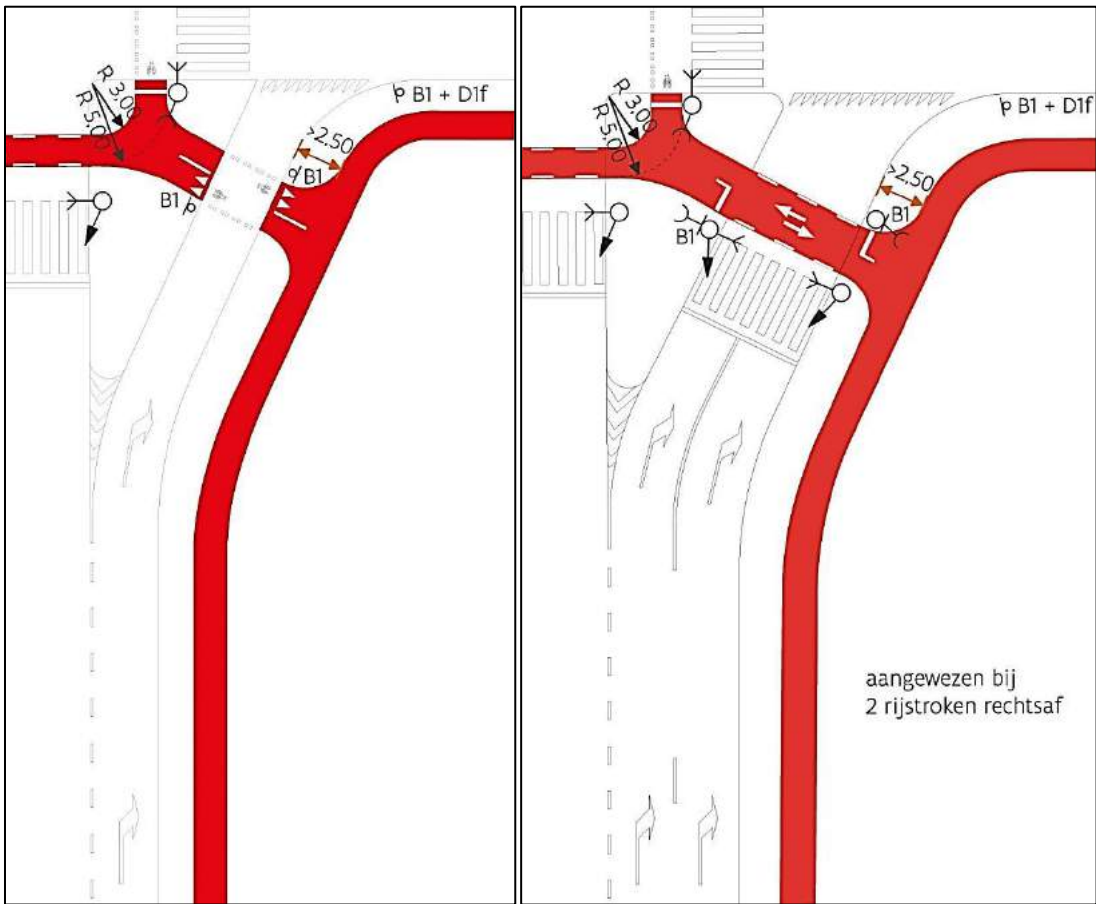
Het Vademecum Fietsvoorzieningen (AWV, 2017) heeft daarom de volgende aanbevelingen geformuleerd:

Vooral in verkeersgebieden wordt wel eens gekozen voor rechtsafslaand autoverkeer buiten de verkeerslichten (bypass). Dit geeft een grote capaciteit voor dit rechtsafslaand autoverkeer.

De kruising van de fietsen met deze vrijrechtsafstrook is een moeilijk punt:

- ofwel maakt men de fietser ondergeschikt aan het autoverkeer. Het bochtige tracé van het fietspad op het grondplan, de blokkenmarkering, de verticale signalisatie en de discontinuïteit van verharding en van de eventuele eigen kleur van het fietspad benadrukken deze ondergeschiktheid van de fietser;

- ofwel regelt men de kruising fietsers - auto's met verkeerslichten. Hierdoor is er eigenlijk geen vrije rechtsafstrook meer voor het autoverkeer, wel nog een compacter kruispunt. Twee rechtsafslaande rijstroken en verkeerslichten gaan daar vaak samen.



Figuur 11 Typevoorbeelden bypass met fietsoversteek (bron: Vademecum Fietsvoorzieningen, 2017)

2.4.5 Fietsers- en voetgangersvoorzieningen

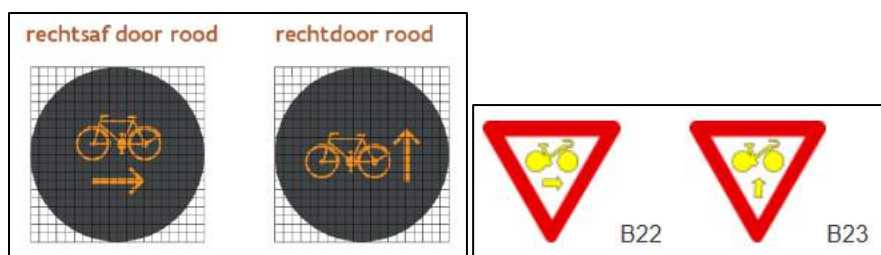
Indien een bepaald kruispunt zeer druk is gedurende bepaalde momenten van de dag wat betreft fietsers en voetgangers, is het belangrijk om daar in het kruispuntontwerp zoveel mogelijk rekening mee te houden. Vooral voor kruispunten waar veel pendelverkeer is zoals schoolgaande jeugd, zijn enkele algemene basis-ontwerpaanbevelingen van belang voor het fietsers- en voetgangersverkeer op een kruispunt:

2.4.5.1 Plaatsing van de verkeerslichten

Het fietsers- en voetgangerslicht dient steeds goed zichtbaar te zijn voor de betreffende gebruikers van het kruispunt.

In de regel geldt het verkeerslicht voor het gemotoriseerd verkeer ook voor fietsers op hun fietspad. Indien er niet voldoende ruimte is voorzien tussen de rijbaan en het fietspad, kan er geen apart verkeerslicht geplaatst worden voor het fietsverkeer en mag het verkeerslicht voor gemotoriseerd verkeer uiteraard ook niet voorbijgereden worden door bijvoorbeeld rechts afslaande fietsers. Hier zijn drie uitzonderingen op:

- Wanneer het verkeerslicht links staat van het fietspad;
- Indien de verkeersborden B22 en B23 geplaatst zijn of een bijkomend oranjegeel knipperend licht met een fietssilhouet en met een oranjegele knipperende pijl oplicht, mag het rode verkeerslicht door fietsers genegeerd worden indien men rechtsaf of rechtdoor wil rijden (bij AWW wordt de voorkeur gegeven aan het verkeerslicht);



- Wanneer driekleurige pijllichten boven de rijstroken hangen: deze zijn enkel op gemotoriseerd verkeer van toepassing en niet op fietsers op een aanliggend fietspad;

De voorkeur gaat steeds uit naar een opstelling waarbij de fietser rechts naast het verkeerslicht voor gemotoriseerd verkeer kan doorrijden. Er wordt idealiter enkel gebruik gemaakt van een opstelling waarin gemotoriseerd verkeer en fietsers voor hetzelfde verkeerslicht dienen te stoppen indien het gaat om een fietssuggestiestrook, een fietsstraat, of indien er gewoonweg geen fietsvoorzieningen zijn.

Indien er een toeleidend fietspad is van minstens 15 meter, kan men gebruik maken van een 'opgeblazen fietsopstelstrook' (OFOS). Zo'n opstelvak maakt het voor de fietsers mogelijk om tijdens de roodfase zich op te stellen vóór de wachtende auto's. Wanneer het licht op groen springt, vertrekken de tweewielers voor de auto's: ze zijn goed opgesteld om linksaf te slaan of rechtdoor te rijden. Dit verhoogt het comfort en de veiligheid. Tijdens de groenfase gedragen de fietsers zich alsof er geen opstelvak zou zijn. Als ze zich niet tussen het verkeer naar links durven te begeven om af te slaan, kunnen ze zich voorbij het kruispunt rechts opstellen (eventueel op een daartoe aangelegde 'wachtplaats' of OFOS-variant) tot ze daar op hun beurt groen krijgen om links af te slaan.

De OFOS wordt gepositioneerd voor de stopstreep van het autoverkeer waardoor fietsers goed zichtbaar zijn en zich makkelijk kunnen opstellen bij rood.

Enkele algemene richtlijnen, voorwaarden en kenmerken van de OFOS:

- Toegelaten snelheid ≤ 50 km/h.
- Maximaal 1 of 2 rijstroken in de betreffende richting.
- Kan zowel op hoofd- als dwarsrichting.



- Redelijk aantal links afslaande of rechtdoorgaande fietsers wenselijk.
- Lengte van de opstelstrook: minimaal 4 meter.
- Gemarkeerd fietspad dat naar de opstelstrook leidt: minimaal 15 meter.
- Afbeelding van het fietssymbool en eventueel van richtingspijlen.

2.4.5.2 Opstelruimtes voor het verkeerslicht en rustruimte op een middenberm

Voor het verkeerslicht wordt bij voorkeur zoveel mogelijk veilige opstelruimte voorzien. De stopstreep voor fietsers mag niet voorbij het fietslicht worden geplaatst, deze wordt best op een logische manier geplaatst zodat de zichtbaarheid van het fietslicht gegarandeerd blijft.

In het "Onderzoeksrapport naar de opstelcapaciteit en afrijcapaciteit van fietspaden bij geregelde kruispunten." (CROW, 2016) heeft men vastgesteld dat elke fietser bij een verkeerslicht gemiddeld 2,27 m² opstelruimte nodig heeft. De dichtheid van een wachtrij fietsers bedraagt gemiddeld 0,44 fietsers per m².

Zoals reeds aangehaald moet een rustplaats ter hoogte van een middenberm een minimale breedte hebben van 2,50 m voor halt houdende fietsers en 2 m voor halt houdende voetgangers. Daarnaast moeten ook fiets- en voetpaden van een minimumbreedte voorzien zijn. De absolute minimumbreedtes zijn voor enkelrichtingsfietspaden 1,50 m, voor dubbelrichtingsfietspaden 2 m (Vademecum Fietsvoorzieningen (AWV, 2017)). De conflicten van de fietsers onderling hoeven niet geregeld; ze gebeuren liefst door achtereenvolgens in- en uitvoegen naar en van een kort gemeenschappelijk gedeelte.

2.4.5.3 Boogstralen van de fietsvoorzieningen

Er moeten steeds voldoende grote boogstralen voorzien worden om de fietser een veilige draai beweging te laten uitvoeren.

- Rechtdoorgaande fietspaden die plaatselijk uitwijken, hebben steeds een boogstraal van minstens 10 meter.
- Bij afslag naar links of rechts (bv. ter hoogte van een kruispunt) heeft elke rand van een fietspad een aanbevolen boogstraal van minstens 4 meter. Als minimumnorm geldt een straal van 3 meter.

2.4.5.4 Directheid van de fietsers- en voetgangersvoorzieningen

Het is wenselijk dat de fietsers en voetgangers die een bepaalde weg volgen aan de kruispunten zo weinig mogelijk van hun rechte lijn (of kortste weg) moeten afwijken. Aan verkeerslichten geldt dan ook steeds de algemene aanbeveling dat er zo weinig mogelijk omwegen moeten worden genomen door fietsers en voetgangers en dat de oversteek lengtes steeds zo kort mogelijk zijn.

Zoals reeds aangehaald kan een bypass een extra omrij beweging veroorzaken voor fietsers en voetgangers, wat niet bevorderlijk is voor de vlotheid van deze bewegingen over het kruispunt.

2.4.5.5 Ruimte tussen rijbaan en fietspad

De fietspaden worden bij voorkeur al vanaf tientallen meters voor het kruispunt voldoende uitgebogen opdat de stuurcabine van een rechts afslaande vrachtwagen ongeveer loodrecht staat op het overstekend fietspad, wanneer de neus van de vrachtwagen bij die fietsoversteek komt. Op die manier bevindt de fietser zich bij de oversteek niet in de dode hoek van de vrachtwagen.

In sommige gevallen is het best om de fietsvoorzieningen aanliggend aan de rijbaan te brengen, om bijvoorbeeld links afslaande voertuigen beter bewust te maken van fietsers uit de tegemoetkomende richting die eveneens groen licht krijgen.

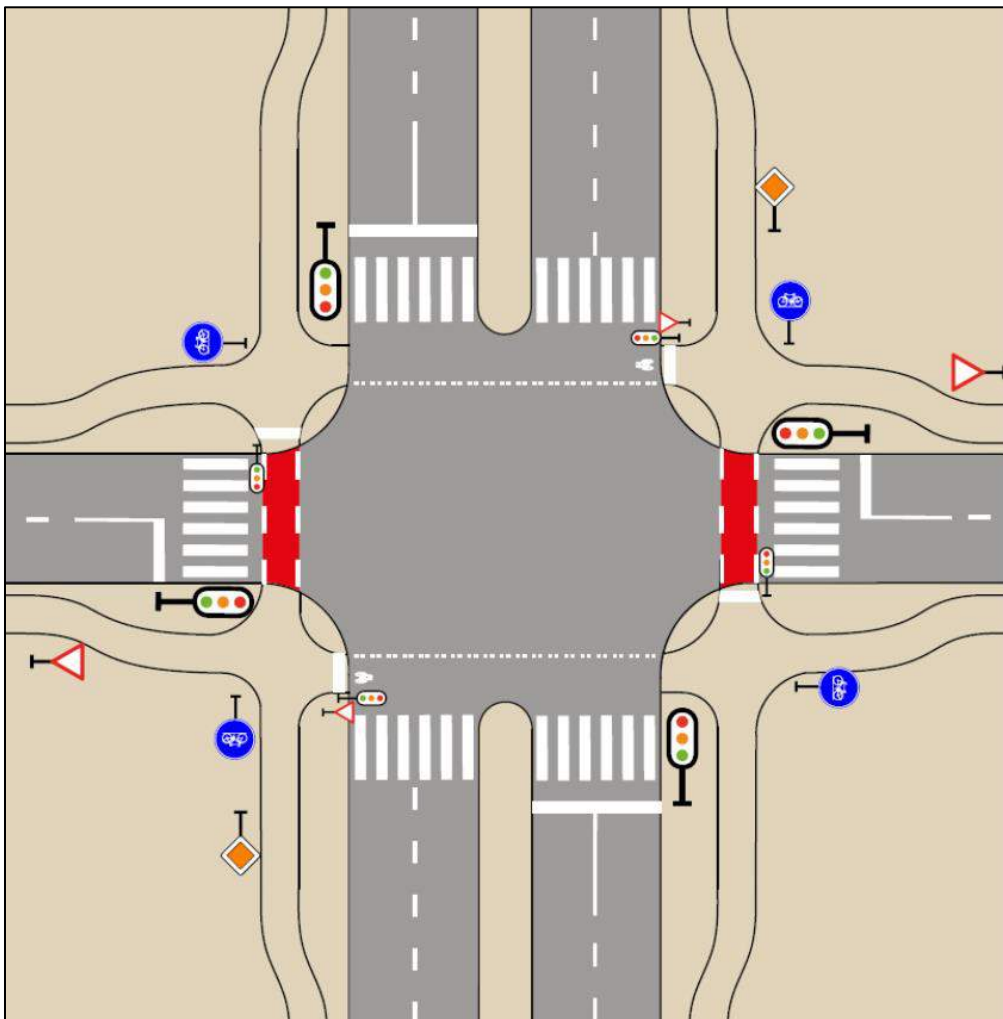
Als algemene richtlijnen worden hier best de richtlijnen uit het Vademecum Fietsvoorzieningen (AWV, 2017) gevolgd, meer bepaald "Hoofdstuk 4.5. Fietsvoorzieningen op kruispunten".

2.4.5.6 Markering van fietsoversteekplaatsen

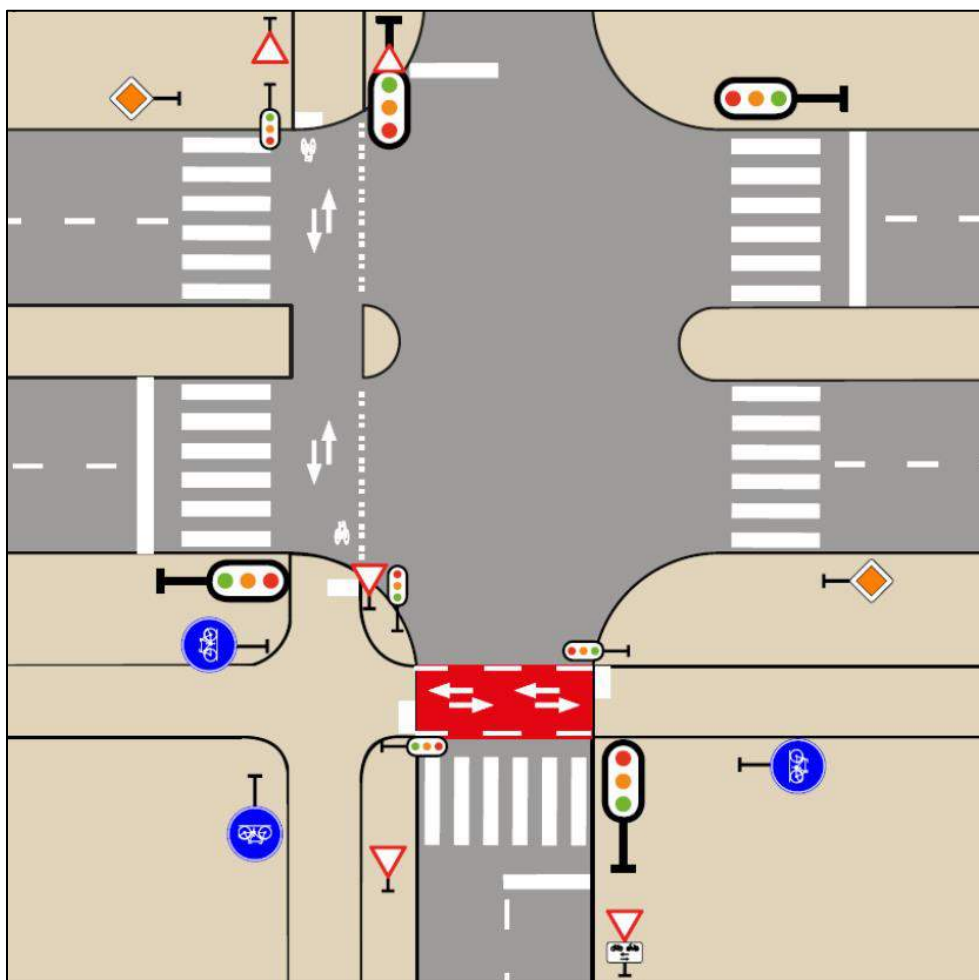
Fietsoversteekplaatsen dienen bij voorkeur van een markering voorzien te worden, enerzijds omwille van geleiding, anderzijds omwille van het aanduiden van de plaats op de rijbaan voor de andere weggebruikers.

Het dienstorder MOW/AWV 2017/06 bepaalt hiervoor de volgende zaken om andere weggebruikers te attenderen op hun voorrangsverplichting, vooral bij het afslaan:

- Fietspaden die op de voorrangsweg liggen worden steeds doorgemarkeerd met fietspadmarkering (rood) (zie Figuur 12);
- Fietspaden die de voorrangsweg dwarsen worden met de "fietslogo-verbindingsmarkering" gemarkeerd (zie Figuur 12);
- Bij dubbelrichtingsfietspaden dienen er ter hoogte van het kruispunt dubbele pijlmarkeringen aangebracht te worden op de oversteek (zie Figuur 13);
- Blokkenmarkeringen worden nooit ter hoogte van een kruispunt toegepast.



Figuur 12 Fietsgeleiding op lichtengeregelde kruispunten (bron: Dienstorder MOW/AWV/2017/6)



Figuur 13 Fietsgeleiding op kruispunten bij dubbelrichtingsfietspaden (bron: Dienstorder MOW/AWV/2017/6)

2.4.5.7 Afstand tussen de markering van fietsers- en voetgangersoversteeken en stopstrepen van gemotoriseerd verkeer

Bij voorkeur is er voldoende afstand tussen het zebrapad (of fietsoversteek) en de stopstreep voor het gemotoriseerd verkeer. Hiervoor wordt een minimum van 0,5m gehanteerd. In de praktijk wordt dit minimum liefst strikt uitgevoerd, omdat het kruispunt best zo compact mogelijk is. Dit is wenselijk om de ontruimingstijden, en dus de verliestijden, te beperken.

2.4.6 Voorzieningen voor het openbaar vervoer

In het geval dat het openbaar vervoer een kruispunt aandoet, kan een kruispunt uitgerust worden met een beïnvloeding van de verkeerslichtenregeling, die er voor zorgt dat het openbaar vervoer een betere doorstroming bekommt.

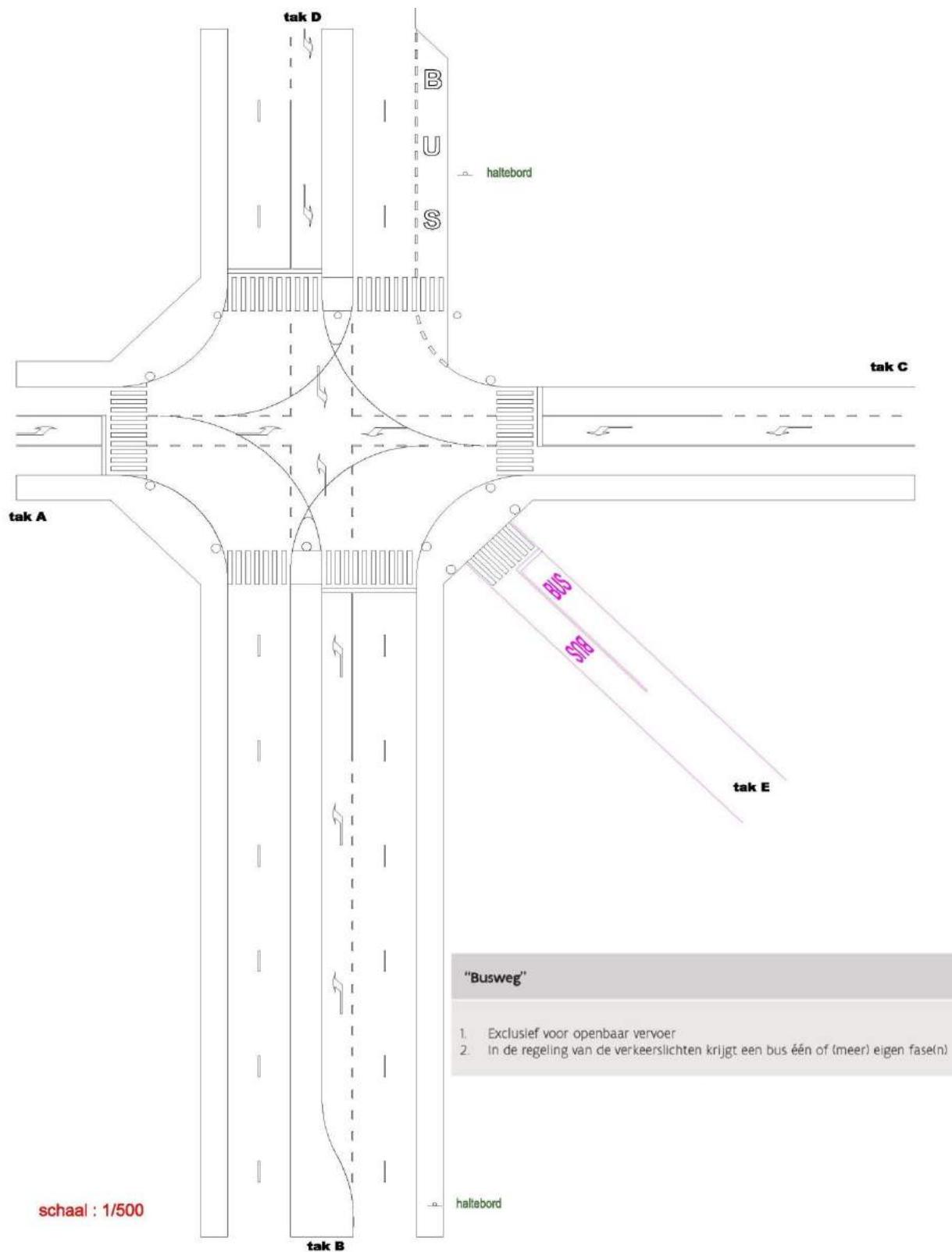
Dienstorder MOW/AWV/2012/5 vermeldt daarnaast nog de volgende ontwerpaanbevelingen:

Om een degelijke lichtenbeïnvloeding mogelijk te maken, is het echter van belang dat de haltes zoveel mogelijk voorbij het kruispunt worden voorzien. Zo kan de groentijd voor de bus of tram eventueel verlengd worden om de bus voorbij het verkeerslicht en naar de halte te laten rijden. Om het achterkomend verkeer niet te blokkeren wordt in deze gevallen een haltehaven gecreëerd.

Het meeste rendement qua doorstroming voor het openbaar vervoer wordt echter gehaald door het kruispuntontwerp uit te rusten met aparte toegangen voor bussen of trams tot het kruispunt. Er zijn verschillende mogelijkheden denkbaar, afhankelijk van de lokale situatie. Deze worden op de volgende pagina's in dit hoofdstuk besproken.

2.4.6.1 Busweg

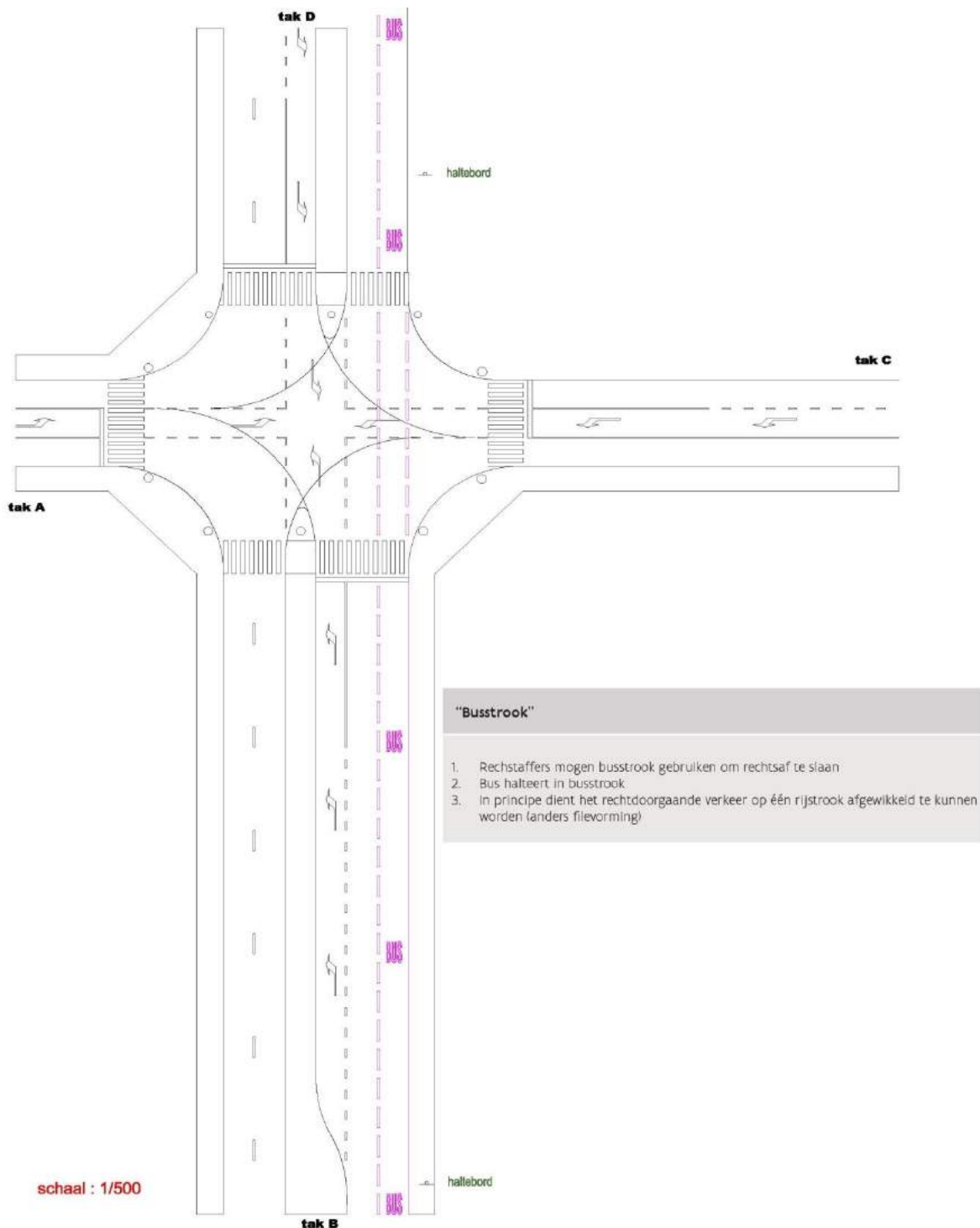
Voor de bus is een aparte exclusieve weg naar het kruispunt aangelegd zoals weergegeven in Figuur 14. In de regeling van de lichten kan men de bus bij het begin en het einde van elke fase toelaten tot het kruispunt. Hierbij zal het nodig zijn de fasen versneld af te kappen.



Figuur 14 Busweg naar het kruispunt

2.4.6.2 Busstrook

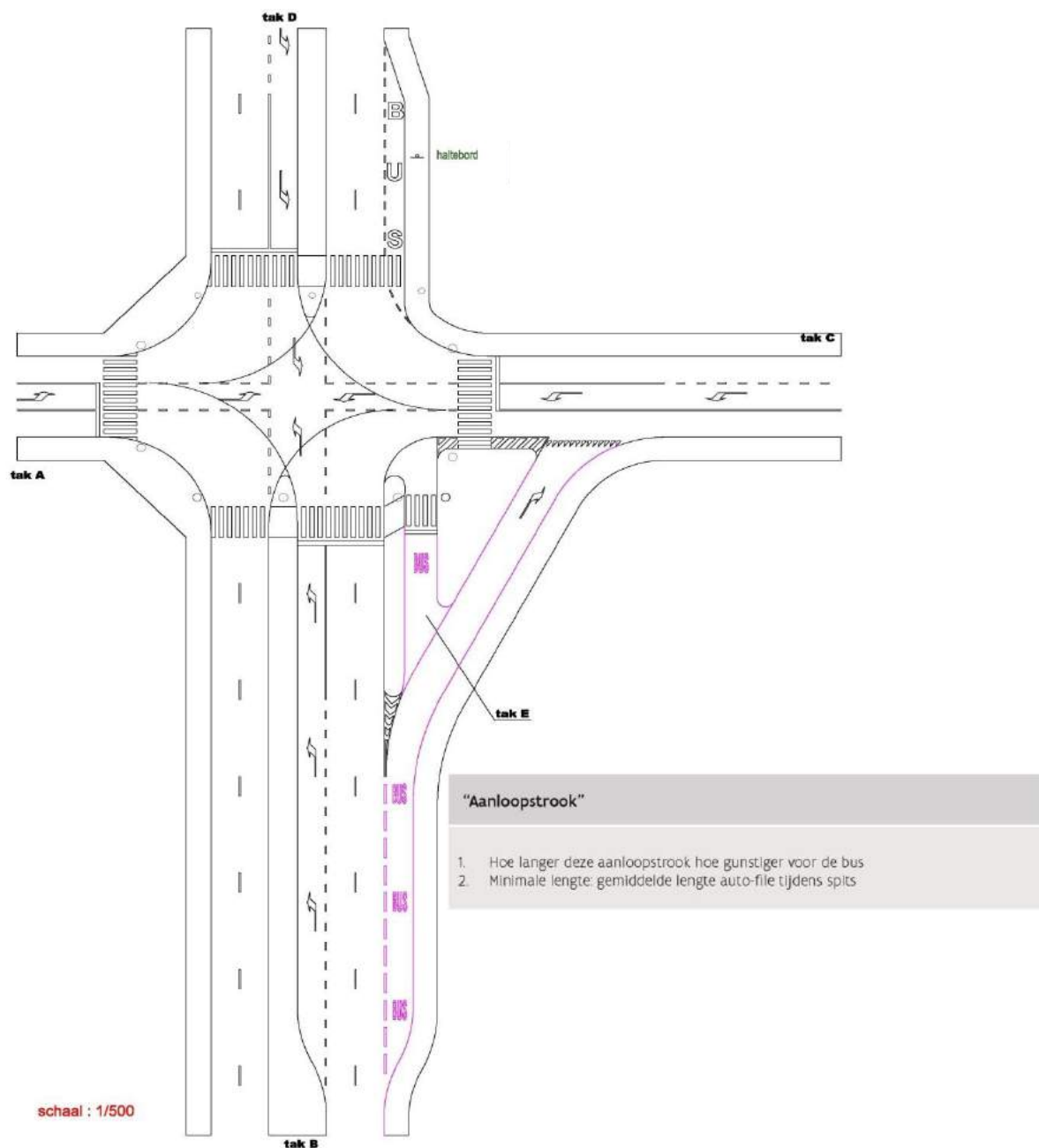
Hierbij wordt een busstrook aan de rechterkant van de rijbaan aangelegd zoals voorgesteld in Figuur 15. Het probleem is echter dat de gewone rechts afslaanende voertuigen ook deze busstrook mogen gebruiken. Bovendien kan er nogal wat hinder zijn van halterende voertuigen, vooral in de bebouwde kom. Links afslaanende bussen moeten zich in het verkeer mengen en (al dan niet via versneld afkappen van het tegemoet komend verkeer) hun beweging uitvoeren.



Figuur 15 Busstrook voorbehouden voor bussen. Rechts afslaanende voertuigen mogen tevens deze busstrook gebruiken.

2.4.6.3 Aanloopstrook

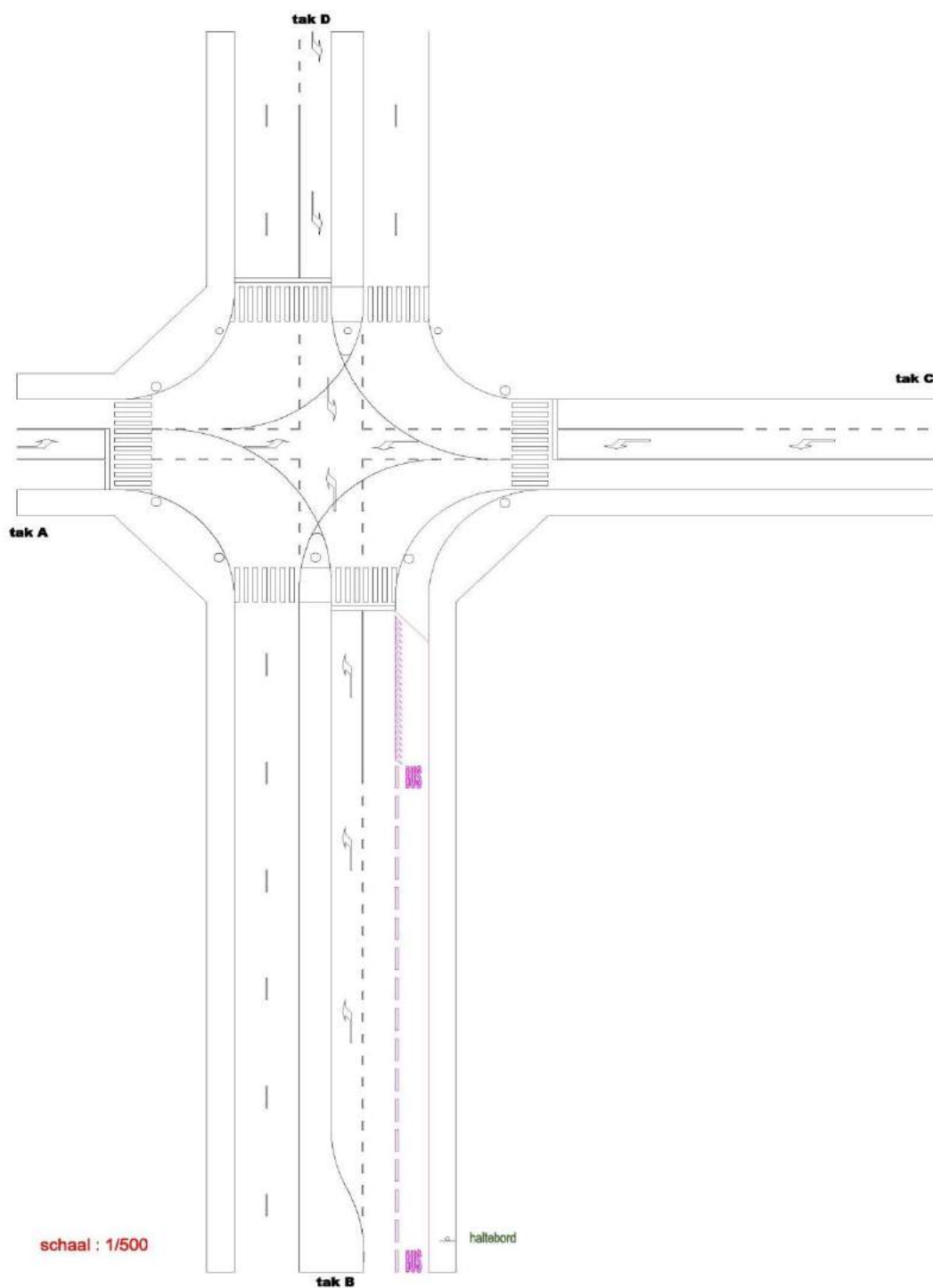
Hierbij kan een bus via de bypass een aparte toegang tot het kruispunt krijgen zoals weergegeven in Figuur 16. Dit is vooral nuttig in geval de rechtdoorgaande en links afslaande bewegingen filegevoelig zijn.



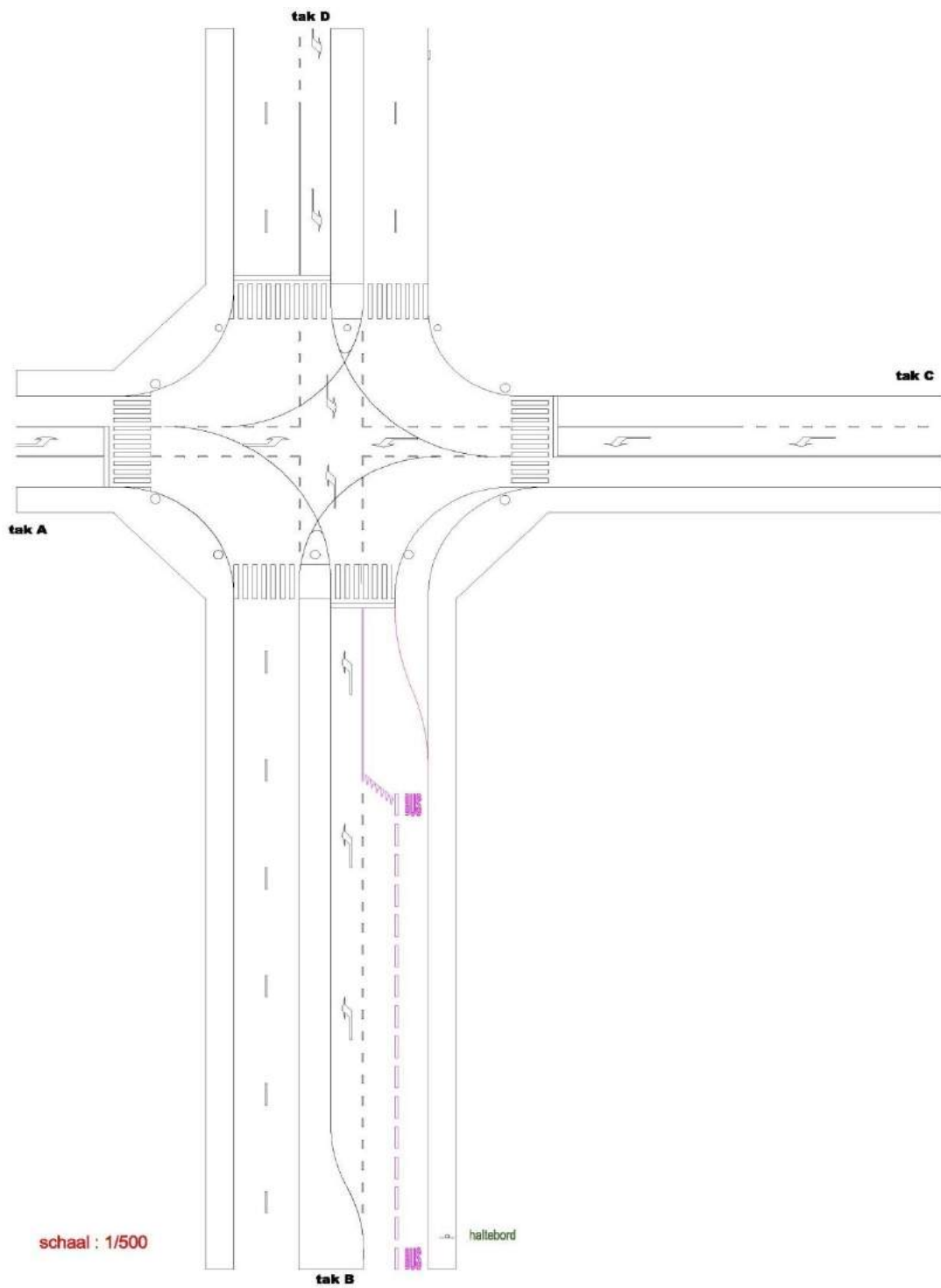
Figuur 16 Aanloopstrook voor bussen

Een andere mogelijkheid bestaat erin dat de busstrook verlengd wordt tot vlak voor het kruispunt en de bus zich zonder bijkomend licht invoegt in het verkeer. Eventueel kan een bord "bus laten invoegen" worden bijgeplaatst.

Dit wordt afgebeeld in Figuur 17 en Figuur 18. Het voordeel is dat de bus bij rood licht de wachtende file auto's kan voorbijrijden en zonder speciale regeling (die hier hoe dan ook veel te veel beperkingen zou opleggen) zich kan invoegen in de verkeersstroom. Figuur 17 geeft een situatie waarin de bus geen voorrang heeft op het andere verkeer, Figuur 18 geeft een situatie waarin het overige verkeer voorrang moet verlenen aan de bus.



Figuur 17 Verlenging busstrook tot aan het kruispunt



Figuur 18 Verlenging busstrook tot aan het kruispunt

2.4.6.4 Set-back

In geval men in de nabijheid van het kruispunt om capaciteitsredenen geen busstrook kan aanhouden, moet men de busstrook op zekere afstand "Δ" van de stoplijn afbreken zoals voorgesteld in Figuur 19. Deze methode laat echter toe dat een bus toch een bepaalde filelengte voorbij rijdt.

De lichtenregeling moet zo opgesteld zijn dat de groenfase lang genoeg is om de wagens die voor de bus zijn opgesteld, te laten evacueren.

De groentijd (s) moet dan $\geq \frac{\Delta}{7} * 2$ zijn.

Links afslaande bussen kunnen zich hier ook gemakkelijker in het gewone verkeer mengen.

"Set-back"

1. Rechtdoorgaand verkeer kan niet worden afgewikkeld op één rijstrook en er ontbreekt ruimte voor een extra busstrook (of busbaan)
2. De groenfase (van elke cyclus) dient lang genoeg te zijn om het verkeer af te wikkelen dat opgesteld is over een afstand 'delta' tot de stopstreep
3. Groentijd (s) $\geq \frac{\text{delta (m)} \times 2}{7}$ (s)

7m

schaal : 1/500

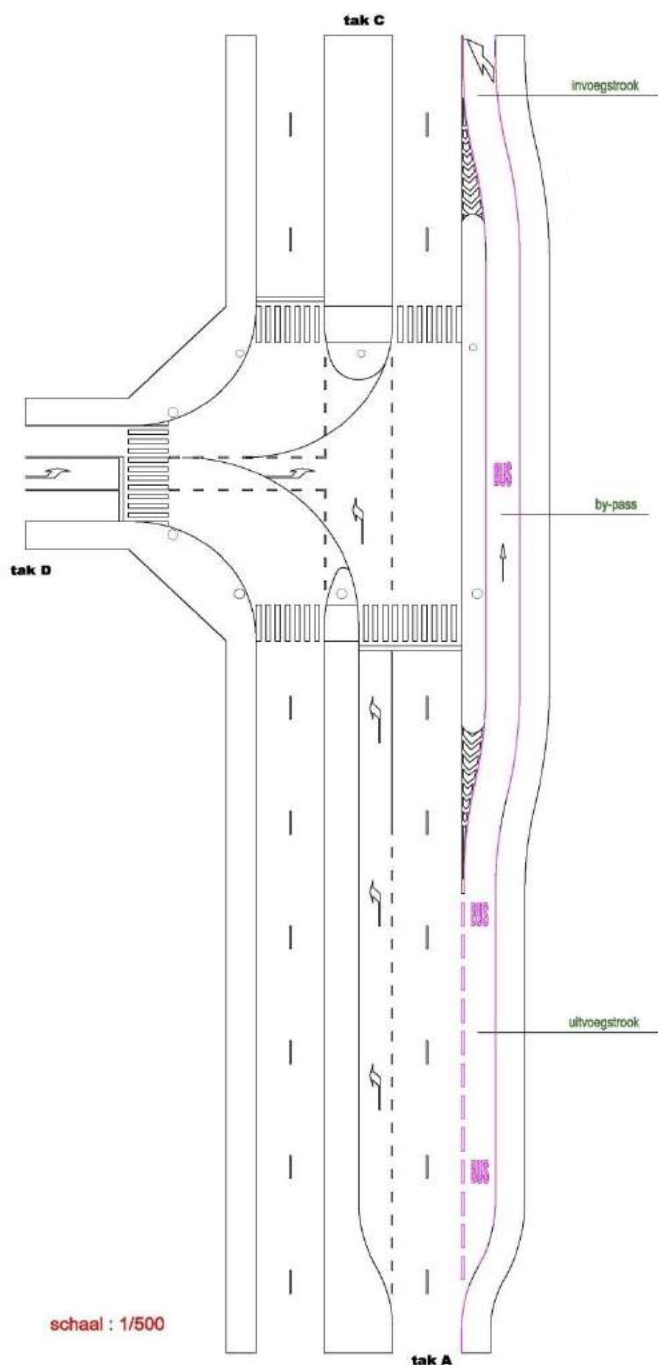
Figuur 19 Set-back voor bussen

45

Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2020

2.4.6.5 Bypass of overbrugging

Bij een T-kruispunt kan men de bus soms achter de lichten van de hoofdweg leiden zoals afgebeeld in Figuur 20.



Figuur 20 Bypass bij een T-kruispunt

Opmerking: Bij een aantal gevallen zullen er dikwijls problemen zijn met fietsers. Bij al deze oplossingen zijn immers geen fietspaden voorzien. Daarom zullen er in de praktijk een aantal andere aanpassingen aan de kruispunten nodig zijn vooraleer één van de hierboven aangehaalde oplossingen kan worden toegepast.

2.4.7 Uitzonderlijk vervoer

Uitzonderlijke vervoer is, mits een vergunning, toegelaten op bepaalde (snel)wegen die uitgerust zijn om de verplaatsingen van deze voertuigen met hun uitzonderlijke afmetingen en gewichten mogelijk te maken. De ontwerper van een kruispunt dient te onderzoeken of de (her)aanleg van een lichtengeregeld kruispunt deze transporten niet onmogelijk maakt door obstakels (palen, middeneilanden, te krappe bochten, etc.).

Dit kan onder meer door een gespecialiseerde simulatie van de rijcurves van het uitzonderlijk vervoer te laten uitvoeren op het kruispuntontwerp.

2.4.8 Voorrangsregeling bij niet-werkende verkeerslichten

Hoewel er natuurlijk sterk op ingezet wordt dat de VRI naar behoren werkt, zullen er altijd defecten kunnen optreden. Het verkeersreglement voorziet voor die gevallen in een hiërarchie van verkeersaanduidingen zodat het verkeer veilig blijft verlopen. Die hiërarchie is duidelijk omschreven in artikel 6 van het verkeersreglement en luidt als volgt:

6.1 De bevelen van bevoegde personen gaan boven de verkeerstekens, alsook boven de verkeersregels (bijvoorbeeld voorrang van rechts).

6.2 De verkeerstekens gaan boven de verkeersregels.

6.3 Als de verkeerslichten op een bepaalde plaats werken gelden hier de verkeersborden betreffende de voorrang niet die op dezelfde weg geplaatst zijn. Deze bepaling geldt noch voor het oranjegeel knipperlicht, noch voor de lichten boven de rijstroken, noch voor voorrangsborden B22 en B23 (fietsers rechtsaf of rechtdoor bij rood licht).

Omdat het bij kruispunten met verkeerslichten vaak gaat om druk gebruikte weginfrastructuur moet uitgegaan worden van minstens een regeling met verkeerstekens. Daarom worden verkeerslichten altijd gecombineerd met voorrangsborden voor de hoofdweg en voor de aansluitende wegen. Indien de verkeerslichten dan niet zouden werken, nemen de aangebrachte verkeerstekens de regeling van het kruispunt automatisch over. Het spreekt voor zich dat, afhankelijk van de situatie, dit tot een daling van de capaciteit van het kruispunt kan leiden.

Naast het verkeersreglement heeft ook de ontwerper een verantwoordelijkheid om het verkeer veilig te laten blijven verlopen in geval van een defect. Indien de verkeerslichten een defect vertonen, zullen ze meestal naar een waakstand gaan waarbij het oranje-gele licht knippert, tenzij dit onmogelijk is door de aard van het defect. Op deze manier worden bestuurders er visueel op attent gemaakt dat er een defect aan de lichten is. Indien het onmogelijk is deze waakstand te activeren, dienen de lichten uitgeschakeld te worden. In de gevallen van een defect wordt er, uitgaande van de hiërarchie, dus gekeken naar verkeersborden om het kruispunt veilig te regelen. Deze verkeersborden en bijhorende markeringen moeten dus goed zichtbaar geplaatst worden.

Bijzondere aandacht moet uitgaan van het gebruik van fietspaden bij kruispunten. Indien een VRI niet zou werken, en er toch een fietspad gebruikt is voor de oversteek van fietsers, mag er geen situatie ontstaan waarin fietsers en dwarsende automobilisten beide zouden kunnen denken voorrang te hebben. Daarom wordt er voor de oversteek van fietsers die de voorrangsweg dwarsen geen klassieke fietspadmarkering voorzien, maar moet er gebruik gemaakt worden van de "fietslogo-verbindingsmarkering" die aanduidt dat er fietsers aanwezig kunnen zijn, maar geen voorrangsregeling uitspreekt. Op die manier is de situatie helder voor alle verkeersgebruikers, zowel bij het werken van de VRI als bij een defect.

2.5 Plaatsing van de elementen van de verkeersregelininstallatie

De volgende elementen van de verkeersregelininstallatie dienen op het V-plan te worden weergegeven:

- Aanduiding op het grondplan op schaal 1/250:
 - De positie van de palen;
 - De positie van de detectielussen, radars, drukknoppen en andere detectiesystemen;
 - Eventuele detectievelden van radars of andere detectiesystemen;
 - Eventuele voorwaarschuwing met verkeersbord A33 (zoals bepaald in het M.B.).
- Nummering en codering van de verkeerslantaarns en detectiesystemen (zie hoofdstuk 2.5.2)

2.5.1 Configuratie van de seinen en palen

2.5.1.1 Sein

In principe zijn er vier grote groepen seinen (of 'lantaarns' of 'verkeerslichten'):

- één voor elk type weggebruiker: voetgangers, fietsers/bromfietsers en gemotoriseerd verkeer (of gemengd verkeer) (respectievelijk Figuur 23, Figuur 22 en Figuur 21).
- een apart systeem voor het openbaar vervoer: Dit zijn de verkeerslichten in de vorm van balken, cirkels en driehoeken die gelden voor het openbaar vervoer. Ze zijn wit op een zwarte achtergrond zoals voorgesteld in Figuur 24.



Figuur 21 Licht voor gemotoriseerd verkeer of gemengd verkeer ("Volle lens")



Figuur 22 Fietserslicht



Figuur 23 Voetgangerslicht



Figuur 24 Verkeerslicht voor openbaar vervoer

Er kunnen meerdere seinen aan dezelfde paal bevestigd worden, wat niet alleen kosten bespaart, maar ook het zicht tussen verkeersdeelnemers verbetert.

Het is belangrijk voor de plaatsing van de seinen dat deze voor gemotoriseerd verkeer en het fietserslicht zich aan de rechterkant van hun rijvak bevinden. Daarnaast zijn er nog een aantal richtlijnen die in acht genomen moeten worden:

- Er worden seinen met lensdiameters van 100, 200 en 300 mm gebruikt. De seinen van 300 mm worden stevast alleen gebruikt op 'hogere locaties', d.w.z. boven op portieken, galpalen of boogpalen, of uitzonderlijk bij ontruimingspijlen op grote kruispunten. Voor de bevestiging op 2 m hoogte wordt een diameter van 200 mm gehanteerd en op ooghoogte wordt een diameter van 100 mm gebruikt.
- Gezien vanuit de wachtende voetganger voor de eerste deeloversteek moeten de seinen voor voetgangers van opeenvolgende oversteeken moeten ongeveer op één lijn staan om te vermijden dat een wachtende voetganger naar het verkeerde licht kijkt. In de praktijk zullen ze meestal aan de reeds bestaande palen (voor het gemotoriseerd verkeer en fietsers) gehangen worden, dus op de hoeken van de zebrapaden aan de binnenzijde van het kruispunt.

- Voor fietsers wordt standaard het normale exemplaar (200mm lensdiameter) gebruikt. Wanneer gebruik gemaakt wordt van drukknoppen worden deze drukknoppen best niet op de paal van het fietserslicht zelf geplaatst, omdat dit de zichtbaarheid op het fietslicht sterk beperkt (wanneer men de drukknop moet bedienen, bevindt men zich vaak vlak onder het verkeerslicht, waardoor men zich opnieuw moet verplaatsen om een goed zicht te krijgen op de stand van het licht). In plaats daarvan kan geopteerd worden voor een aparte, korte paal met bovenaan een drukknop voor fietsers. Deze wordt dan meestal minstens 1 meter voor de stopstreep gezet. Voor deze oplossing is uiteraard voldoende beschikbare ruimte nodig. Een drukknop naast een OFOS wordt beter 1,5 à 2 m voor de stopstreep van de fietsers geplaatst, zodat zij zich na het drukken links kunnen opstellen. Wanneer de drukknop niet op een apart paaltje geplaatst kan worden, of wanneer de afstand tot de stopstreep en het fietserslicht te klein is voor een goede zichtbaarheid van het fietslicht kan er een herhalingslicht op ooghoogte (100mm lensdiameter) worden geplaatst (voor de correcte criteria bij de plaatsing van deze herhalingslichten zie punt 2.5.1.5 .

2.5.1.2 Pijllichten en bijkomende pijlen

a) Pijllichten

Als de volle lenzen vervangen worden door driekleurige pijllichten mag de groene pijl slechts in de aangegeven richting voorbijgereden worden. Artikel 3.3.1 van het reglement voor de wegbeheerder zegt hierover het volgende: *“Het is verboden, voor de regeling van het verkeer bij eenzelfde toegang van een kruispunt, het stelsel met pijlen die de lichten van het driekleurig stelsel vervangen, te combineren met een ander stelsel van verkeerslichten, behalve voor de regeling van het links afslaand verkeer.”*

In de praktijk wil dit zeggen dat volle lenzen nooit gecombineerd mogen worden met driekleurige pijllichten, behalve voor de regeling van het links afslaand verkeer. Een voorbeeld van zo'n regeling is te zien in Figuur 26.

In alle andere gevallen wordt er bij eenzelfde toegang van het kruispunt steeds ofwel met een volle lens, ofwel met driekleurige pijllichten gewerkt. Deze pijllichten kunnen links, rechts of boven de rijstroken worden geplaatst.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van pijllichten moeten deze rechts of boven de rijstroken gehangen worden om rechtsgeldig te zijn en mogen deze herhaald worden lager op de galgpaal of portiek of aan de overzijde van het kruispunt.



Figuur 25 Driekleurige pijllichten



Figuur 26 Volle lens in combinatie met een driekleurige pijllicht linksaf

b) Bijkomende lichten

Daarnaast bestaan er ook *bijkomende* lichten die tegelijkertijd met een rood licht kunnen branden (ook wel complementaire pijlen of voorlooppijlen genoemd). De meest voorkomende pijl is de rechtsafpijl

(dikwijls in combinatie met een ontruimingspijl op de dwarsende richting) zoals weergegeven in Figuur 27. Een aparte rechtsafstrook is dan verplicht (art. 3.3.2. van het MB). Een ander voorbeeld is een rechtdoorpijl, zoals weergegeven in Figuur 28.

Art. 3.3.2. bepaalt dat bijkomende groene pijlen, die tegelijkertijd met een rood licht branden, enkel mogen gevolgd worden door een groen licht.



Figuur 27 Bijkomende pijl rechtsaf



Figuur 28 Bijkomende pijl rechtdoor

c) Ontruimingspijlen

Dit is de naar links gerichte groene pijl die afzonderlijk geplaatst is bij het verlaten van een kruispunt, zoals voorgesteld in Figuur 29. Als de pijl brandt, is het sein voor het tegenliggend verkeer rood zodat het links afslaand verkeer sneller kan ontruimen. Het gebruik van deze pijl belet echter niet dat er ook linksaf geslagen mag worden tijdens de normale groenfase voor beide richtingen (ontruimingspijl is gedoofd).



Figuur 29 Ontruimingspijl

2.5.1.3 Paaltypes of portieken

Bij het opstellen van een VRI hoort uiteraard een bepaalde opstelling van de verkeerslichten. Naast de types lichten die gekozen kunnen worden, zijn er ook een aantal types palen die mogelijk zijn. Hierbij zou echter niet willekeurig te werk gegaan moeten worden, om een uniformiteit in het wegbeeld te bekomen en behouden. Daarom worden volgende richtlijnen gehanteerd:

Standaard seinpaal



Op lokale wegen en op wegen met een maximumsnelheid < 70 km/h met maximaal twee rijstroken aan de stopstreep kan een gewone paal rechts (en meestal ook links) van de rijbaan volstaan. De stopstreep ligt bij voorkeur op minstens 4,5 m voor de paal.

In bepaalde gevallen is het wenselijk dat een fietser niet gebonden wordt door deze volle lens, zoals bijvoorbeeld bij een T-kruispunt. Dit kan bekomen worden door het fietspad rechts van de paal te laten lopen, zodat het verkeerslicht voor gemotoriseerd verkeer aan de linkerzijde van het fietspad hangt. Een fietser kan in dat geval reglementair dat licht voorbijrijden. Om een paal op deze manier tussen de rijbaan en fietspad te kunnen inplanten is minstens 1,5 meter nodig. Indien deze ruimte ook geschikt moet zijn om voetgangers buiten het conflict met de langrijdende fietser op te stellen dan dient er minstens 2 meter ruimte voorzien te worden. (zie onderstaande figuur bij de "kleine boogpaal")

De afstand tussen de borduursteen (dus de rand van de rijweg) en het middelpunt van de paal van het verkeerslicht bedraagt bij voorkeur minstens 75 centimeter.

Kleine boogpaal (Draagwijdte 3,50m)



Zeker op de hoofdrichting of bij richtingen met meerdere rijstroken kan het sein worden herhaald boven de weg met een boogpaal (kleine of grote i.f.v. de wegbreedte) om ook op afstand reeds goed zichtbaar te zijn. Deze boogpaal kan ook gebruikt worden aan de linkerzijde van de weg of op de middenberm. Op die manier kan een conflictvrije linksaf gecombineerd worden met een volle lens.

Een boogpaal kan ook nuttig zijn op een enkele rijstrook indien de verwachte wachtrij lang is, bij hogere snelheden of steile hellingen, omdat de zichtbaarheid van het licht wordt verbeterd. De boogpaal kan zo gedraaid worden om dat te faciliteren.

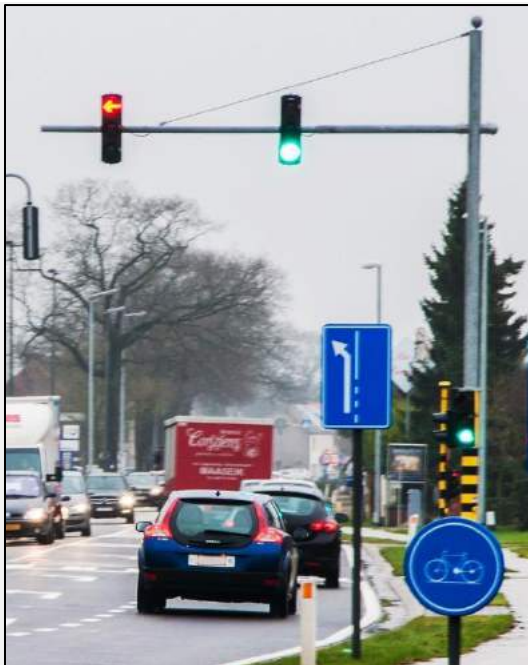
Grote boogpaal (Draagwijdte 7,50m)



Indien de totale breedte van de rijweg te groot is voor een kleine boogpaal, kan voor een grote boogpaal gekozen worden. Het licht in kwestie moet (ongeveer) boven het midden van de rijstroken hangen waarvoor het licht bovenaan geldt.

Wanneer er onvoldoende ruimte is voor de fundering van een galgpaal, en alleen dan, kan ook een boogpaal gebruikt worden waarbij een extra licht wordt gemonteerd halverwege de boog.

Galgpaal



De galgpaal werd voornamelijk ontwikkeld voor een conflictvrije linksaf-regeling.

De fundering voor galgpalen is omwille van de stevige (en zware) structuur groter (grootte 2,0m x 1,0m bij benadering) dan die van gewone palen of boogpalen. Daarom zal het in de praktijk niet altijd mogelijk zijn om galgpalen te gebruiken. In die gevallen kan teruggegrepen worden naar een opstelling met dubbele boogpalen.

Portiek



Een portiek kan worden gebruikt wanneer alle rijstroken van een tak met driekleurige pijllichten geregeld worden. De lichten worden dan opgehangen boven de respectievelijke rijstroken. Ook portieken hebben een brede fundering nodig omwille van de afmetingen van de installatie. Het inplannen van portieken heeft dan ook een sterke impact op het kruispuntontwerp.

2.5.1.4 Zichtbaarheid en afstand tot stopstreep

Om het zicht op het verkeerslicht te kunnen garanderen dient de stopstreep op een zodanige afstand te liggen zodat er een juiste hoek ontstaat om vanuit het oogpunt van de bestuurder het verkeerslicht waar te nemen. De vuistregel is hierbij dat de stopstreep op 4,5m van de lichten in kwestie moet liggen. Indien er nood aan is door bijvoorbeeld plaatsgebrek kan hier (licht) van worden afgeweken. Wanneer pijllichten enkel boven de rijstroken worden aangebracht, dan is minstens 5m echter wettelijk verplicht (Art. 18.1. van het MB). Wanneer de afstand van de stopstreep tot het verkeerslicht klein is kan de zichtbaarheid in het gedrang komen.

Indien nodig voor indraaiende voertuigen kan de stopstreep ongelijk liggen voor de verschillende rijrichtingen. Meestal wordt de stopstreep voor de linksafstrook naar achteren verschoven om extra ruimte te creëren voor lange voertuigen.

In art. 7.10. van het MB is bepaald dat buiten de bebouwde kommen de driekleurige verkeerslichten moeten gesignaleerd worden die, wegens de plaatsgesteldheid, door de weggebruikers niet kunnen gezien worden vanop een afstand van ongeveer 150 m. Wanneer die verkeerslichten kunnen gezien worden vanop een grotere afstand dan 150 m, mag het verkeersbord A33 slechts uitzonderlijk worden gebruikt.



Figuur 30 Verkeersbord A33

2.5.1.5 Herhalingslichten

Om de zichtbaarheid van een verkeerslicht te verhogen kunnen naast het wettelijk verplichte licht nog herhalingslichten geplaatst worden. Dit kan zowel boven de rijbaan, als links (al dan niet op de middenberm) of aan de overzijde van het kruispunt. In dat laatste geval wordt het licht zo veel mogelijk recht voor de desbetreffende rijstrook geplaatst. Deze herhalingslichten zijn louter facultatief. Alleen lichten rechts van de weg en pijllichten boven hun respectievelijke rijstrook hebben een wettelijke betekenis.

Indien er gewerkt wordt met een ontruimingspijl voor een bepaalde richting wordt voor de tegenovergestelde richting het sein best niet herhaald aan de overzijde van het kruispunt aangezien dit op een foutieve manier kan geïnterpreteerd worden door de weggebruiker. Dit herhalingslicht zal namelijk op een bepaald ogenblik rood aangeven, terwijl er nog steeds voertuigen door het groen gereden kunnen komen vanuit de overkant. Voor links afslaande voertuigen die op het kruispuntvlak staan, kan dit een veiligheidsrisico inhouden.

Bij een conflictvrije regeling van de linksafslagbewegingen kan aan de overzijde van het kruispunt een ontruimingspijl geplaatst worden die samenloopt met de groentijd van de driekleurige linksafslagpijl. Deze opstelling heeft het voordeel ten opzichte van de herhaling van de driekleurige linksafslagpijl dat de rechtdoorgaande richting niet verward kan worden door een driekleurig sein dat op groen springt. Die verwarring kan ook worden voorkomen door aan de overzijde de lichten voor rechtdoorgaand en links afslaand verkeer naast elkaar te plaatsen.

De ontruimingspijl kan, in het geval van een zeer groot kruispunt, uitgerust worden met een grote lens.

Wanneer het niet mogelijk is om goed zichtbare verkeerslichten te plaatsen omwille van de ligging van de stopstreep, kunnen er ook herhalingslichten met lensdiameter 100mm "op ooghoogte" geplaatst worden voor het gemotoriseerd verkeer.

Ook in het geval van fietserslichten is het mogelijk om een herhalingslicht op ooghoogte te plaatsen op dezelfde paal als het gewone fietserslicht. Dit kan bv. in gevallen wanneer de afstand te klein is van de stopstreep tot aan het fietserslicht, en de leesbaarheid in het gedrang komt.



Figuur 31 Herhalingslicht op ooghoogte voor fietsers









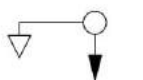

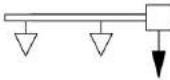
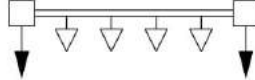




















De AVVG heeft hiervoor beslist dat herhalingslichten op ooghoogte kunnen geplaatst worden in de volgende gevallen :

- Voor comfort of om ervoor te zorgen dat fietsers doorrijden tot aan de paal: enkel indien ofwel er voor het fietserslicht minder dan 3 m veilige opstelruimte is, ofwel er een drukknoop of fietserslus op minder dan 1,5 m voor het fietserslicht is;
- Voor veiligheid en om verwarring te voorkomen: enkel indien een fietser die naast het fietserslicht staat een ander voetgangers- of fietserslicht voor zich ziet dat op andere momenten groen of rood wordt.

2.5.1.6 Symbolen

De symbolen die gebruikt worden op het V-plan worden toegelicht in onderstaande legenda. Deze legenda wordt ook integraal toegevoegd aan ieder V-plan.

Binnen AWW wordt bij het opmaken van de V-plannen op digitale wijze bovendien gewerkt met zogenaamde “intelligente blocks” die het mogelijk maken om snel analyses te maken over de inrichting van de verkeersregelinstantaties. Ieder symbool op het V-plan is daarbij gelinkt aan een aantal eigenschappen. Het is wenselijk dat alle V-plannen opgemaakt worden met deze “intelligente blocks”. Voor meer informatie over dit tekenprincipe kan men steeds terecht bij de afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica (VWT) van het Agentschap Wegen en Verkeer.

— LEGENDA —		
	rood	
	oranje-geel	
	vooraankondiging	
	groen	
	knipperend oranjegeel	
	gedoofd	
	geluidssignaal voor visueel gehandicapten (groen)	
	seinpaal	
	boogpaal 3,5 m	
	boogpaal 7,5 m	
	galgpaal	
	portaal	
	lantaarn Ø 300 voor voertuigen	
	lantaarn Ø 200 voor voertuigen	
	lantaarn Ø 200 voor voertuigen met herhalingslicht Ø 100 op ooghoogte	
	voetgangerslicht	
	lantaarn Ø 200 voor fietsers	
	lantaarn Ø 200 voor fietsers met herhalingslicht Ø 100 op ooghoogte	
	drukknop voor voetgangers, fietsers en andere	
	prefab verkeerseilandje	
	radar	
	lus voor voertuigen	
	lus met verhoogde gevoeligheid voor motorrijders	
	richtingsgevoelige lus	
	detector voor stilstaande voertuigen (filedetectie)	
	videodetectie	
	selectieve in- en uitmeldlus (openbaar vervoer)	
	trambeïnvloeding d.m.v. wisselcontact	
	trambeïnvloeding d.m.v. inductieve lus	
	lus rood-licht camera	
	rood-licht camera	
	fietsoversteek uit voorrang	
		} cyclus

Figuur 32 Huidige legenda van een V-plan

2.5.2 Naamgeving en nummering van de symbolen op een V-plan

2.5.2.1 Naamgeving/codering verkeersstromen en -lichten

Bij de aanvraag voor een nieuw V-plan of een grondige wijziging zit een grondplan bijgevoegd. Om de opmaak van een verkeerslichtenregeling te vergemakkelijken worden de verschillende takken van een kruispunt benoemd met een letter.

Indien een nieuwe naamgeving aan de takken wordt gegeven moet dit als volgt gebeuren:

- A en C zijn de takken van de weg met het laagste nummer (R-wegen < N-wegen < Andere wegen), waarbij A de tak met het laagste kilometerpunt is, dus meestal het dichtst bij Brussel;
- De oplopende volgorde A-B-C-D loopt tegen de klok in;
- De nummering van de bypass is altijd dezelfde als die van de tak waaruit deze vertrekt, bv.: loopt de bypass van tak A naar tak B, dan krijgt de bypass de benaming A.
- Bij deelskruispunten:
 - A, B, C, D voor deelskruispunt 1
 - K, L, M, N voor deelskruispunt 2
 - P, Q, R, S voor deelskruispunt 3
 - V, W, X, Y voor deelskruispunt 4

De volgorde van nummering/naamgeving moet enkel op deze manier toegepast worden indien de wijzigingen aan het V-plan t.o.v. de huidige situatie voldoende groot zijn om dit te verantwoorden.

Een deel van de V-plannen werd nog op de oude manier opgesteld. Voor de aanpassing van de oude V-plannen gelden volgende regels:

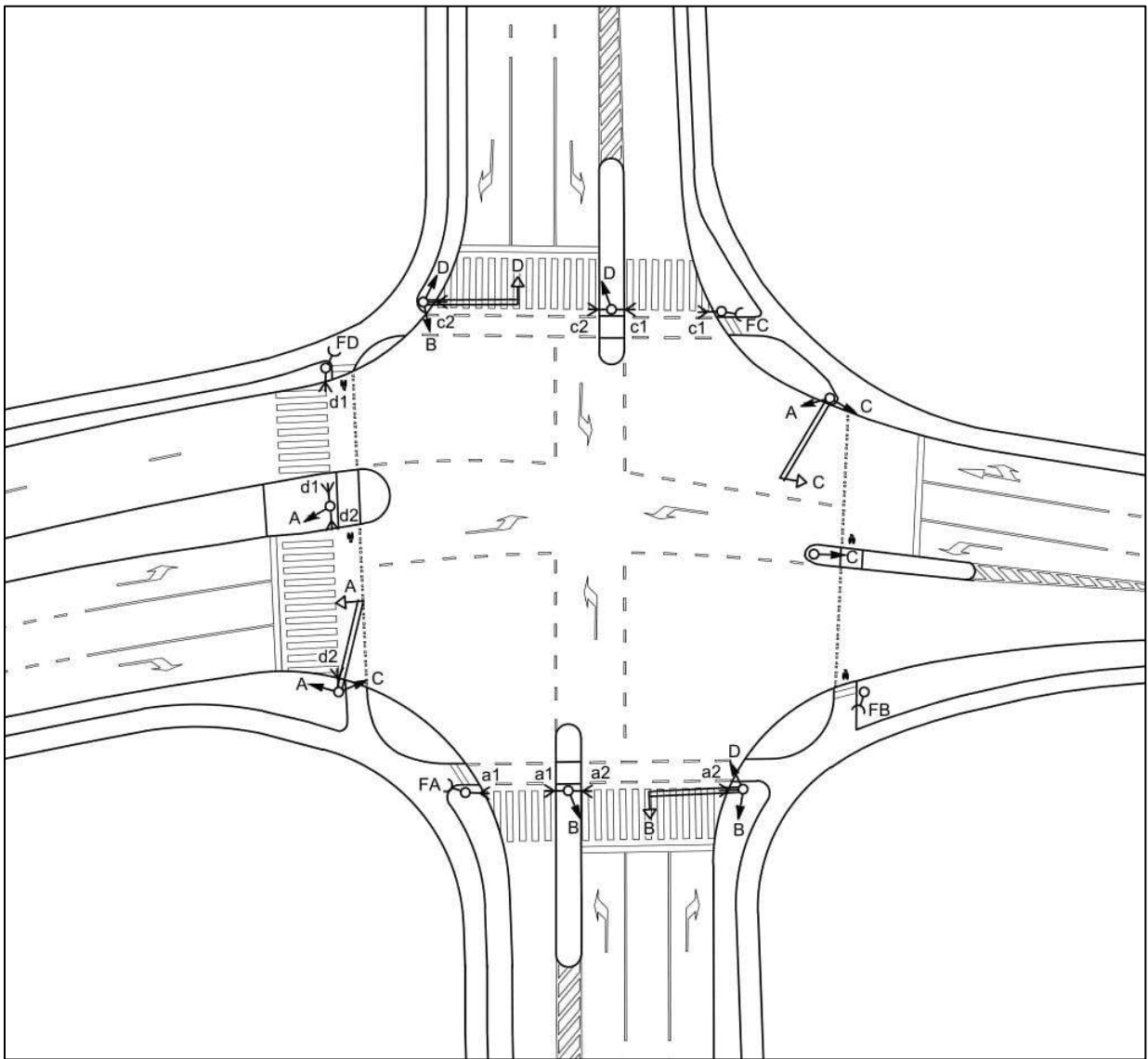
- Wanneer er enkel en alleen een aanpassing is aan de cyclustijden/groentijden, dan hoeft de gebruikte codering en symboliek niet te veranderen.
- Wanneer er een belangrijke wijziging is in de seingroepen (bv. er komen één of meerdere seingroepen bij), dan wordt de benaming aangepast.
- Bij een belangrijke heraanleg of herinrichting van het kruispunt (dus meer dan bijvoorbeeld enkel een paal bijplaatsen) wordt de benaming aangepast.

Indien een nieuwe naamgeving aan de takken wordt gegeven moet dit als volgt gebeuren:

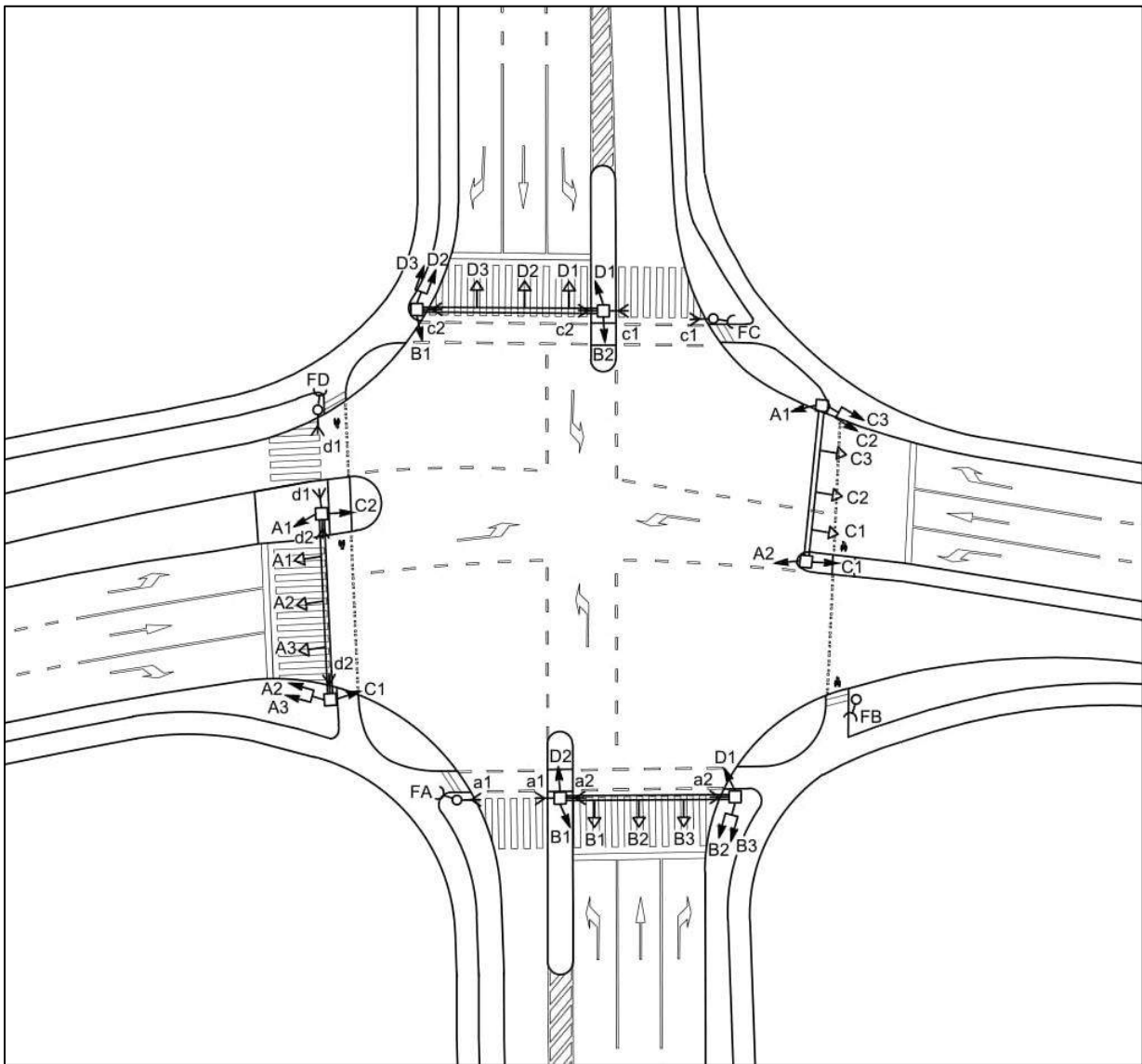
- voertuigen: (A, B, C, D);
- fietsers: (FA, FB, FC, FD);
- voetgangers: (a, b, c, d), hulpsignalen voor voetgangers met een visuele beperking (Ha, Hb, Hc, Hd) ;
- Opeenvolgende voetgangers- en fietserslichten worden eventueel genummerd volgens de richting van de overstekende verkeersstroom, bijvoorbeeld a1 en a2, parallel aan verkeersstroom A;
- trams/bussen (indien afzonderlijk geregeld: TA, TB, TC, TD)
- A (zonder index-nr) = volle lens
- A1 = pijllicht linksaf,
- A2 = pijllicht rechtdoor,
- A3 = pijllicht rechtsaf,
- A23 = gecombineerd pijllicht rechtdoor + rechtsaf (d.w.z. één lens met twee pijlen)

Overige verkeerslichten:

- A0 = ontruimingspijl aan de uitgang van een kruispunt voor de linksaf van A
- A + A3 = volle lens met voorlooppijl rechtsaf
- A2 , A3 = twee driekleurige pijllichten voor rechtdoorgaande en rechts afslaan richting, grafisch weergegeven door een zgn. "kandelaar" (zie Figuur 34)
- KnA = knipperlicht



Figuur 33 Standaard-naamgeving bij een kruispunt zonder driekleurige pijllichten



Figuur 34 Standaard-naamgeving bij een kruispunt met driekleurige pijllichten

2.5.2.2 Naamgeving/codering detectoren

Op het grondplan zullen zich ook de detectoren bevinden die gebruikt worden om een voertuigafhankelijke regeling aan te sturen.

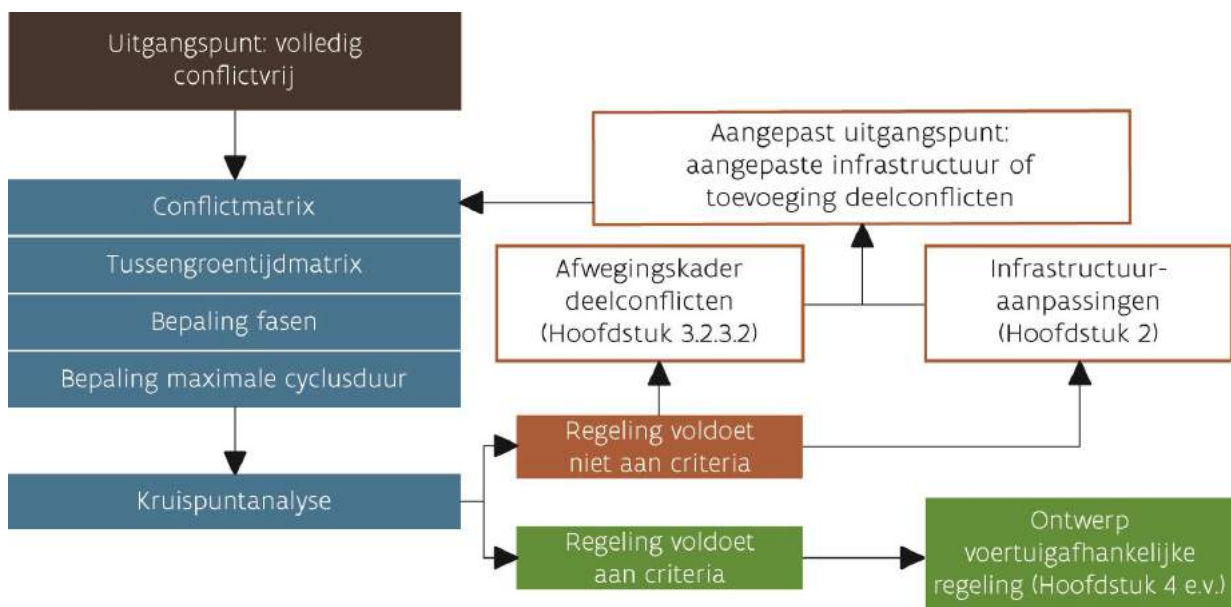
De naamgeving van deze detectoren wordt besproken verderop in dit handboek in hoofdstuk 5.

3 Het ontwerp van de basisregeling en de kruispuntanalyse: een iteratief proces

Na de opmaak van het kruispuntontwerp, kan men overgaan tot het ontwerp van de verkeerslichtenregeling. Voorafgaand aan het ontwerpen van een volledig voertuigafhankelijke regeling kan er op basis van een kruispuntanalyse reeds vastgesteld worden of het te regelen kruispunt voldoende capaciteit heeft om het aangeboden verkeer te verwerken rekening houdende met de voorwaarden en doelstellingen qua veiligheid, doorstroming, etc.

Om een kruispuntanalyse te doen dient er eerst een optimale “starre” regeling (vanaf nu de “basisregeling” genoemd) opgemaakt te worden.

In dit hoofdstuk worden de verschillende stappen beschreven die tot de opmaak van de optimale basisregeling leiden. In onderstaand schema (Figuur 35) is het proces om tot deze regeling te komen beschreven. Op de volgende pagina worden alle elementen uit de schema kort besproken.



Figuur 35 Iteratief proces van de opmaak van de basisregeling

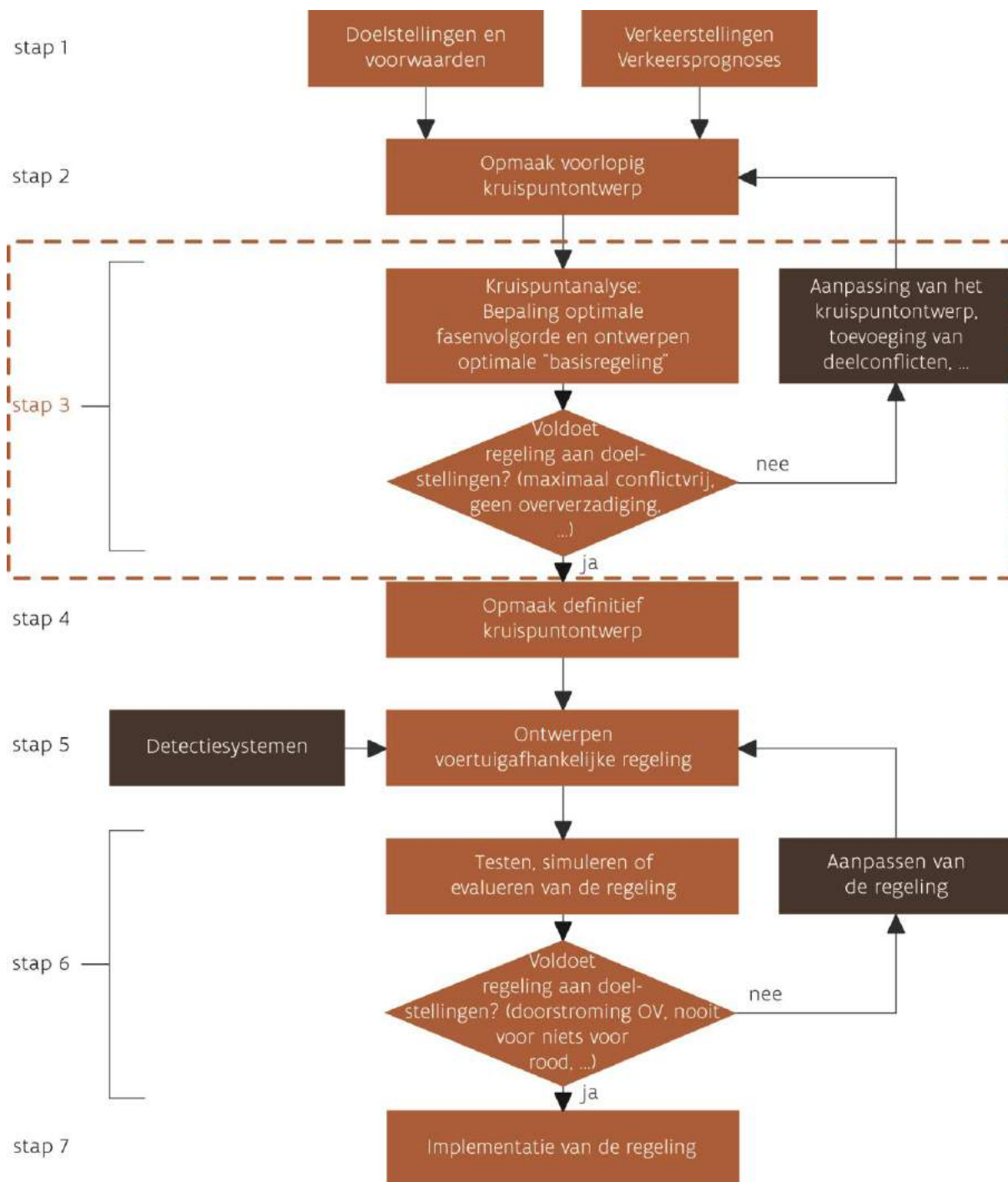
Hieronder een kort overzicht van het proces dat wordt beschreven in het schema:

- **Uitgangspunt: volledig conflictvrij:** Het uitgangspunt bij het ontwerpen van een kruispunt is steeds een volledig conflictvrije regeling.
- **Conflictmatrix:** De weergave van alle conflicten die door de verkeerslichten geregeld zullen worden.
Tussengroentijdmatrix: De berekening van de benodigde “tussengroentijd” tussen het groen van verschillende richtingen waarvan het conflict geregeld wordt.
- **Bepaling fasen en bepaling maximale cyclusduur:** Na de bepaling van de conflictmatrix en de berekening van de tussengroentijdmatrix, worden het aantal fasen en de standaardvolgorde van de fasen bepaald. Daarnaast dienen ook de overgangen tussen de verschillende fasen berekend te worden. Als dit gebeurd is, kan er een optimale en maximale cyclusduur voor de basisregeling en voor iedere fase een optimale groentijd berekend worden. Dit dient te gebeuren voor één of meerdere maatgevende periodes (bv. ochtendspits en avondspits). Als resultaat hiervan wordt er een fasediagram opgemaakt om aan te geven welke seinen in welke fase groen worden.

Het resultaat van deze stappen is een eerste zgn. “basisregeling” die volledig conflictvrij is. De “basisregeling” is in de praktijk een cyclus waarbij alle signaalgroepen een vaste volgorde en een vaste groentijd hebben. In deze regeling worden dus alle fasen effectief achtereenvolgens doorlopen met hun vaste groentijd.

- **Kruispuntanalyse:** De volgende stap is de kruispuntanalyse: een analytische evaluatie of een beoordeling van de basisregeling:
 - Er wordt bekeken of de regeling aan de voorwaarden voldoet qua verkeersafwikkeling voor iedere rijrichting
 - Er wordt bekeken of het kruispuntontwerp geschikt is voor de voorgestelde basisregeling.
- **Regeling voldoet niet aan criteria:** Indien de regeling niet voldoet aan de gestelde criteria in de kruispuntanalyse, dient er een nieuwe iteratie gestart te worden om ofwel het kruispuntontwerp te verbeteren (**Infrastructuuraanpassing, hoofdstuk 2**), ofwel deelconflicten (d.w.z. secundaire conflicten) toe te voegen (met behulp van het **Afwegingskader deelconflicten (hoofdstuk 3.2.3.2)**).
- **Regeling voldoet aan criteria:** Indien het antwoord op de bovenstaande vragen positief is, kan de regeling worden beschouwd als de “optimale basisregeling”. Indien de optimale basisregeling gekend is voor alle maatgevende periodes, kan er overgegaan worden naar hoofdstuk 4 om deze regeling te gaan verfijnen tot een voertuigafhankelijke regeling.

Het resultaat van iedere iteratie is een **aangepast uitgangspunt**, wat vervolgens opnieuw het proces doorloopt vanaf het begin tot en met de kruispuntanalyse. Wanneer men na een iteratie de optimale basisregeling bereikt, kan men overgaan naar hoofdstuk 4 om deze regeling te gaan verfijnen tot een voertuigafhankelijke regeling.



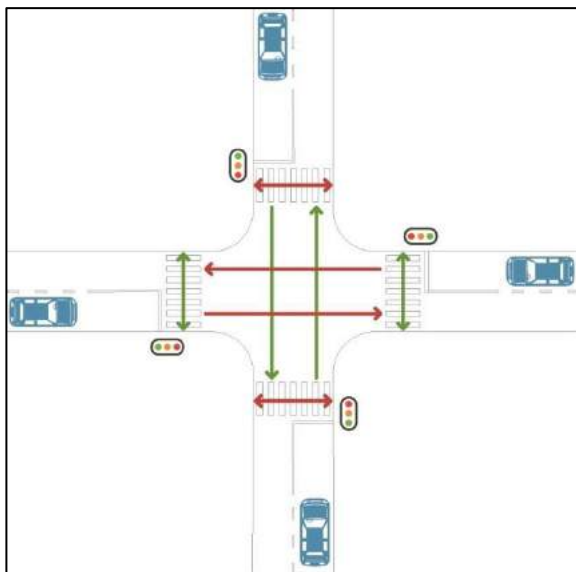
Figuur 36 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 3)

3.1 De basisregeling: de eerste iteratie

3.1.1 Conflictmatrix

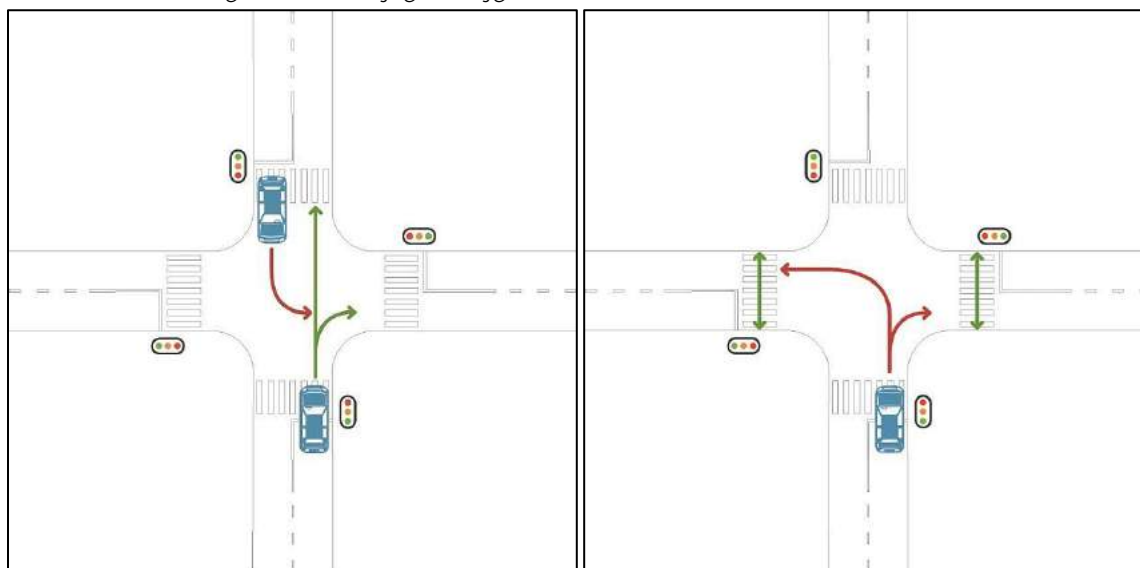
Op een kruispunt snijden verkeersstromen elkaar. Om dit in goede banen te leiden zijn verkeerslichten en hun regelingen ontworpen. Om een verkeerslichtenregeling te ontwerpen wordt eerst bepaald welke conflicten door de lichten geregeld worden. De overige conflicten worden geregeld door voorrangsregels: bij het afslaan en het keren moet voorrang worden verleend.

- **Primaire** (of snijdende) conflicten worden altijd door de lichten geregeld en hebben dus nooit samen groen of oranjegeel.



Figuur 37 Primaire (snijdende) conflicten

- **Secundaire** conflicten (bv. links of rechts afslaande voertuigen en voetgangers) mogen door lichten geregeld worden, maar dit is niet strikt noodzakelijk volgens het verkeersreglement. Deze bewegingen kunnen dus samen groen of oranjegeel krijgen.

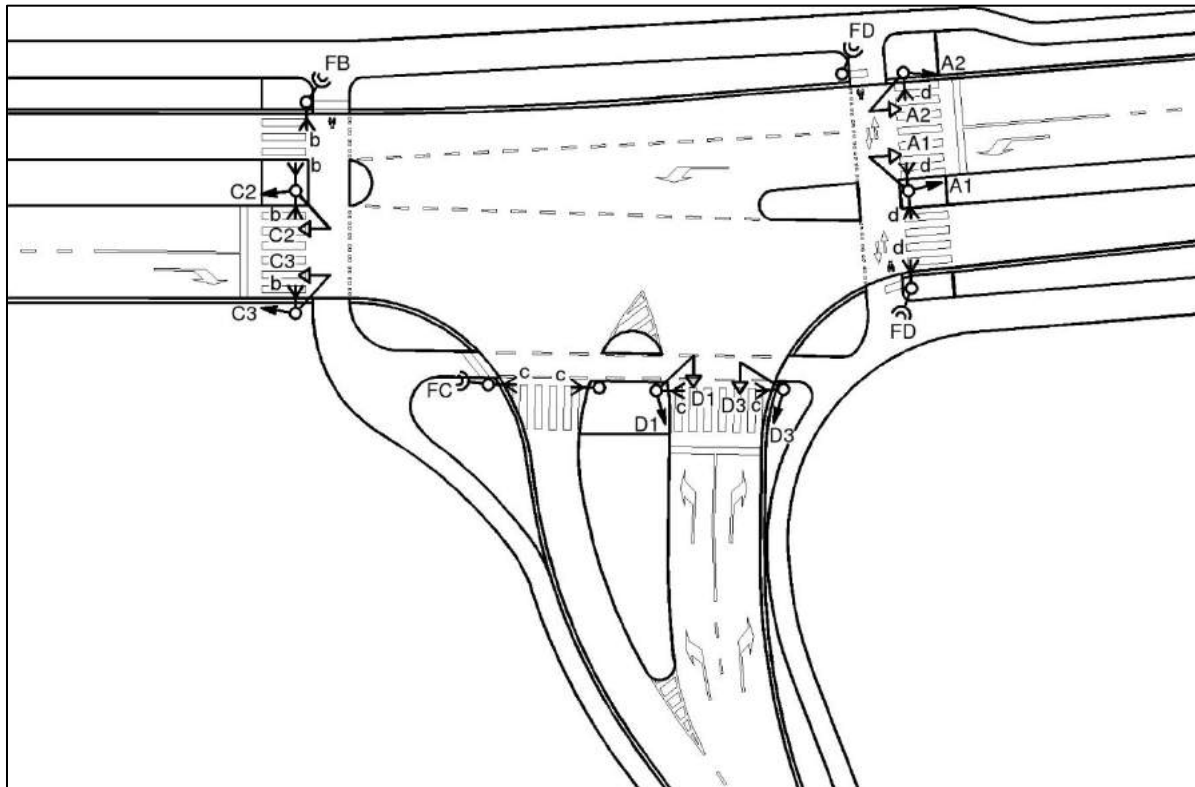


Figuur 38 Voorbeelden van secundaire conflicten

Aangezien het uitgangspunt “volledig conflictvrij” is in de eerste iteratie, worden ook secundaire deelconflicten in eerste instantie door de verkeerslichten geregeld.

Er kan dan een “conflictmatrix” opgesteld worden en hierin kunnen de lichtengeregelde conflicten als kruisjes worden weergegeven. De kruisjes in de matrix betekenen dat er een conflict is tussen 2 richtingen dat geregeld moet worden. Deze matrix is symmetrisch t.o.v. de diagonaal.

Figuur 39 toont een voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix.



	A1	A2	C2	C3	D1	D3	FB	FC	FD	b	c	d
A1			X	X	X			X	X		X	X
A2					X		X		X	X		X
C2	X				X	X	X		X	X		X
C3	X						X	X		X	X	
D1	X	X	X				X	X		X	X	
D3			X					X	X		X	X
FB		X	X	X	X							
FC	X			X	X	X						
FD	X	X	X			X						
b		X	X	X	X							
c	X			X	X	X						
d	X	X	X			X						

Figuur 39 Voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix

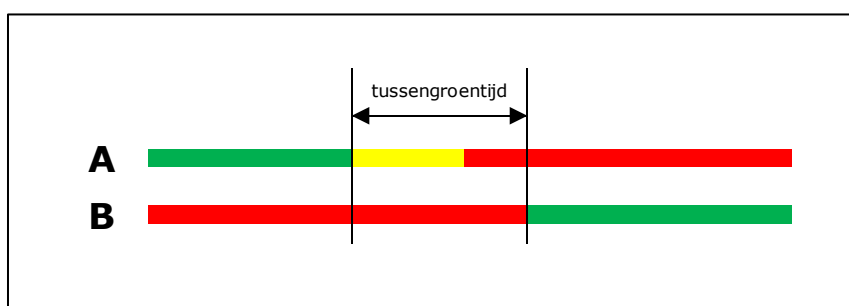
Enkele opmerkingen bij dit voorbeeld:

- Voor richting A2 geldt dat C2, C3, D1, FB, FD, b en d als conflicterende richtingen worden beschouwd.
- Richtingen C2 en D1 hebben hier bijvoorbeeld een "primaire" conflict, waardoor het niet is toegestaan dat deze richtingen tegelijkertijd groen hebben. In de matrix staat dit bijgevolg ook aangeduid met een kruisje.
- Fietsers- en voetgangersrichtingen onderling worden niet als te regelen conflicten beschouwd.

In volgende iteraties is het mogelijk dat er secundaire deelconflicten toegelaten worden. Wanneer twee secundair conflicterende richtingen tegelijk groen hebben, spreken we van een "deelconflict". Daarbij is er steeds een voorrangsplichtige (afslaande) en een voorrangsgerechtigde (rechtdoorgaande) richting. Het toevoegen van deelconflicten wordt behandeld in Hoofdstuk 3.2.3.2.

3.1.2 Tussengroentijdmatrix

Om de veiligheid op kruispunten te garanderen is er om veiligheidsredenen een bepaalde tijd voorzien tussen de groenfasen van twee conflicterende richtingen, de "tussengroentijd".



Figuur 40 Voorbeeld van de tussengroentijd tussen seingroep A en seingroep B

Aan de hand van de conflictmatrix en het grondplan kan een tussengroentijdmatrix worden opgesteld. In deze tussengroentijdmatrix worden voor alle te regelen conflicten het aantal seconden ingevuld dat nodig is tussen twee groenfasen van verschillende signaalgroepen om de veiligheid te waarborgen.

3.1.2.1 Berekening van de tussengroentijd

De basisformule voor de berekening van de tussengroentijd is de volgende:

$$t_{tg} = \text{maximum van } (t_{af} - t_{op}) \text{ en } (t_{gl})^1$$

(afgerond naar boven vanaf $n,3$)²

Hierin is:

t_{tg} : minimale tussengroentijd

t_{af} : maximale afrijtijd

t_{op} : minimale oprijtijd

t_{gl} : oranjegeeltijd

¹Toelichting:

Als algemene regel wordt bepaald dat de tussengroentijd minstens gelijk moet zijn aan de oranjegeeltijd.

²Toelichting:

Omdat de vaste tijden tot op heden in gehele seconden worden uitgedrukt en ingesteld, moet er worden afgerond. Voor de veiligheid wordt bijvoorbeeld 4,3 s afgerond naar 5 s tussengroentijd. 4,2 wordt wel afgerond naar 4 s.

Om deze tussengroentijd te berekenen, dienen dus:

- 1) de oranjegeeltijd berekend of bepaald te worden (zie 3.1.2.2);
- 2) de maximale afrijtijden (zie 3.1.2.3) en minimale oprijtijden (zie 3.1.2.4) berekend te worden voor iedere beweging op het kruispunt. Om deze af- en oprijtijden te bepalen dienen eerst de af- en oprijafstanden worden bepaald aan de hand van het kruispuntontwerp, waarop deze gemeten kunnen worden. Op de tekening dienen de conflictpunten of conflictvlakken van alle onderlinge conflicten uit de conflictmatrix bepaald te worden.

3.1.2.2 Oranjegeeltijd (t_{gr})

De definitie van de oranjegeeltijd luidt als volgt:

De oranjegeeltijd is de tijd tussen het groen en het rood van eenzelfde seingroep. Het voorbijrijden van de lichten is dan toegestaan indien er niet meer veilig gestopt kan worden. Het kondigt de overgang naar het rood aan.

Ook al zijn er berekeningswijzen voor de specifieke oranjegeeltijd voor een situatie, toch wordt er in Vlaanderen uitgegaan van standaardwaarden naargelang de geldende snelheidslimiet of type beweging. Dit wordt gedaan om uniformiteit te garanderen, omdat anders mogelijk een andere oranjegeeltijd zou kunnen gelden voor verschillende kruispunten binnen eenzelfde snelheidsregime, wat de voorspelbaarheid in het gedrag brengt.

Algemeen worden volgende (minimum)oranjegeeltijden voorzien:

Oranjegeeltijd	Toepassing
3 seconden	<ul style="list-style-type: none">• Gemotoriseerd verkeer ≤ 50 km/h en links en rechts afslaande bewegingen van gemotoriseerd verkeer• Fietzers en bromfietzers
4 seconden	<ul style="list-style-type: none">• Rechtdoorgaand gemotoriseerd verkeer (70 km/h)• Trams (linksaf, rechtdoorgaand en rechtsaf) bij < 90 km/h
5 seconden	<ul style="list-style-type: none">• Rechtdoorgaand gemotoriseerd verkeer (90 km/h)• Rechtdoorgaande trams bij 90 km/h

Tabel 3 Oranjegeeltijden

De maximale snelheid waarmee rekening gehouden moet worden bij verkeerslichten is 90 km/h. Wanneer een verkeerslichtengeregeld kruispunt zich bevindt op een weg waar 120 km/h de geldende maximumsnelheid is, dient deze afgebouwd te worden naar 90 km/h ter hoogte van het kruispunt (volgens de beslissing van de AVVG van 16 februari 2005, zie bijlage). En niet enkel ter hoogte van het kruispunt: die maximumsnelheid moet al vanaf ruim 100 m voor de stopstreep worden gerespecteerd en gehandhaafd om roodlichtnegatie en ongevallen te vermijden.

Daarnaast zijn er nog enkele aanvullende richtlijnen betreffende de oranjegeeltijd:

- Wanneer het verkeerslicht volgens het regime knipperend-oranjegeel – oranjegeel – rood werkt, is een vaste oranjegeeltijd van 5 tot 7 s (2 seconden extra bovenop de “normale” oranjegeeltijd) verplicht (volgens art 5.2. van het Reglement voor de wegbeheerder).
- Wanneer het wegprofiel duidelijk in dalende lijn verloopt (zoals bij een brug of afrit), kan het aangewezen zijn een extra seconde oranjegeeltijd te voorzien ter compensatie van het remgedrag van de voertuigen die een helling naar beneden afrijden.

In het Reglement voor de wegbeheerder is daarnaast het volgende bepaald:

Het oranjegele licht dat volgt op het groene, moet gedurende ongeveer 3 tot 5 seconden blijven branden.

De wetgever lijkt dus te hebben bepaald dat bij 90 km/h een oranjegeeltijd van 5 s voldoende moet zijn om niet door rood te hoeven rijden als men net niet veilig meer kan stoppen. Een auto begint niet direct te vertragen bij begin oranjegeel: gedurende een korte reactietijd blijft een auto met constante snelheid doorrijden. Volgens de literatuur (Onderzoek geeltijden, IVER, 2016) bedraagt de reactietijd 0,75 seconde bij *verwachte* 'stimuli' en 1,35 seconde bij *onverwachte* stimuli. In dit Nederlands onderzoek koos men er in 2016 voor om de oranjegeeltijden voortaan te berekenen met een reactietijd van 1,0 s en een comfortabele afremvertraging van 2,8 m/s². Zouden we die waarden echter ook in België toepassen, dan zou de oranjegeeltijd bij 90 km/h komen te liggen op:

$$\text{Oranjegeeltijd}(90, \text{NL}) = \text{Reactietijd} + \text{Maximumsnelheid} / (2 * \text{Afremvertraging}) = 1,0 + (90 / 3,6) / (2 * 2,8) = 5,46 \text{ s}$$

En bij 50 km/h:

$$\text{Oranjegeeltijd}(50, \text{NL}) = 3,48 \text{ s}$$

De Belgische wetgeving bepaalt echter dat het oranjegele licht "ongeveer 3 tot 5 seconden" moet branden. Bovendien kunnen vanuit de meeste verkeersregelcomputers in Vlaanderen enkel een geheel aantal seconden oranjegeeltijd geven. Dus ofwel verhogen we in Vlaanderen alle oranjegeeltijden met een seconde (4 tot 6 seconden), ofwel concluderen we dat we in Vlaanderen volstaan met een oranjegeeltijd die een halve seconde korter is dan in Nederland. Het team Verkeersplannen van VWT heeft voor het laatste gekozen. Daaruit volgt dat we met een reactietijd van 0,75 s en een afremvertraging van 3,0 m/s² rekenen.

Bijkomende bedenkingen over de bepaling van de oranjegeeltijd

Het nodeloos verhogen van de oranjegeeltijd heeft meer nadelen dan enkel een stijgende verliestijd. Buitenlandse studies (LOHVRA) hebben aangetoond dat het verder verlengen van de oranjetijd het gevaar op kop-staart-aanrijdingen verhoogt, aangezien snellere (en ook zwaardere) voertuigen zullen doorrijden en sommige tragere voertuigen zullen stoppen.

Dit heeft onder meer te maken met de dilemmazone van de bestuurders in kwestie. De dilemmazone is de afstand die een voertuig overbrugt waarin een bestuurder bij beginnend oranjegeel kan twijfelen of hij zal stoppen of doorrijden bij de maximum snelheid. De grootte van die dilemmazone hangt af van onder meer:

- de (verwachte) duur van de oranjegeeltijd
- de snelheid
- de maximale remvertraging
- de eigenschappen van de bestuurder

Indien de snelheid hoog wordt gehouden ter hoogte van een kruispunt (bv. 90 km/h) of de oranjegeeltijd wordt langer gehouden dan nodig is, zal deze zone groter worden. Hoe groter deze zone, hoe meer bestuurders tegelijk moeten beslissen of ze al dan niet stoppen voor het oranjegele sein. De dilemmazone bevat een veiligheidsrisico in die zin dat hoe groter de kans dat een bestuurder besluit niet te remmen en zijn voorligger wel, hoe groter de kans op kop-staart aanrijdingen.

3.1.2.3 Bepaling maximale afrijtijd (t_{af})

Voor de maximale afrijtijd is bij kleine afrijafstanden een snel voertuig met de maximumsnelheid maatgevend; bij grote afrijafstand een traag voertuig zoals een tractor. Om te bepalen welk type voertuig maatgevend is voor de afrijtijd, gegeven de afrijafstand gebruiken we volgende formule:

$$t_{af} = \text{maximum van } (t_{af,\text{snel voertuig}}) \text{ en } (t_{af,\text{traag voertuig}})$$

De afrijtijden voor een snel voertuig en een traag voertuig dienen hiervoor dus bepaald te worden. De methode van het berekenen van deze afrijtijden op de Vlaamse manier is als volgt:

$$t_{af,\text{snel voertuig}} = t_{R,\text{snel voertuig}} + t_{s,\text{snel voertuig}} + \frac{(d_{af,\text{snel voertuig}} + l_{af,\text{snel voertuig}})}{v_{\text{max}}}$$

$$t_{af,\text{traag voertuig}} = t_{R,\text{traag voertuig}} + t_{s,\text{traag voertuig}} + \frac{(d_{af,\text{traag voertuig}} + l_{af,\text{traag voertuig}})}{v_{af}}$$

Hierin is:

t_{af} : de afrijtijd

t_R : reactietijd

t_s : tijd tot stopstreep

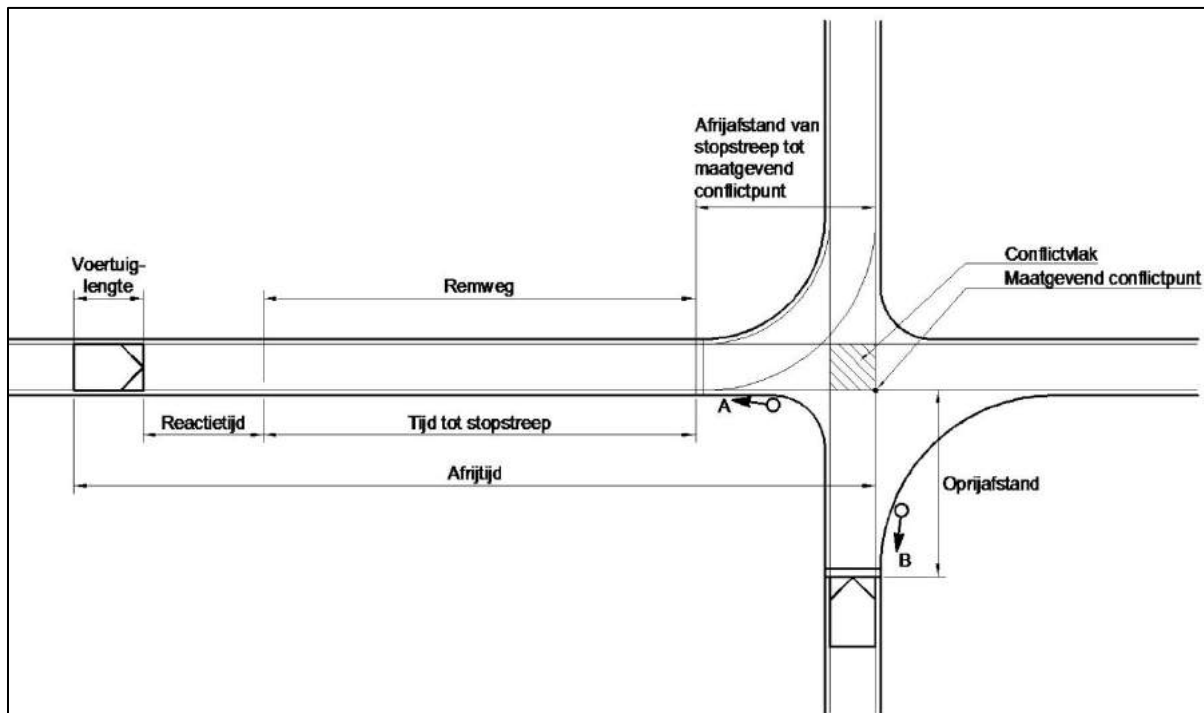
d_{af} : de afrijafstand van de stopstreep tot voorbij het conflictvlak

l_{af} : de lengte van het afrijdende voertuig

v_{max} : de maximumsnelheid

v_{af} : de minimale afrijnsnelheid

Ter verduidelijking worden in de onderstaande Figuur 41 de elementen van deze berekening visueel voorgesteld.



Figuur 41 Grondplan met aanduiding van de verschillende elementen in de berekening van de maximale afrijtijd en minimale oprijtijd

De onderdelen in deze formules kunnen als volgt ingevuld worden:

t_R (reactietijd)

Voor het snelle voertuig veronderstellen we dat het snelle voertuig na het oranjegeel worden gedurende de reactietijd van $t_{R,snel\ voertuig} = 0,75$ s blijft doorrijden tot het 'beslispunt' met de maximumsnelheid en dan begint te remmen of beslist door te rijden. Als hij beslist om door te rijden, dan rijdt hij eerst tot de stopstreep en legt hij vervolgens de afrijafstand (d_{af}) af met de maximumsnelheid (v_{max}). Een maatgevend traag voertuig kan een motorvoertuig zijn: dan veronderstellen we eveneens $t_{R,traag\ voertuig} = 0,75$ s. Maar als er fietsers meerijden met het gemotoriseerd verkeer zonder een apart fietserslicht, dan zijn die maatgevend en veronderstellen we $t_{R,traag\ voertuig} = 0$ s.

t_s (tijd tot stopstreep)

t_s behelst de tijd van het beslispunt tot de stopstreep. Deze kunnen we berekenen aan de hand van de volgende formule:

$$t_{s,snel\ voertuig} = \frac{v_{max}}{2 * \text{remvertraging}}$$

$$t_{s,traag\ voertuig} = \frac{v_{ont}}{2 * \text{remvertraging}}$$

Enige verduidelijking bij deze formules:

- Als remvertraging wordt in Vlaanderen $3,0 \text{ m/s}^2$ aangehouden, omdat dit impliciet volgt uit de wettelijk vastgestelde oranjegeeltijden van 3 tot 5 s.
- De maatgevende afstand tussen beslispunt en stopstreep is de remweg (l_s). Voor een snel voertuig is dit bijvoorbeeld:

$$l_{s,snel\ voertuig} = \frac{(v_{max})^2}{2 * \text{remvertraging}}$$

- Om te berekenen in hoeveel tijd die afstand wordt afgelegd wanneer NIET wordt gestopt, moet die afstand door de maximumsnelheid gedeeld worden.

$$t_{s,snel\ voertuig} = \frac{l_{s,snel\ voertuig}}{v_{max}}$$

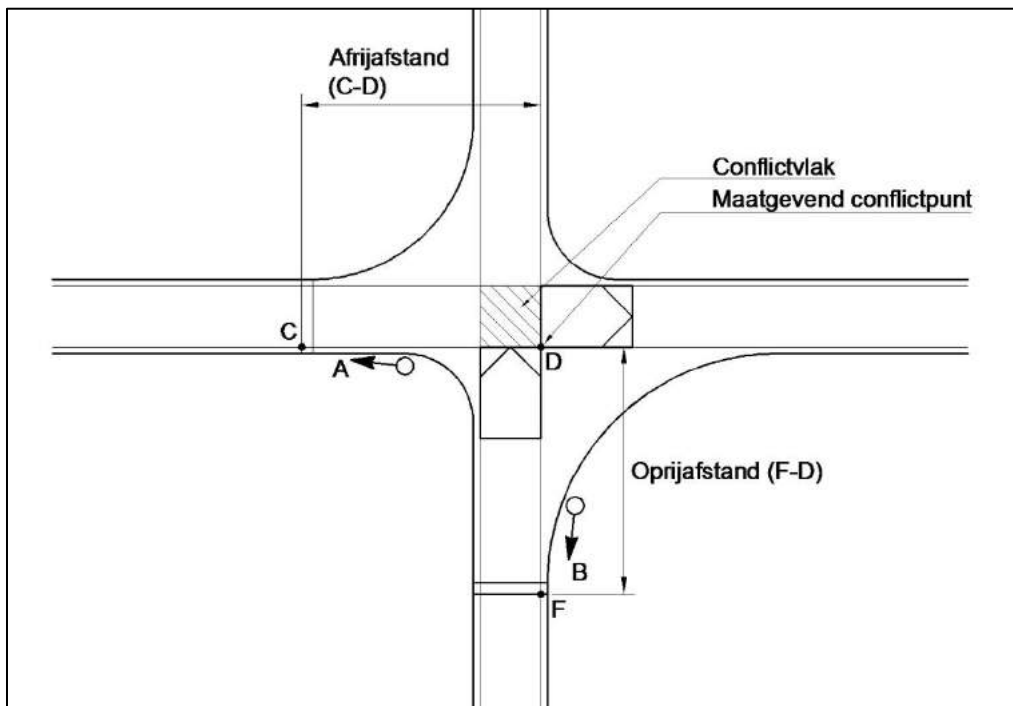
- Voor de remvertraging van trams blijkt uit praktijktesten dat $1,2 \text{ m/s}^2$ een realistische waarde is. In het verleden werd echter steeds de remvertraging van voertuigen ook gebruikt voor trams. In dit handboek bepalen we dat $1,2 \text{ m/s}^2$ de voorkeur geniet voor de berekeningen bij nieuwe lichtenregelingen. Dit betekent echter geen verplichting; ook oudere lichtenregelingen dienen hier niet specifiek voor worden aangepast. In de praktijk zal de tram reeds het sein voorbijgereden zijn dankzij de verkeerslichtenbeïnvloeding door openbaar vervoer aan het einde van de groenfase, waardoor de lengte van de tussengroentijd slechts in uitzonderlijke gevallen bepalend is.

d_{af} (de afrijafstand van de stopstreep tot voorbij het conflictvlak)

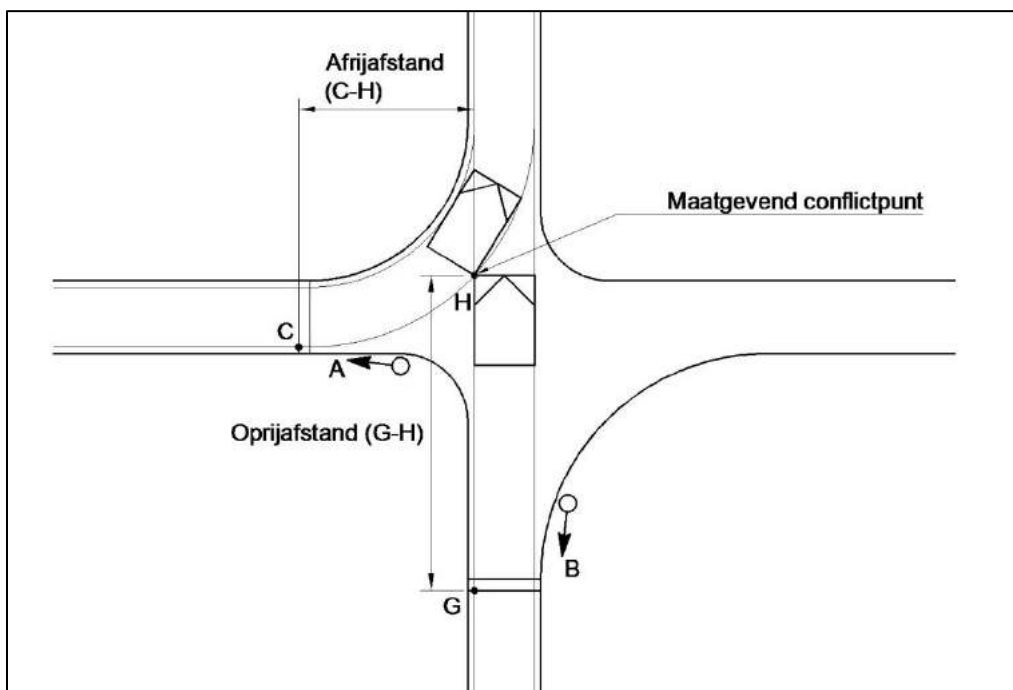
Deze afstand dient opgemeten te worden op het grondplan.

Figuur 42 en Figuur 43 bevatten twee verschillende soorten conflicten waarvoor de afrijafstand kan opgemeten worden:

- Figuur 42 is een conflict tussen twee snijdende verkeersstromen (A rechtdoor en B rechtdoor): hiervoor is de afrijafstand de afstand tussen punten C en D.
- Figuur 43 is een conflict tussen twee samenvoegende verkeersstromen (A linksaf en B rechtdoor): hiervoor is de afrijafstand de afstand tussen punten C en H.



Figuur 42 Afrijafstand en oprijafstand bij kruisende verkeersstromen



Figuur 43 Afrijafstand en oprijafstand bij samenvoegende verkeersstromen

I_{af} (de lengte van het afrijdende voertuig)

De voertuiglengte wordt in rekening gebracht omdat de voorzijde van het voertuig gerelateerd wordt aan de stopstreep, maar bij het afrijden de achterzijde van het voertuig gerelateerd wordt aan het einde van het conflictvlak. Voor I_{af} wordt voor motorvoertuigen een standaard waarde van 6 m genomen. Maar als er fietsers meerijden met het gemotoriseerd verkeer zonder een apart fietserslicht, dan zijn die het maatgevend traag voertuig en veronderstellen we $I_{af, \text{traag voertuig}} = 2$ m.

De lengte van trams is afwijkend t.o.v. gewone voertuigen. Voor trams wordt echter als standaardwaarde ook 6 m genomen (zoals voor motorvoertuigen). Er wordt van uitgegaan dat als de eerste 6 m van de tram het conflictvlak veilig gepasseerd is, de andere weggebruikers die tram niet meer over het hoofd zien en er

niet tegenaan rijden (Voor lange voertuigen zoals vrachtwagens geldt ongeveer hetzelfde). Er kan voor gekozen worden om de te gebruiken lengte te bepalen aan de hand van de maatgevende tram. Dit betekent echter in veel gevallen een onnodig grote verlenging van de tussengroentijd en de verliestijden.

v_{\max} (de maximumsnelheid)

Voor het snelle voertuig is dit de maatgevende ontruimingssnelheid. Dit is de geldende maximumsnelheid voor de beweging waarvan de maximale afrijtijd berekend wordt, of 36 km/h als het een afslaande beweging betreft. Snelheden worden uitgedrukt in m/s, dus gedeeld door 3,6.

v_{af} (de minimale afrijnsnelheid)

Gemotoriseerd verkeer

Voor het trage voertuig is de maatgevende of minimale afrijnsnelheid (v_{af}) 10 m/s. Maar er wordt uitgegaan van 5 m/s als er ook fietsers door die signaalgroep geregeld worden. Fietsers komen in een volgende paragraaf uitgebreider aan bod.

De meest veilige/conservatieve berekening van de maximale afrijtijd (t_{af}) is wanneer er rekening gehouden wordt met een afrijdend voertuig dat 10 m/s rijdt en de stopstreep passeert net op het moment dat de overgang van oranjegeel naar rood plaatsvindt.

In sommige gevallen kan er nog een lagere ontruimingssnelheid worden gehanteerd:

- Voor afslagstroken, indien het bijvoorbeeld gaat om complexere afslagbewegingen (bv. 7 m/s of 8 m/s).
- Bij sommige kruispunten kan het voorvallen dat er vaak moet ontruimd worden vanuit stilstand, bv. omwille van deelconflicten. Eventueel kan hiervoor de normale afrijtijd verhoogd worden door het laatste deel van de afrijtijd (vanaf het opstelpunt van een afslaande voertuig) te berekenen vanuit stilstand.

Trams

De afrijnsnelheid van trams worden berekend zoals bij gewone voertuigen. Bij voorkeur wordt bij bochtige tracés echter de afrijnsnelheid via praktijkonderzoek bijgesteld, aangezien de werkelijke afrijnsnelheid dan mogelijk veel trager is.

Fietsers

Voor de afrijnsnelheden van fietsers wordt meestal rekening gehouden met een relatief hoge fietssnelheid van 5 m/s (of 18 km/h) zoals voorzien in het Reglement van de wegbeheerder (Art. 3.4).

In de praktijk wordt er een onderscheid gemaakt tussen:

- Een fietsoversteek met eigen fietserslichten, waarbij de afrijtijd wordt berekend vanaf de eerste seconde rood. De afrijtijd kan soms verkort worden door een fietserslicht te plaatsen op de middenberm. Een belangrijke voorwaarde is echter dat er voldoende plek is voor de fietser om veilig te staan (zie Dienstorder MOW/AWV/2008/26). Dan zijn fietsers verplicht daar te stoppen en moet er voor de afrijtijd dus geen rekening meer gehouden worden met de rest van hun oversteek.;
- Bij gemengd verkeer, waarbij fietsers en motorvoertuigen hetzelfde sein moeten respecteren, wordt de afrijtijd berekend vanaf het begin van de oranjegeeltijd. De fietser moet zich in deze situatie baseren op het sein voor de auto's en op de stopstreep van de auto's of, indien aanwezig, de stopstreep van de fietsers (bv. bij een OFOS). Men mag veronderstellen dat een 'trage' fietser (5 m/s) zich zal realiseren dat de overkant van het kruispunt halen misschien moeilijk is en dat deze ten alle tijden zal proberen te stoppen bij oranjegeel. Voor deze (trage, ontruimende) fietsers veronderstellen we dan dat ze enkel in de eerste seconde oranjegeel over de stopstreep rijden. Dit verkort de uiteindelijke tussengroentijd met minstens 2 s.

Voetgangers

De voetgangers hebben geen oranjegeel sein, waardoor de volledige tussengroentijd een rood voetgangerssein getoond wordt.

De minimale afrijksnelheid (of ontruimingsnelheid in dit geval) bedraagt volgens artikel 4.1. van het reglement voor de wegbeheerder 1,2 m/s. Echter, in Vlaanderen wordt uit veiligheidsoverweging als richtlijn 1,0 m/s gehanteerd, maar dit kan op bijzondere plaatsen (zoals rusthuizen, ziekenhuizen,...) nog verder verlaagd worden naar 0,8 m/s. In een ministeriële omzendbrief van 20 september 1990 (zie hoofdstuk 8.1 Referentielijst) wordt bepaald dat "nieuwe installaties moeten ontworpen worden rekening houdend met een snelheid van 1 m/s".

Meer informatie over het bepalen van deze stapnelheid als ontruimingsnelheid is te vinden in een nota door de afdeling Verkeerskunde uit 1996 (zie hoofdstuk 8.1 Referentielijst).

Voor het berekenen van de ontruimingstijd/afstand (d_{af}) voor voetgangers is het handig om te weten dat zebrastrepen 50 cm breed zijn en de tussenafstand tussen de strepen ook 50 cm is. Men kan dus de strepen tellen om te achterhalen wat de ontruimingsafstand is.

Samenvattend worden voor de lengte van het voertuig en snelheid de volgende waarden gebruikt:

Voertuig	Lengte (l_{af})	Minimale afrijksnelheid of ontruimingsnelheid (v_{ont})
Gemotoriseerd verkeer en trams	6 m	10 m/s
Fietsers	2 m	5 m/s
Voetgangers	0 m	1,0 m/s Bijzondere situaties: 0,8 m/s

Tabel 4 Minimale afrijksnelheden (of ontruimingsnelheden)

3.1.2.4 Bepaling minimale oprijtijd (t_{op})

Voor de bepaling van de minimale oprijtijd wordt in Vlaanderen de berekening volgens Wilson (2014) gehanteerd. Deze berekening is gelijkaardig aan de afrijtijd maar iets complexer omdat er geen constante snelheid kan worden aangenomen. Een maatgevend voertuig zal bij de start van het groen beginnen optrekken tot hij zijn maximum snelheid heeft bereikt. Vanaf dit punt wordt er verder gereden met een constante (maximum) snelheid.

Wanneer de oprijafstand korter is dan de kritische afstand (dwz. de afstand waarop de maximum toegelaten snelheid is bereikt) dan wordt de linker formule gebruikt. In het andere geval wordt rechtse formule gebruikt.

$$\begin{array}{ll} d_{op} < d_{krit} & d_{op} > d_{krit} \\ d_{krit} = \frac{v_{max}^2}{2 \cdot (a_{op} - a_{af})} & t_{op} = \frac{d_{op}}{v_{max}} + \frac{v_{max}}{2 \cdot (a_{op} - a_{af})} \\ t_{op} = \sqrt{\frac{2 \cdot d_{op}}{a_{op} - a_{af}}} & \end{array}$$

Hierin is:

t_{op} : de oprijtijd (s)

d_{op} : de oprijafstand van de stopstreep tot aan het conflictvlak (m)

d_{krit} : de kritische afstand (m)

(de afstand waarop de maximum toegelaten snelheid is bereikt en er dus geen verdere versnelling

plaatsvindt)

a_{op} : de oprijversnelling van het oprijdende voertuig (m/s²)

a_{af} : de afremvertraging van het oprijdende voertuig (m/s²)

v_{max} : de maximaal toegelaten snelheid (m/s)

De onderdelen in deze formules kunnen als volgt ingevuld worden:

d_{op} = de oprijafstand van de stopstreep tot aan het maatgevende conflictpunt (m)

Deze afstand dient opgemeten te worden op het grondplan.

Figuur 42 en Figuur 43 bevatten twee verschillende soorten conflicten waarvoor de oprijafstand kan opgemeten worden:

- Figuur 42 is een conflict tussen twee snijdende verkeersstromen (A rechtdoor en B rechtdoor): hiervoor is de oprijafstand de afstand tussen punten F en D.
- Figuur 43 is een conflict tussen twee samenvoegende verkeersstromen (A linksaf en B rechtdoor): hiervoor is de oprijafstand de afstand tussen punten G en H.

a_{op} = de oprijversnelling van het oprijdende voertuig (m/s²)

a_{af} = de afremvertraging van het oprijdende voertuig (m/s²)

Bij gemotoriseerd verkeer worden voor a_{op} en a_{af} de volgende waarden gebruikt naargelang de situatie:

	Geen voorkennis	Voorkennis
Oprijversnelling (a_{op})	1,5 m/s ²	2 m/s ²
Afremvertraging (a_{af})	- 2 m/s ²	- 2 m/s ²

Tabel 5 Oprijversnelling en afremvertraging

Voor trams geldt hier als afremvertraging 1,2 m/s² als aanbeveling (zoals bij de berekening van t_s), niet als verplichting. De oprijversnelling is voor trams dezelfde als voor de voertuigen.

v_{max} = de maximaal toegelaten snelheid (m/s)

De volgende maximumsnelheden worden gehanteerd om de kritische oprijafstand (d_{krit}) te berekenen:

Voertuig	Maximumsnelheid (v_{max})
Gemotoriseerd verkeer	50 km/h: 13,9 m/s
	70 km/h: 19,4 m/s
	90 km/h: 25 m/s
Fietsers	11 m/s (40 km/h)
Voetganger	2 m/s (7,2 km/h)

Tabel 6 Maximumsnelheden ter berekening van de kritische oprijafstand

3.1.2.5 Tussengroentijdmatrix

Als alle minimale tussengroentijden berekend zijn, kan er met behulp van de conflictmatrix een tussengroentijdmatrix worden opgebouwd. Aan de hand van deze matrix is het eenvoudig om na te gaan wat de benodigde tussengroentijd is tussen twee bepaalde seingroepen. Deze tussengroentijdmatrix kan eveneens gebruikt worden als veiligheidscheck bij het implementeren van de regeling. Indien er een fout wordt gemaakt tegen deze matrix, betekent dit namelijk dat er mogelijk een veiligheidsprobleem optreedt en is er een fout in de geprogrammeerde regeling.

Een voorbeeld van een tussengroentijdmatrix is te vinden in onderstaande Figuur 44.

	A1	A2	C2	C3	D1	D3	FB	FC	FD	b	c	d
A1			5	5	4			5	4		5	6
A2					5		6		5	6		5
C2	6				5	6	5		6	5		6
C3	4						4	5		4	5	
D1	5	6	4				6	4		6	4	
D3			4					4	5		4	5
FB		4	5	5	4							
FC	4			4	5	6						
FD	4	5	4			4						
b		2	6	6	2							
c	4			4	5	6						
d	6	6	3			2						

Figuur 44 Voorbeeld van een tussengroentijdmatrix

3.1.3 Verzadigingsintensiteiten

De verzadigingsintensiteit of afrijcapaciteit (uitgedrukt in personenwageneenheden per uur (pwe/h) of personenauto-equivalenten per uur (pae/u)) kan gedefinieerd worden als “de maximale verkeersintensiteit die een bepaalde rijstrook kan verwerken, wanneer de weggebruikers op continue wijze zouden aankomen én als de duur van het groen licht één uur is”.

Het Britse Transport and Road Research Laboratory (T.R.R.L.) heeft deze verzadigingsintensiteit gemeten op een proefbaan en ook op normale wegen. De gemiddelde verzadigingsintensiteit waarbij er geen afslaand verkeer, tweewielers of stationerende voertuigen zijn (bij de in- en uitrit van het kruispunt), wordt weergegeven in volgende tabel:

Breedte van de rijstrook (m)	3,05	3,35	3,65	3,95	4,25	4,55
Verzadigingsintensiteit in (pae/u)	1850	1875	1900	1950	2075	2250

Tabel 7 Verzadigingsintensiteiten in functie van de breedte van de rijbaan (Bron: Webster)

Praktisch gezien kunnen metingen ook uitgevoerd worden om de verzadigingsintensiteit te kennen indien het verkeer op het kruispunt geregeld wordt door verkeerslichten of door de politie. In dit geval beginnen de tellingen vanaf de 5 à 10de seconde groen licht (als optrekverliezen geen rol meer spelen) en worden ze verder gezet tot dat de voertuigen niet meer op de continue wijze doorrijden.

Meestal volstaan 10 à 20 metingen om een duidelijk beeld te krijgen van de verzadigingsintensiteit waarbij men rekening houdt met de plaatselijke omstandigheden.

Er zijn meerdere factoren die een invloed uitoefenen op de verzadigingsintensiteit van een rijbaan of rijstrook. De bewegingen die zijn toegestaan op de rijbaan of rijstrook vormen een belangrijke factor, maar er zijn er andere:

- De snelheid
- De helling
- De aanwezigheid van fietsers en/of voetgangers in conflict
- Tegemoetkomend verkeer (voor linksaf)
- De samenstelling van de verkeersstroom
- Zichtbaarheid van het verkeerslicht en overzichtelijkheid van het kruispunt

Deze factoren kunnen allen een invloed uitoefenen op de uiteindelijke afrijcapaciteit. Omdat het uitvoeren van allerlei correcties voor het bepalen van de verzadigingsintensiteit vaak tijdrovend is en een klein verschil in de verzadigingsintensiteit niet direct verstrekkende gevolgen heeft, worden er vaak vuistregels gebruikt:

- Voor een rechtdoorgaande rijstrook wordt een verzadigingsintensiteit van 1800 pae/u gehanteerd, tenzij er hellingen omhoog zijn of een groot aandeel zwaar vervoer. In dat geval is 1750 pae/u aangewezen. Voor twee rechtdoorgaande stroken wordt dit 3600 of 3500 pae/u.
- Voor een exclusieve rechtsafstrook of linksafstrook wordt 1650 pae/u gehanteerd, tenzij die afslag een zeer kleine boogstraal heeft (of veel keerbewegingen). In dat geval kan er 1600 of zelfs 1550 pae/u gebruikt worden. Indien het een zeer ruime boogstraal betreft, kan 1700 of 1750 pae/u gekozen worden. Bij een deelconflict met tegemoetkomend verkeer of fietsers/voetgangers is de reductie van de afrijcapaciteit sterk afhankelijk van de intensiteit van die conflicterende stroom: vaak kan pas afgereden worden als alle wachtende conflicterende, voorrangsgerechtigde verkeersdeelnemers het conflictvlak hebben ontruimd.
- Wanneer de rechtdoorgaande rijstrook gedeeld wordt met de rechtsaf worden verschillende waarden gehanteerd afhankelijk van het aandeel verkeer dat afslaat. Als bijna al het verkeer rechtdoorgaat, kan 1800 pae/u gebruikt worden. Indien er veel verkeer afslaat (30-50%) dan kan een waarde rond de 1650 pae/u gebruikt worden. Ook wanneer er een deelconflict is met fietsers en/of voetgangers kan de

afrijcapaciteit lager ingeschat worden afhankelijk van de (on)mogelijkheid om 1 personenwagen op te stellen tussen rechtdoorgaande auto's en fietsers en van het aantal fietsers en voetgangers.

- Voor dubbele links- of rechtsafstroken wordt vaak 2800 à 3000 pae/u gehanteerd (voor beide rijstroken samen).

Uiteraard is het beter om conservatief te zijn in het bepalen van de verzadigingsintensiteit. Wanneer er immers te veel optimisme is, zal het kruispunt in de uiteindelijke regeling niet zo veel verkeer als nodig kunnen verwerken. Bij een conservatieve berekening zal het kruispunt meer verkeer kunnen verwerken dan initieel gepland.

De gedetailleerdere impact van de factoren op de verzadigingsintensiteit wordt hieronder kort toegelicht:

3.1.3.1 Invloed van de verkeerssamenstelling

De invloed van de verschillende types voertuigen op de verzadigingsintensiteit wordt uitgedrukt in de volgende equivalentie coëfficiënten (uitgedrukt in eenheden van personenwagens).

- 1 zware en half zware vrachtwagen = 2 personenwagens
- 1 bestelwagen = 1 personenwagen
- 1 autobus = 2 personenwagens
- 1 tram = 2 ½ personenwagens
- 1 motorfiets = ½ personenwagen
- 1 fiets = ½ personenwagen.

In de verkeerstellingen of prognoses wordt dit meestal ondervangen door steeds de intensiteit voor een bepaalde richting uit te drukken in personen-auto-equivalenten of "pae".

3.1.3.2 Invloed van het langspoor

Het langspoor van de weg heeft een zekere invloed op de verzadigingsintensiteit, omdat een helling dan wel positieve of negatieve gevolgen heeft voor de optrekverliezen. Concreet worden volgende vuistregels gehanteerd:

- Voor ieder procent stijgende helling, gemeten vanaf ongeveer 60 m voor de stoplijn tot aan de stoplijn ter hoogte van de verkeerslichten, dient de verzadigingsintensiteit met 3 % verminderd te worden.
- Omgekeerd dient de verzadigingsintensiteit met 3 % verhoogd te worden voor ieder procent dalende helling.
- Deze regel is geldig voor stijgende hellingen tot 10% en voor dalende hellingen tot 5%.

3.1.3.3 Invloed van links afslaande voertuigen

Links afslaande voertuigen hebben een grote invloed op de verzadigingsintensiteit. Hierbij onderscheiden we 3 verschillende situaties:

a) Afzonderlijke rijstroken voor linksaffers en afzonderlijke fasen

De verzadigingsintensiteit die enkel betrekking heeft op de linksaffers, hangt af van de straal R (m).

- Voor **één rijstrook** is de verzadigingsintensiteit $= \frac{1800}{1 + \frac{1.5}{R}}$

(voor een boogstraal van 15m komt dit neer op 1636 pae/u)

- Voor **twee rijstroken** is de verzadigingsintensiteit $= \frac{3000}{1 + \frac{1.5}{R}}$

(voor een boogstraal van 20m komt dit neer op 2790 pae/u)

(Bron: Webster)

b) Geen afzonderlijke fasen (bijvoorbeeld: klassieke twee-fasenregeling)

Wanneer er geen afzonderlijke fase is voor het links afslaand verkeer, dan dient dit verkeer zich af te wikkelen tijdens de fase waarin er ook tegemoetkomend verkeer is vanuit de tegenovergestelde richting.

De capaciteit van de rijstrook (die bestemd kan zijn voor links afslaand, rechtdoorgaand en/of rechts afslaand verkeer, maar ook exclusief bestemd kan zijn voor links afslaand verkeer) is sterk afhankelijk van de intensiteit van het tegemoetkomend verkeer.

We onderscheiden hier twee momenten waarin het linksafslagverkeer kan afgewikkeld worden:

- tijdens de groenfase

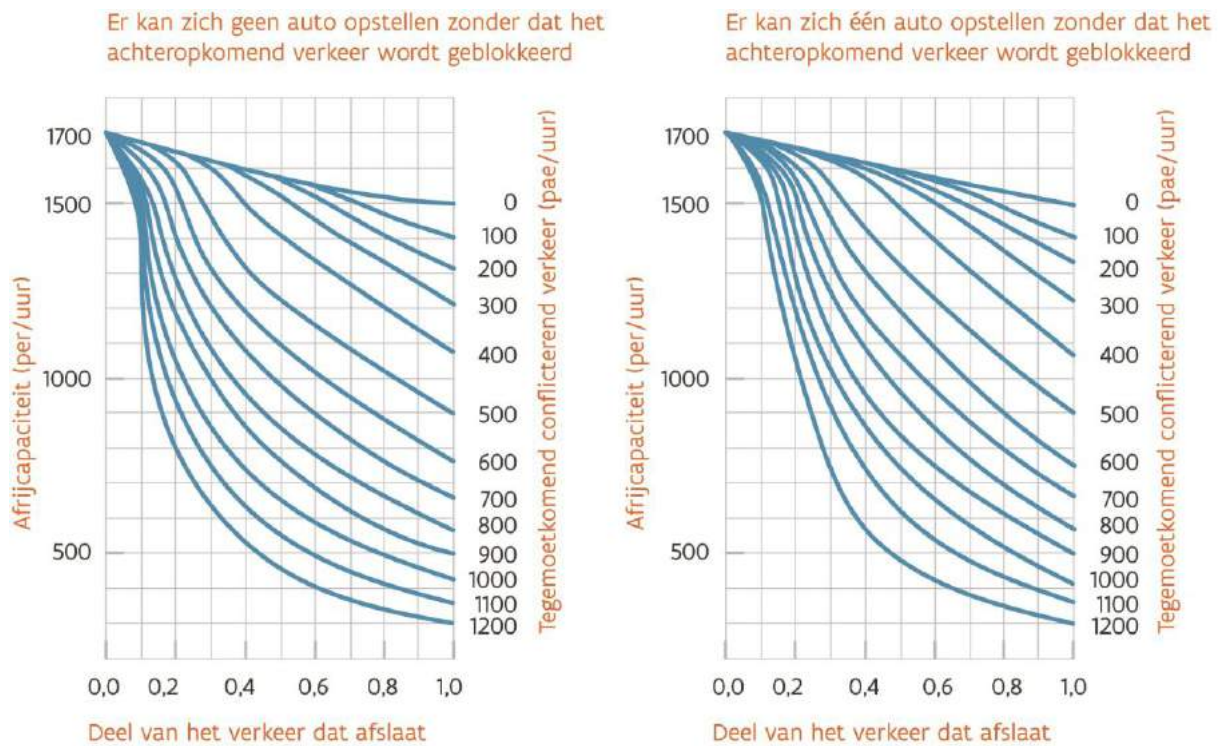
In het eerste gedeelte van de groenfase is het tegemoetkomend verkeer vaak uit een wachtrij vertrokken en kan er geen links afslaand verkeer gebeuren. In het tweede gedeelte van de groenfase kan er nog tegemoetkomend verkeer aan komen rijden waar mogelijk wel een hiaat in kan gevonden worden door het links afslaand verkeer. De groentijd is verschillend van regeling tot regeling, waardoor ook de capaciteit van de linksafstrook steeds verschillend is.

- tijdens de oranje en roodfase (overgangsfase)

Linksaffers die nog geen hiaat gevonden hebben, blijven staan op het kruispunt en wachten op de overgangsfase om links af te slaan, dit vaak uit veiligheidsoverweging. De voertuigen die de stopstreep reeds gepasseerd zijn en opgesteld staan om linksaf te slaan, dienen in feite in deze overgangsfase het kruispunt te ontruimen. Afhankelijk van de bruikbare opstelruimte voor linksafstrook kan dit aantal variëren.

Het is dus bijgevolg ook mogelijk dat sommige links afslaande voertuigen de aanvang van de volgende fase vertragen.

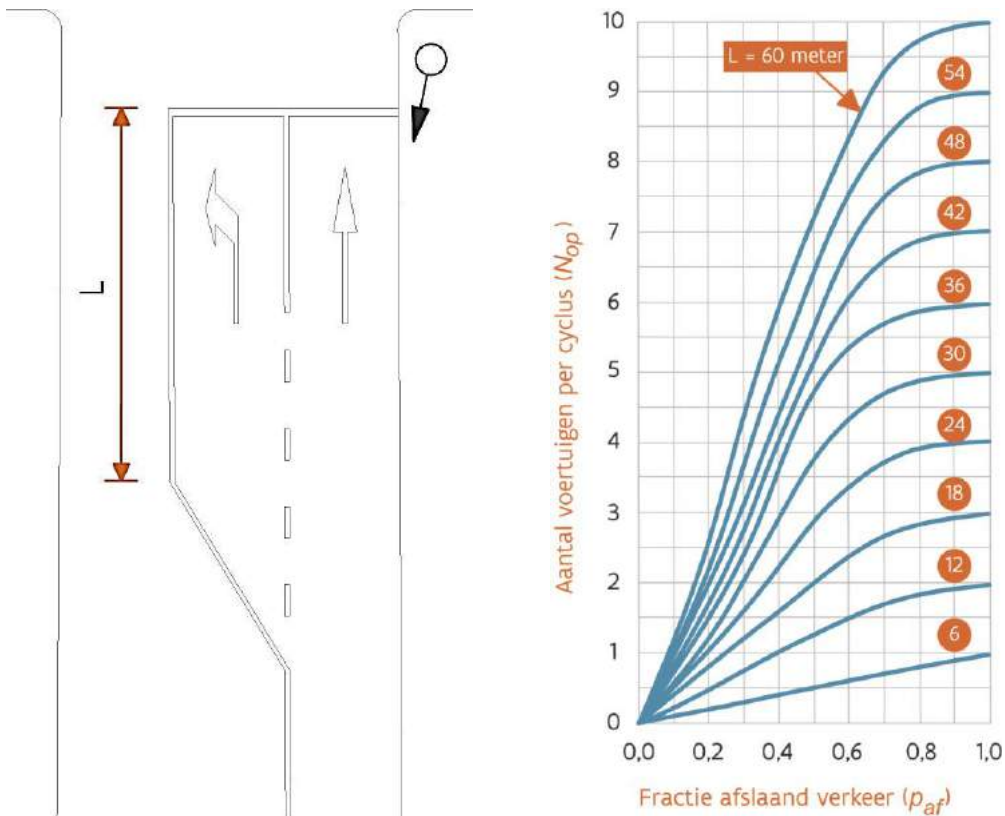
In principe is de regeling in de eerste iteratie van dit stadium van het ontwerp nog niet gekend, dus kan er enkel een inschatting van de afrijcapaciteit van deze strook worden gemaakt. De voorlopige capaciteit kan uit Figuur 45 afgeleid worden aan de hand van de intensiteit van het tegemoetkomend verkeer en de fractie van het verkeer op de rijstrook dat linksaf slaat. Indien het een linksafstrook betreft die enkel door links afslaand verkeer wordt gebruikt, is de fractie 1,0.



Figuur 45 Voorlopige inschatting van de afrijcapaciteit voor een strook met links afslaand verkeer dat niet exclusief wordt geregeld (Bron: CROW 343)

In de praktijk komt het vaak voor dat een aparte links- of rechtsafstrook relatief kort is, hetgeen gevolgen heeft voor de afrijcapaciteit van deze strook.

Uit Figuur 46 valt af te leiden hoeveel voertuigen een korte strook kunnen oprijden, rekening houdend met de fractie links afslaand verkeer.



Figuur 46 Aantal pae's dat in een cyclus een linksafstrook kan oprijden (Bron: CROW 343)

Bijvoorbeeld: Indien de helft van het verkeer linksaf slaat, kan er bij een strook van 30m ongeveer 3 à 4 voertuigen deze strook oprijden.

Hieruit kan ook de afrijcapaciteit van deze korte strook worden afgeleid volgens de volgende formule:

$$S = \frac{3600 * N_{op}}{G_{eff}}$$

Hierin is:

s : verzadigingsintensiteit van de korte strook

N_{op} : aantal voertuigen per cyclus dat gebruikt maakt van de strook

G_{eff} : effectieve groentijd

c) Afzonderlijke fasen voor een bepaalde tak zonder aparte rijstroken voor de linksaffers

In dit geval wordt het verkeer vanuit de tegengestelde richting tegengehouden. Dit komt bijvoorbeeld voor in tak-voor-takregelingen of bij de zijstraat van een drietakskruispunt.

De linksaffers beïnvloeden de verzadigingsintensiteit slechts beperkt aangezien er achter hen geen andere voertuigen vertragen. Op basis van Figuur 45 kan er een afrijcapaciteit bepaald worden door uit te gaan van 0 pae/h voor het tegemoetkomend verkeer.

3.1.3.4 Invloed van rechts afslaande voertuigen

Hierbij onderscheiden we 2 verschillende situaties:

a) Het rechts afslaan gebeurt gelijktijdig met het rechtdoorgaand verkeer waarbij er geen afzonderlijke rechtsafstrook is

Wanneer meer dan 10% van de totale van de beschouwde oprit tot het kruispunt rechts afslaande voertuigen zijn, telt volgens het T.R.R.L. elk bijkomend rechts afslaand voertuig als 1 ¼ voertuig dat rechtdoor rijdt. Indien het rechtsafslaand verkeer echter een deelconflict heeft met veel fietsers of voetgangers, dan zal de afrijcapaciteit veel sterker gereduceerd worden.

b) Het rechts afslaan gebeurt vanaf een afzonderlijke rijstrook

De verzadigingsintensiteit is afhankelijk van de strook en van de vertraging veroorzaakt door de eventueel te kruisen voetgangersoversteekplaats en/of fietsersstroom.

De regels gegeven voor de 1^{ste} situatie van de invloed van linksaffers zijn hier ook van toepassing.

3.1.3.5 Zichtbaarheid van het verkeerslicht en overzichtelijkheid van het kruispunt

Wanneer de plaatselijke overzichtelijkheid van het kruispunt zeer goed is (goede zichtbaarheid, voldoende brede uitrit) en de voetgangers het verkeer niet hinderen, kunnen de verzadigingsintensiteiten zelfs hoger liggen dan de bovenstaande waarden (tot 20% in de meest gunstige gevallen).

Indien de omstandigheden daarentegen slecht zijn, kunnen de verzadigingsintensiteiten lager liggen (op basis van metingen in de praktijk kunnen de intensiteiten tot 15% lager liggen).

3.1.4 Bepaling van de conflictbelasting, het aantal fasen en de fasenvolgorde

Na het bepalen van de tussengroentijden en verzadigingsintensiteiten, kan er bepaald worden welke fasen er zullen voorkomen in de regeling.

Om deze fasen samen te stellen, worden er op basis van de conflictmatrix één of meer verkeersbewegingen gekozen die samen geregeld kunnen worden tijdens één groenfase. Deze vormen dan één 'fase'.

Voordat de fasen samengesteld kunnen worden, moet eerst de maatgevende conflictgroep vastgesteld worden. Voor ieder kruispunt zijn er een aantal verschillende 'conflictgroepen' te bepalen. Een conflictgroep is een verzameling van een aantal richtingen, die niet gelijktijdig groen kunnen krijgen. De maatgevende conflictgroep bepaalt de totale conflictbelasting van het kruispunt. Die maatgevende conflictgroep wordt per spitsperiode bepaald en kan bijvoorbeeld bestaan uit drie richtingen: de drukste linksafstroom, de tegemoetkomende rechtdoor/rechtsafstroom en de drukste dwarsstroom.

Er bestaan meerdere methodes om alle verschillende conflictgroepen te bepalen, dan wel handmatig als softwarematig (zie CROW 343).

De uiteindelijke maatgevende conflictgroep is diegene met de hoogste conflictbelasting. In de praktijk kan dit vaak gebeuren via analytische software, op een pragmatische manier (gebaseerd op ervaring) of op een iteratieve manier, wanneer blijkt in de kruispuntanalyse dat het verkeer dat een bepaald sein dient te passeren niet verwerkt geraakt.

De totale conflictbelasting (Y) is de som van belastingsgraden van de seingroepen in de maatgevende conflictgroep:

$$Y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$$

De belastingsgraad van een bepaalde seingroep (y) is de verhouding van de intensiteit op die richting en de verzadigingsintensiteit.

$$y = \frac{q}{s}$$

Hierin is :

q : intensiteit

s : verzadigingsintensiteit (of afrijcapaciteit)

Voor het kruispunt in Figuur 47 is bijvoorbeeld de maatgevende conflictgroep: A1, C2, D1.

Uit het berekenen van de conflictbelastingen bleek dat deze conflictgroep de hoogste conflictbelasting had. Dit wil zeggen dat, indien het verkeer van de maatgevende seingroepen verwerkt kan worden, waarschijnlijk ook het verkeer op alle andere richtingen kan verwerkt worden.

Er zijn bijgevolg enkele fasen af te leiden waarin telkens een seingroep uit de maatgevende conflictgroep wordt gecombineerd met enkele andere niet-conflicterende seingroepen, zodanig dat elke seingroep minstens één keer aan de beurt komt:

1: A1 + A2 + D3

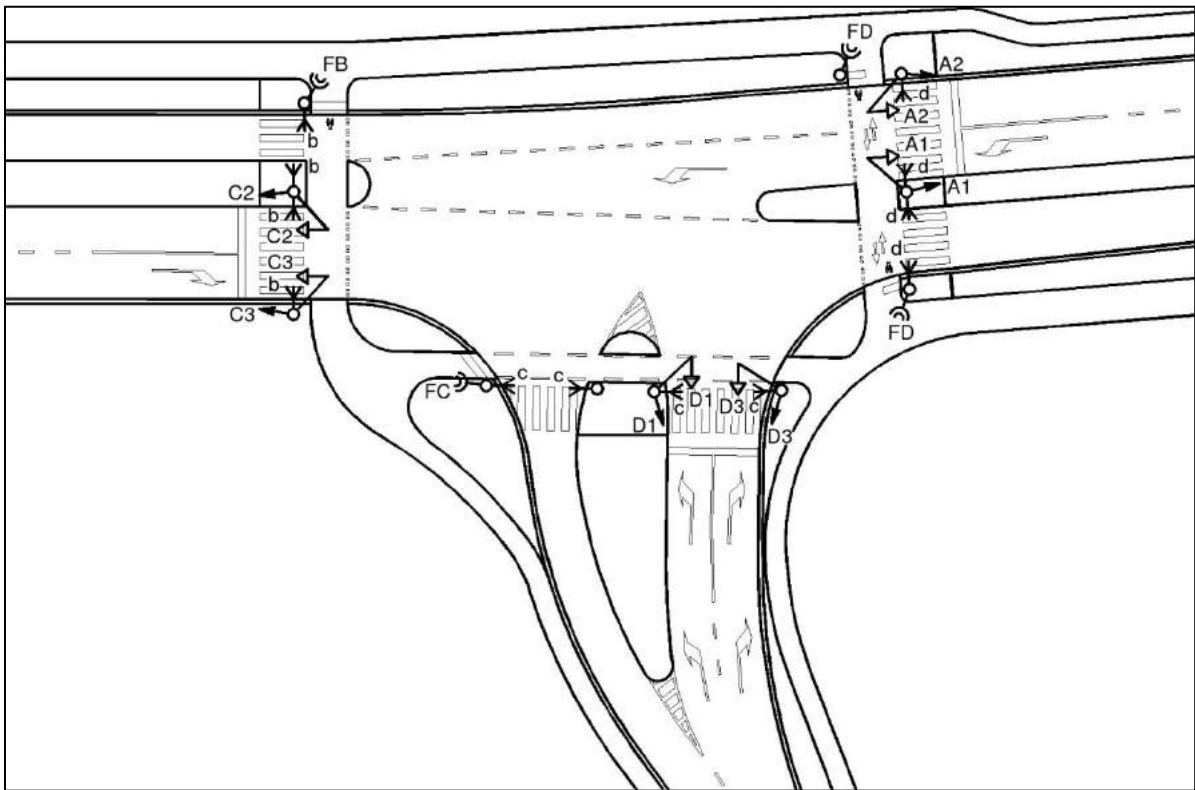
2: C2 + A2 + FC + c

3: C2 + C3 + A2

4: A1 + D3 + FB + b

5: C3 + D1 + D3

6: C3 + D1 + FD + d



	A1	A2	C2	C3	D1	D3	FB	FC	FD	b	c	d
A1			X	X	X			X	X		X	X
A2					X		X		X	X		X
C2	X				X	X	X		X	X		X
C3	X						X	X		X	X	
D1	X	X	X				X	X		X	X	
D3			X					X	X		X	X
FB		X	X	X	X							
FC	X			X	X	X						
FD	X	X	X			X						
b		X	X	X	X							
c	X			X	X	X						
d	X	X	X			X						

Figuur 47 Voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix (idem Figuur 39)

Voor de opmaak van de optimale basisregeling zijn er veel verschillende fase-indelingen en volgordes mogelijk, die allen hun voor- en nadelen kunnen hebben.

Een goed uitgangspunt bij het kiezen van een fasenvolgorde is een fasenvolgorde kiezen die de laagste interne verliestijd heeft, d.w.z. de fasenvolgorde die resulteert in het laagste totaal van alle tussengroentijden tussen de verschillende richtingen in de maatgevende conflictgroep. Dit zorgt ervoor dat er zo weinig mogelijk tijd in de regeling verloren gaat.

Maar er zijn nog andere zaken die de fasenvolgorde mede bepalen:

- Een bijkomende of 'complementaire' pijl dient steeds gevolgd te worden door "vol groen";
- Bij een deelconflict geen nastart voor de voorrangsgerechtigde richting;
- Het eerste en het tweede punt leiden er samen toe dat een bijkomende pijl geen conflict met fietsers en voetgangers kan regelen.
- Als op de ene tak het links afslaand verkeer conflictvrij geregeld is, dan moet op de tegenoverliggende tak het eventuele links afslaand verkeer eveneens conflictvrij geregeld moeten worden. Anders zouden de linksaffers met deelconflict de tegemoetkomende linksaffers zien stoppen voor rood, en daaruit onterecht afleiden dat al het tegemoetkomende verkeer rood heeft;
- Richtingen met lage intensiteiten (bijvoorbeeld links afslaand verkeer) kunnen over het algemeen iets beter de richtingen met grote intensiteiten (bijvoorbeeld rechtdoor op hoofdrichting) voorafgaan. Immers, als er even geen verkeer meer is en het (deel)kruispunt moet in een wachtstand blijven hangen, dan gebeurt dit beter bij groen voor een richting met hoge intensiteit. De kans is dan namelijk groter dat er iemand baat heeft bij dat groen;
- Soms kan het tegenover elkaar bewegende links afslaand verkeer elkaar hinderen en is het beter om ze niet in dezelfde fase groen te geven (zie hoofdstuk 2.4.12.4.1.1);
- Bij vele vormen van afstemming van opeenvolgende kruispunten komt de ene volgorde goed en de andere volgorde slecht uit. Het links afslaand verkeer dat een sas ontruimt krijgt bijvoorbeeld beter groen na rechtdoorgaand verkeer dat een sas vult. Als twee opeenvolgende fietsdeeloversteken apart geregeld worden, proberen we na te streven dat een fietser slechts kort of helemaal niet hoeft te wachten op de middenberm.

3.1.5 Fase-indeling “Maximaal conflictvrij” regelingen

Om kruispunten zo veilig mogelijk te maken voor alle weggebruikers heeft het AWW beslist om bij het opmaken van nieuwe verkeerslichtenregelingen zoveel mogelijk conflicten te beveiligen. Concreet houdt dit in dat er zoveel mogelijk secundaire conflicten worden geregeld rekening houdende met de mogelijkheden.

Zoals in hoofdstuk 3.1 reeds gesteld, wordt er bij de eerste iteratie steeds uitgegaan van een volledig conflictvrije regeling. In de praktijk kunnen echter niet alle kruispunten volledig conflictvrij geregeld worden, om diverse redenen. We streven daarom steeds naar het “maximaal conflictvrij” regelen van een kruispunt.

Het aantal fasen en de volgorde hangen sterk samen met de mate van conflictvrij regelen. Over het algemeen kan men besluiten dat wanneer de hoeveelheid bewegingen die conflictvrij geregeld worden stijgt, het aantal fasen in de regeling eveneens stijgt.

Omwille van deze redenen wordt hieronder een toelichting gegeven over aspecten die invloed hebben op de mogelijkheden tot conflictvrij regelen en de impact van de mate van conflictvrij regelen op het aantal fasen en de fasenvolgorde.

3.1.5.1 Aspecten die invloed hebben op de mogelijkheden tot conflictvrij regelen

a) Het kruispuntontwerp

De beschikbare ruimte en de benutting van de beschikbare ruimte door de ontwerper kunnen reeds beperkingen opleggen die de mogelijkheden om conflictvrij te regelen hypothekeren, zoals bijvoorbeeld:

- Geen of een te korte linksafstrook maakt de kans kleiner dat een conflictvrije linksafslagbeweging mogelijk is;
- Geen fietspaden en fietserslichten betekent dat er geen conflictvrije fietsersfase mogelijk is;
- Geen rechtsafstrook betekent dat er geen conflictvrije rechtsaf mogelijk is met fietsers rechtdoor, tenzij er een volledig aparte fase wordt voorzien waarin enkel fietsers (en voetgangers) groen hebben en geen gemotoriseerd verkeer;
- Geen technische mogelijkheid om pijllichten te voorzien boven de rijstrook door gebrek aan ruimte om de nodige paaltypen te funderen.

Daarom is het van belang dat de specialisten van de afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica al betrokken worden bij het initiële ontwerp van een kruispunt om de mogelijkheden tot een conflictvrije regeling te onderzoeken.

b) De verkeersintensiteiten

Het is mogelijk dat het kruispunt in kwestie te hoge intensiteiten kent en de omgeving te weinig ruimte biedt om een volledig conflictvrije regeling te kunnen uitwerken zonder (ernstige) filevorming. In dat geval kan er voor gekozen worden om extra capaciteit bij te creëren door net zo lang deelconflicten toe te staan totdat het kruispunt het verkeer verwerkt krijgt. Welke secundaire conflicten specifiek worden toegestaan om dit mogelijk te maken verschilt van kruispunt tot kruispunt, bv.:

- In vele gevallen is het wenselijk om de conflicten tussen zwakke weggebruikers en voertuigen steeds conflictvrij te regelen; om dit mogelijk te maken kunnen in sommige gevallen de conflicten tussen voertuigen onderling dan niet conflictvrij geregeld worden;
- Bij kruispunten met veel zware ongevallen door niet-conflictvrije linksafslagbewegingen van het gemotoriseerd verkeer, kan er voor gekozen worden om bij voorkeur deze bewegingen conflictvrij te maken.

Het toevoegen van deelconflicten wordt gedetailleerd behandeld in hoofdstuk 3.2.3.2 “Afwegingskader deelconflicten”.

3.1.5.2 De drie categorieën regelingen

Afhankelijk van het aantal secundaire conflicten dat wordt toegestaan, kan men regelingen grofweg opdelen in drie categorieën:

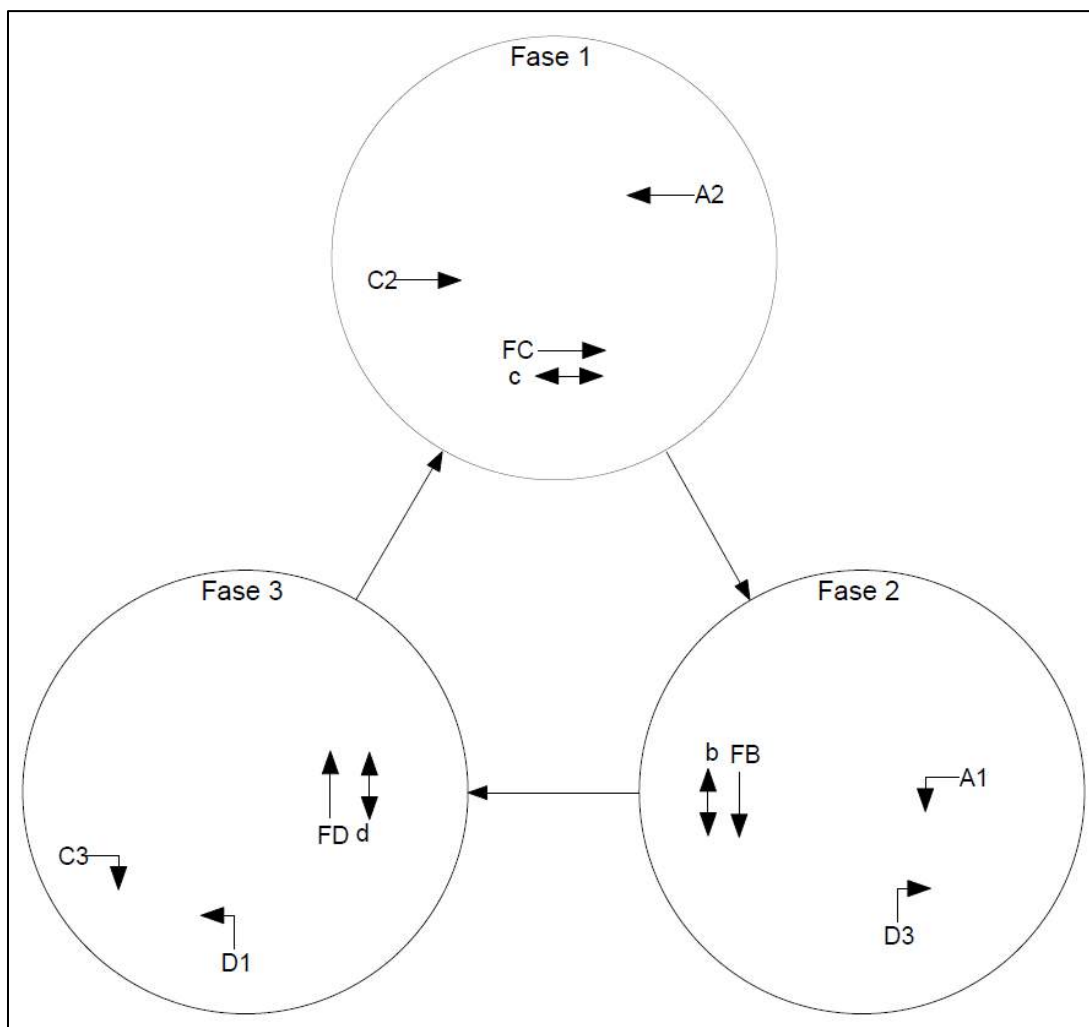
- Volledig conflictvrije regeling
- Gedeeltelijk conflictvrije regeling
- Niet-conflictvrije regeling

a) Volledig conflictvrije regeling

Alle conflicten die met lichten kunnen geregeld worden, worden zonder deelconflicten geregeld, met uitzondering van conflicten tussen voetgangers/fietsers onderling en conflicten met keerbewegingen. Er zijn dus geen fasen waarin afslaand verkeer, zowel links- als rechtsaf, geconfronteerd wordt met rechtdoorgaand verkeer dat tegelijk groen heeft. Er zijn geen fasen waarin gemotoriseerd verkeer geconfronteerd wordt met zwakke weggebruikers.

Behoudens voldoende uitgebreide infrastructuur, kan in het algemeen een vierarmig kruispunt in vier groenfasen en een T-kruispunt in drie groenfasen conflictvrij worden geregeld. Men staat dan wel vaak voor niets voor rood, dus moeten er ook andere combinaties als fase aangeboden worden, zoals de zes fasen in paragraaf 3.1.4.

Een mogelijke fasenvolgorde van een conflictvrije regeling op een T-kruispunt wordt weergegeven in onderstaand fasediagram.

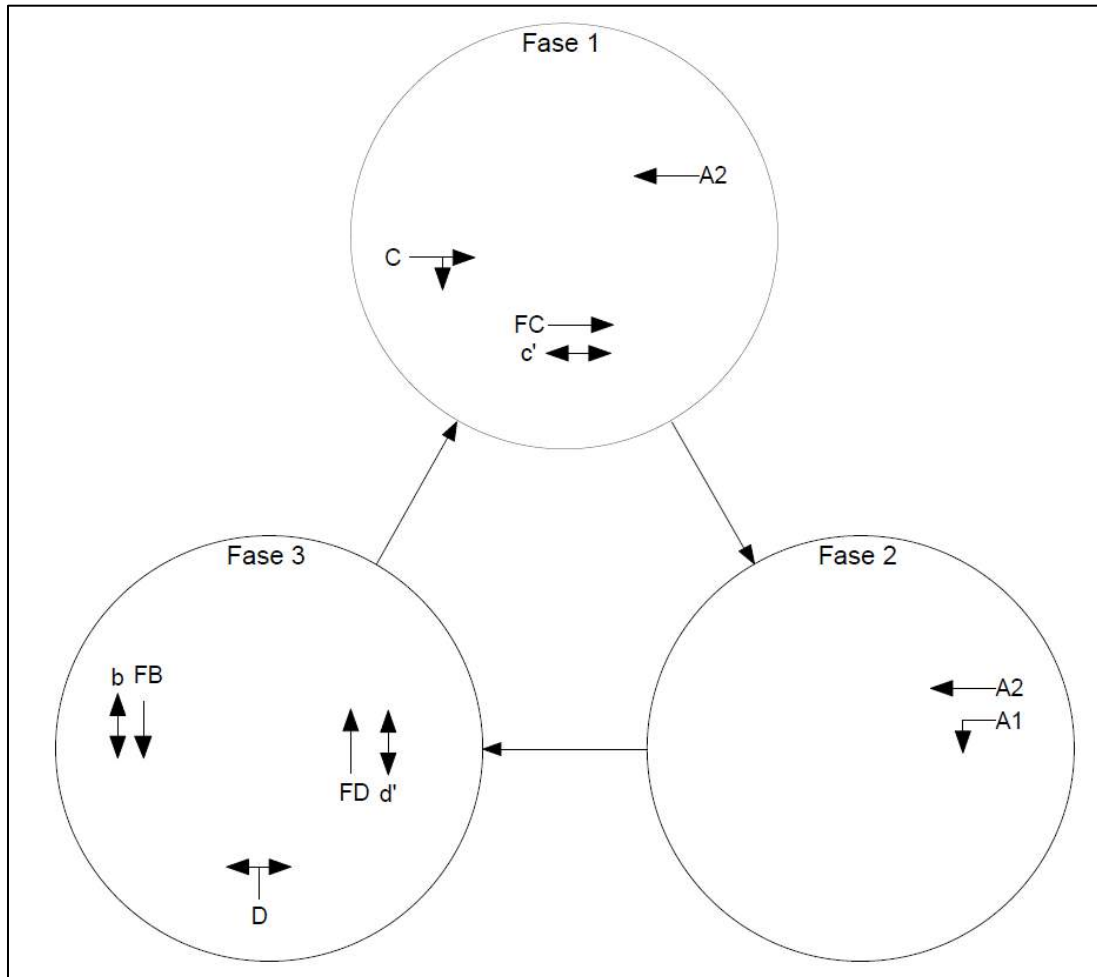


Figuur 48 Voorbeeld van een conflictvrije regeling op een T-kruispunt

b) Gedeeltelijk conflictvrije regeling

Bij een gedeeltelijk conflictvrije (of semi-conflictvrije) lichtenregeling worden niet alle conflicten geregeld. Een veelvoorkomend voorbeeld hiervan is wanneer de linksafbeweging conflictvrij wordt geregeld met een apart pijllicht, maar het rechts afslaand verkeer mee wordt geregeld met de volle lens van het rechtdoorgaand verkeer en bovendien gelijktijdig groen heeft met parallel gaande voetgangers en fietsers.

Een mogelijke fasenvolgorde van een gedeeltelijk conflictvrije regeling op een T-kruispunt wordt weergegeven in onderstaand fasediagram.

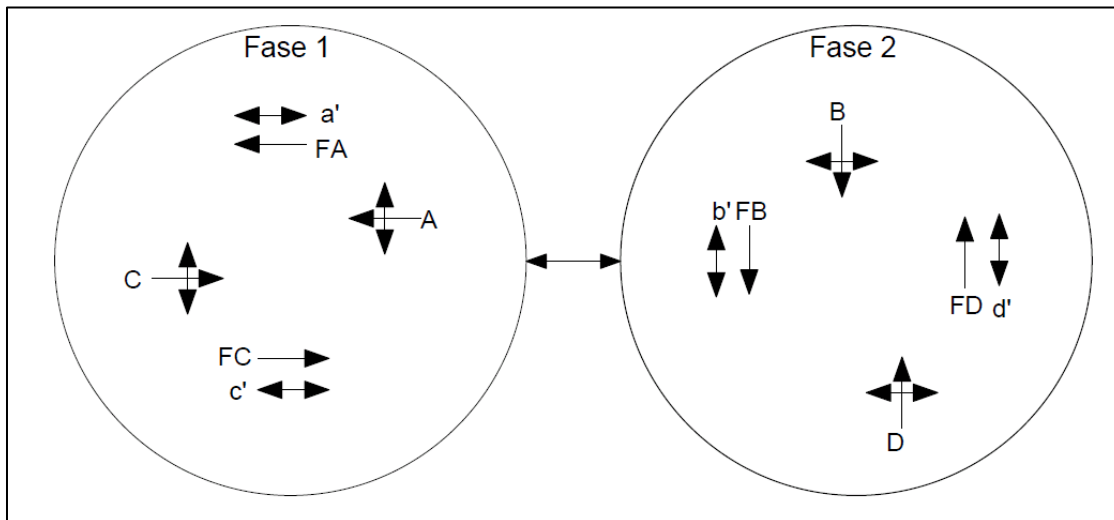


Figuur 49 Voorbeeld van een gedeeltelijk conflictvrije regeling op een T-kruispunt

c) Niet-conflictvrije regeling

Tot slot is er nog de niet-conflictvrije lichtenregeling. Hierbij wordt geen enkel deelconflict geregeld, noch met voetgangers en fietsers, noch met links afslaand verkeer. Wanneer hierbij gebruik gemaakt wordt van een ontruimingspijl, wordt dit eveneens als een niet-conflictvrije lichtenregeling beschouwd. Een ontruimingspijl mag dan wel betekenen dat als hij brandt het links afslaand verkeer het kruispunt conflictvrij kan ontruimen, het betekent niet dat de volledige linksaf-beweging conflictvrij is.

Niet-conflictvrije kruispunten zullen bijna altijd werken volgens het principe van een twee-fasenregeling, bijvoorbeeld zoals voorgesteld voor kruispunt met vier takken in Figuur 50.



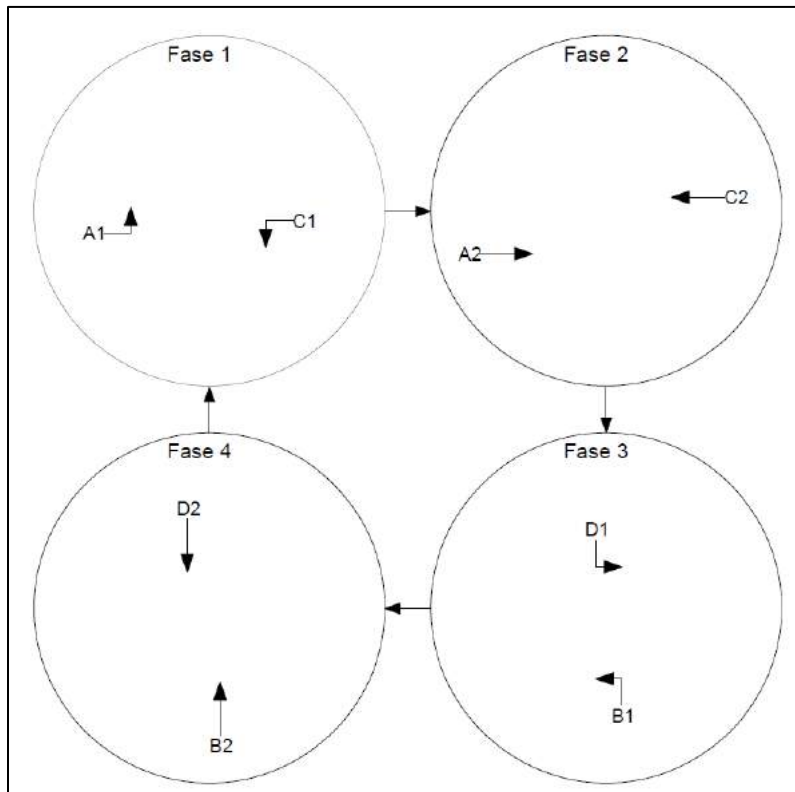
Figuur 50 Voorbeeld van een niet-conflictvrije regeling

Dit wil zeggen dat men groen geeft aan alle verkeersstromen (zowel voertuigen, fietsers als voetgangers) die zich langs dezelfde wegas aanbieden terwijl de dwarsende richting rood heeft.

3.1.5.3 Algemene aandachtspunten bij het opmaken van de fase-indeling

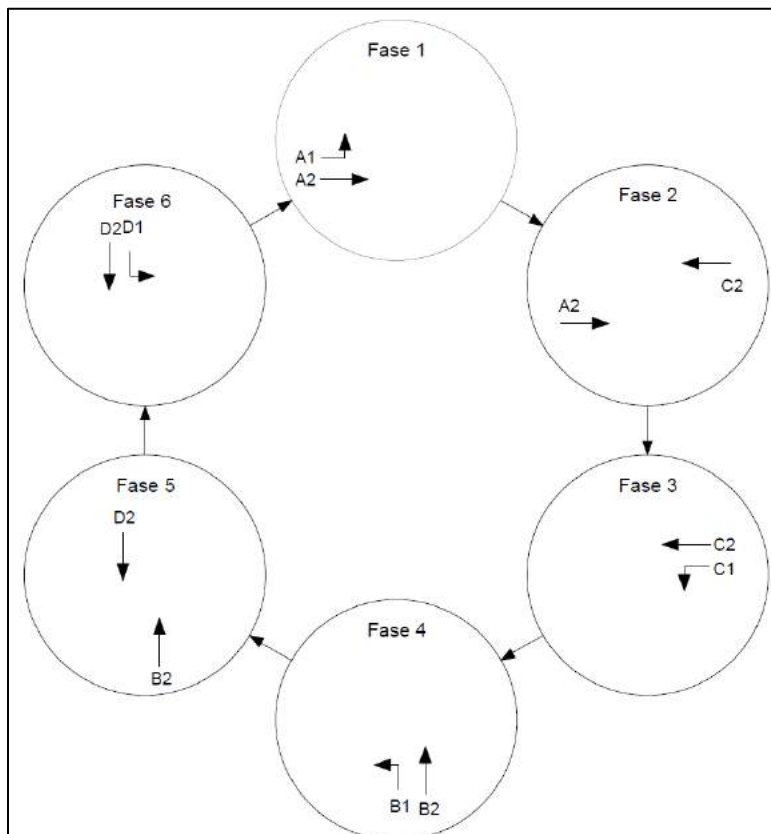
Daarnaast zijn er een aantal algemene aandachtspunten die in acht genomen moeten worden bij het maken van de fase-indeling van een maximaal conflictvrije regeling:

- Linksaf bewegingen kunnen samen geregeld worden indien de boogstralen dit toelaten. Dit laat toe om het groen van deze bewegingen afzonderlijk op maat groen te geven en de conflicterende hoofdrichtingen afzonderlijk te starten wanneer er geen conflicterend links afslaand verkeer meer is. (bv. met correlatiepunten, zie hoofdstuk 4.1.2.3) (zie Figuur 51)



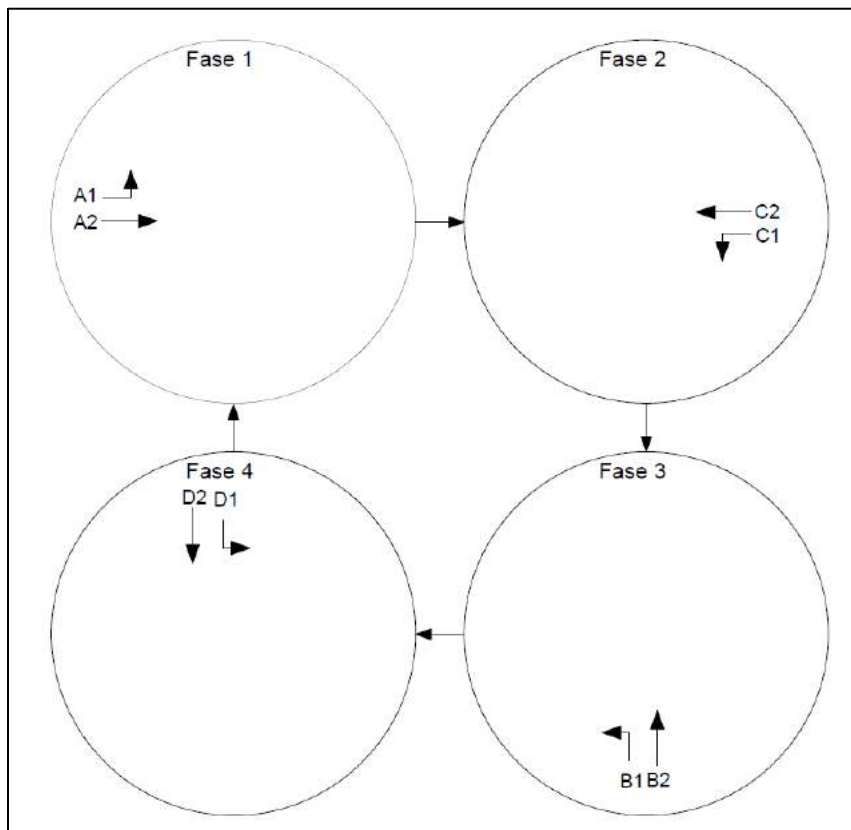
Figuur 51 Voorbeeld linksafslagbewegingen die samen groen hebben

- Linksaf-bewegingen op de hoofdrichting kunnen in vele gevallen samen geregeld worden met rechtsaf bewegingen uit de dwarsrichting. Aparte rechtsafstroken op de dwarsrichting zijn dan uiteraard wel noodzakelijk. (zie Figuur 48)
- De linksaf-bewegingen die tegenover elkaar liggen kunnen indien het kruispuntontwerp dit toelaat samen verlopen, maar kunnen ook gescheiden worden zodat het groen voor de rechtdoorgaande richting en links afslaande richting samenloopt (zie Figuur 52). Dit is vooral aan te raden in het geval van een korte linksafstrook, zodat beide verkeersstromen elkaar niet blokkeren. Dit geldt eveneens voor rechtsafslagbewegingen.



Figuur 52 Voorbeeld van linksafslagbewegingen die tegelijk met het rechtdoorgaand verkeer van dezelfde tak geregeld worden

- Indien een bepaalde fase met linksafslagbewegingen zeer druk is, kan deze fase net voor het opkomen van de dwarsrichting geplaatst worden in de cyclus. Op die manier kan deze fase eventuele niet-gebruikte tijd uit andere fasen in de cyclus opnemen met behulp van een timer. (zie Figuur 52, fase 3 of fase 6)
- Een conflictvrije rechtsaf, per bijkomende pijl of door volledig pijllicht, kan met veel andere richtingen conflictvrij geregeld worden. Indien de infrastructuur dit toelaat of aangepast kan worden en zeker als er veel verkeer is op de rechtsafslaande beweging die afgewikkeld moet worden kan deze oplossing overwogen worden.
- Om de conflictbelasting zo laag mogelijk te houden, kan het nuttig zijn om de fasenvolgorde zo te voorzien dat fietsers en voetgangers samen met het gemotoriseerd verkeer groen hebben en conflictvrij worden geregeld (zie Figuur 48 of Figuur 55, Fase 1). Wanneer dit niet mogelijk is, kunnen fietsers en voetgangers (eventueel op aanvraag) een eigen fase hebben (zie hoofdstuk 3.1.5.4 en Figuur 55, Fase 3).
- Wanneer er geen enkele andere mogelijkheid bestaat om conflictvrij te regelen kan er overwogen worden om een tak-voor-takregeling op te maken. Hierbij krijgen alle richtingen van een bepaalde tak tegelijk groen en alle andere richtingen rood (zie Figuur 53). Dit is vooral in het geval van asymmetrische drukke richtingen en bij afwezigheid van fietsers en voetgangers praktisch. De wachttijden van zulke regeling lopen wel snel op. Er kan ook voor gekozen worden om bv. twee van de vier takken tak-voor-tak te regelen (bv. de zijtakken van een kruispunt krijgen groen in een aparte fase i.p.v. tegelijkertijd).



Figuur 53 Voorbeeld van een tak-voor-tak regeling

- Sporadische fasen mogen in dit stadium van het ontwerpproces nog verwaarloosd worden: In specifieke gevallen kan het voorkomen dat een fase theoretisch gezien opgenomen moet worden in de maatgevende conflictgroep, en dus de kruispuntanalyse, maar dat deze fase slechts zo sporadisch (op aanvraag) opkomt dat ze best wordt verwaarloosd. Een vuistregel hiervoor is dat fasen die zich in minder dan 10% van de cycli zullen voordoen (of waar minder dan vijf aanvragen per spitsuur worden verwacht) uit de fase-indeling (en dus de berekening van de conflictbelasting) kunnen gehouden worden aangezien hun impact zo gering is. Een voorbeeld is een weinig gebruikte voetgangers- of fietsersoversteek (indien deze op aanvraag geregeld is of in een aparte fase).

3.1.5.4 Aparte fasen voor zwakke weggebruikers

Eén van de mogelijkheden om deelconflicten met zwakke weggebruikers te vermijden is om die enkel groen te geven in een fase waarin al het conflicterende gemotoriseerd verkeer rood heeft. Daarbinnen kan onderscheid gemaakt worden tussen 'Vierkant groen' en 'de Roeselaarse oplossing'.

a) 'Vierkant groen' of 'Alle fietsers tegelijk groen' (AFTG)

Een mogelijk regelprincipe om de veiligheid van zwakke weggebruikers op lichtengeregelde kruispunten te verhogen, is het toepassen van "vierkant groen" of "alle fietsers tegelijk groen" (AFTG). Bij dit regelprincipe wordt een specifieke groenfase voorzien waarbij de zwakke weggebruikers in alle richtingen op het kruispunt tegelijk groen krijgen terwijl al het gemotoriseerd verkeer rood heeft. Links afslaande fietsers hebben ook het voordeel dat zij in één keer het kruispunt kunnen oversteken.

Een toepassing op kruispunten is momenteel echter niet mogelijk aangezien dit regelprincipe niet is toegelaten in het verkeersreglement. Artikel 61.3.2 bepaalt immers: *"Wanneer de verkeerslichten op een kruispunt geplaatst zijn, mogen het groene of oranjegele licht slechts verschijnen wanneer de rode lichten branden voor het verkeer dat uit de dwarswegen komt."*

Anticiperend op de nodige aanpassingen in de wegcode, is de AVVG van oordeel dat het regelprincipe vierkant groen in Vlaanderen op bepaalde kruispunten kan toegepast worden op basis van enkele toepassingscriteria. Op vlak van verkeersveiligheid is er op basis van de ongevallencijfers geen bezwaar om het principe toe te passen. Gelet op de resultaten van de evaluatie en analyse op vlak van doorstroming en signalisatiemogelijkheden, worden volgende principes vooropgesteld voor het al dan niet toepassen van vierkant groen:

- Het kruispunt dient te beschikken over vrijliggende fietspaden;
- De vierkant-groenregeling dient qua verzadigingsgraad te voldoen aan de richtlijnen van het afwegingskader (zie hoofdstuk 3.2.3.2);
- De vierkant-groenfase wordt, afhankelijk van de intensiteiten van fietsers en voetgangers, voorzien op aanvraag;
- De maximum wachttijd, voor een fietsers die een weg wil dwarsen, tussen het einde van het groen en het begin van het volgend groen mag de in het Vademecum voetgangersvoorzieningen vooropgestelde maximumwaarden niet overschrijden (zie hoofdstuk 3.2.3.2b)); als uitgangspunt wordt daarom de vierkant groenfase 2x per cyclus voorzien;
- Vierkant groen wordt bij voorkeur met vierkant-groenlichten met pijltjes geregeld indien alle fietsers op alle takken tegelijkertijd groen en in de overige fasen rood hebben;
- Vierkant groen wordt met traditionele fietslichten geregeld indien bepaalde oversteken ook tijdens andere fasen conflictvrij groen kunnen krijgen;
- Vierkant groen is kansrijker op compacte kruispunten met veel fietsers.



Figuur 54 Voorbeeld van een "vierkant groen"-verkeerslicht

Vierkant groen kan dus zowel met de normale fietserslichten worden toegepast als met speciale fietserslichten met pijltjes:

- Mogelijkheid 1: vierkant groenlichten met pijltjes: het gebruik van een lens met het fietslogo en 4 pijltjes rondom het fietslogo zal aanduiden dat er een vierkant-groenwerking op het kruispunt aanwezig is. Deze nieuwe lichten zijn net als de gewone fietslichten van toepassing op zowel fietsers als bromfietsers.

Bij het gebruik van deze lens gelden volgende verplichtingen:

- Alle fietserslichten op éénzelfde kruispunt dienen uitgerust te worden met dezelfde lens met pijltjes;
- Seinen met deze lens moeten steeds gelijktijdig groen zijn;
- Ook een oranjegeel en rood vierkant groen fietserslicht met pijltjes dient voorzien te worden.
- Mogelijkheid 2: gewone fietslichten: Het blijft ook mogelijk om een vierkant-groenwerking te voorzien zonder de speciale "vierkant-groenlens met pijltjes. Op vele kruispunten is het immers mogelijk om de fietsers ook conflictvrij groen te geven in een andere fase dan enkel in de vierkant groenfase.

Net zoals bij kruispunten zonder vierkant groen, wordt de voorrangssituatie tussen enerzijds fietsers onderling en anderzijds fietsers en voetgangers als volgt geregeld:

- Tussen fietsers onderling geldt voorrang van rechts;
- Tussen fietsers en voetgangers heeft de voetganger voorrang die zich op het zebrapad bevindt.

Wat betreft het gebruik van de speciale "vierkant groenlichten" gelden daarnaast nog de volgende aanbevelingen wat betreft de verkeerslichtenregeling:

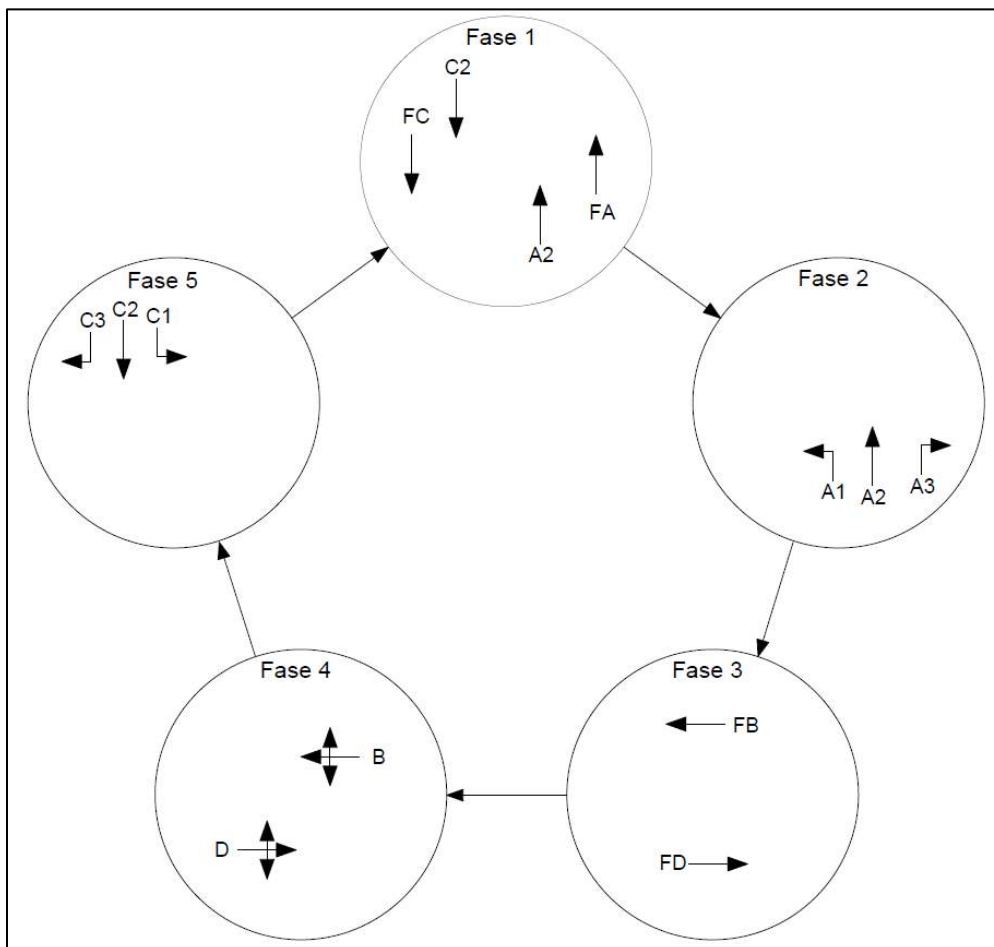
- Het toepassen van vierkant groen brengt echter ook enkele beperkingen met zich mee. Zo wordt op sommige kruispunten mogelijk de cyclustijd langer en dus ook de algemene wachttijd en verliestijd. Dit geldt dan trouwens niet alleen voor het gemotoriseerde verkeer, maar ook voor de fietsers. De aanwezigheid van voetgangers bemoeilijken vaak de toepassing van het principe: zij zijn namelijk trager. Hoe groter het kruispunt, hoe langer deze groentijden en ontruimingstijden worden. Daarom dient best voor ieder specifiek kruispunt een goede afweging gemaakt te worden waarbij de verliestijden voor alle weggebruikers in detail worden onderzocht. Als uitgangspunt wordt daarom ook de vierkant groenfase tweemaal per cyclus voorzien, zodat de verliestijd voor fietsers alvast zoveel mogelijk beperkt wordt (bv. volgens de methode in hoofdstuk 4.2.2.2);
- De ontruimingstijden voor de fietsers dienen eveneens rekening te houden met diagonaal oversteken, maar enkel indien er gebruik wordt gemaakt van de vierkant groenlichten met pijltjes.

b) Aparte fase voor overstekende zwakke weggebruikers in één richting (de 'Roeselaarse oplossing')

Het verkeersreglement staat het gebruik van AFTG voorlopig nog in de weg, maar het is wel reeds mogelijk om fietsers (en eventueel voetgangers) in één richting groen te geven in een aparte fase, zonder dat de dwarsende fietsoversteken groen hebben (bv. de twee fietsoversteken van een dwarsweg). Dit werd reeds met succes toegepast op enkele kruispunten in Vlaanderen (bv. in Roeselare).

De volgende ontwerpprincipes kunnen hierbij worden gehanteerd:

- Wanneer de fase voor fietsers voorafgaat aan een fase voor voertuigen, zijn de tussengroentijden vaak zeer kort. Het groen van het gemotoriseerd verkeer kan dan vaak reeds starten na de laatste seconde oranjegeel van de fietsers. Wanneer de fase voor fietsers na de fase voor gemotoriseerd verkeer volgt, doet zich dit voordeel niet voor.
- Uit oogpunt van capaciteit is het (vooral op langere oversteken) wel belangrijk te vermijden dat deze fase onnodig opkomt of onnodig lang is. Daarom is het aan te raden om de fase voor fietsers en voetgangers op aanvraag te voorzien zodat de lengte van de fase kan verkort worden indien er enkel een fietser heeft gedrukt en deze fase kan overgeslagen worden indien er niemand heeft gedrukt.



Figuur 55 Voorbeeld van een aparte fase (Fase 3)

3.1.6 Cyclusduur

Nadat de fase-indeling gekend is, kan men overgaan tot het berekenen van de optimale cyclusduur.

Het bepalen van de optimale cyclusduur voor een gegeven intensiteit gebeurt aan de hand van de formule van Webster:

$$C_o = \frac{1,5 * L + 5}{1 - Y}$$

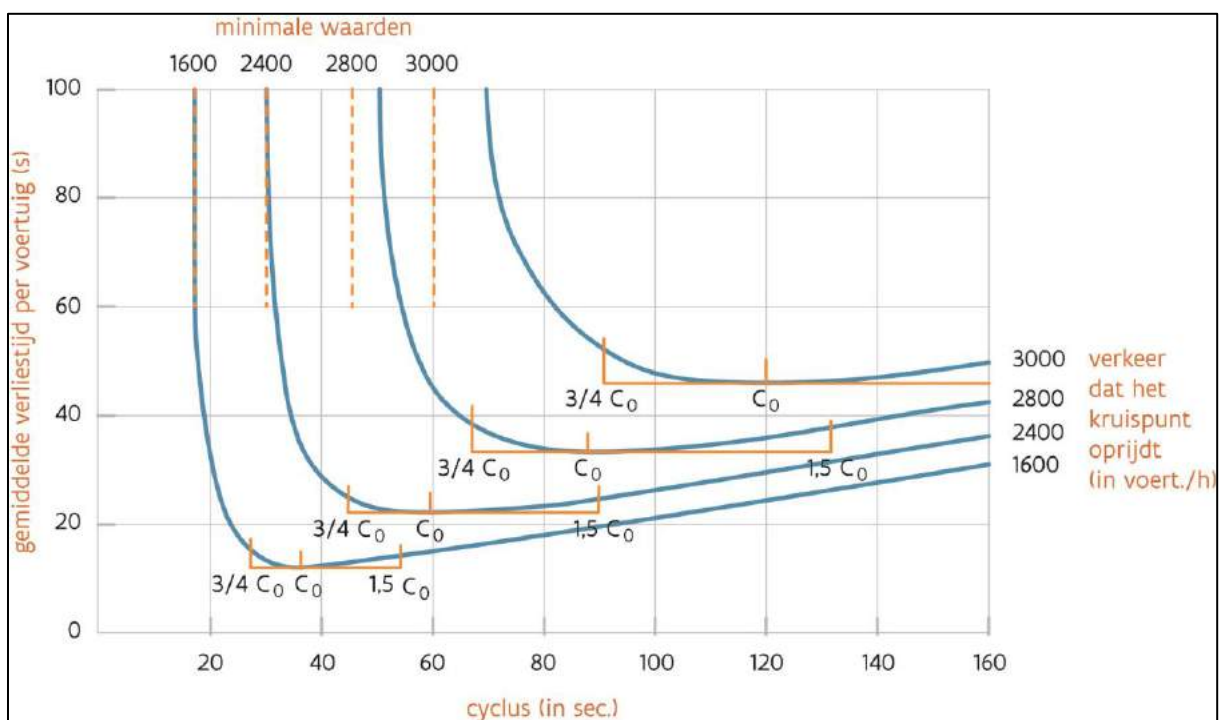
Hierin is:

L : totale (interne) verliestijd per cyclus

Y : som van grootste belastingsgraden van de conflicterende richtingen (conflictbelasting)

Uit voorgaande formule blijkt dat de optimale cyclusduur afhankelijk is van de totale interne verliestijd en van de totale belastingsgraad of conflictbelasting op een kruispunt.

Webster toonde echter ook aan, zoals in Figuur 56 is te zien, dat de gemiddelde verliestijd per voertuig slechts maximum 20% verhoogd wordt bij cyclusduren tussen $0,75 * C_o$ en $1,5 * C_o$. Er is ook af te leiden uit Figuur 56 dat het minder nadelig is om een te lange maximale cyclustijd in te stellen dan een te korte. Een cyclus die beduidend langer is dan de optimale cyclus heeft nauwelijks invloed op de vertragingen van voertuigen. Als men naar kortere cyclustijden zou gaan, is de invloed op vertragingen veel groter. Kortere cyclustijden verkorten echter wel de wachttijden voor de zwakke weggebruikers. Om die binnen te perken te houden kan overwogen worden om die zwakke weggebruikers twee groenfasen per lange cyclus te geven. Een ander mogelijk nadeel van lange cycli is dat de kans groter is dat de afslagstroken te kort of de opstelruimte op het kruisingsvlak te beperkt blijkt te zijn.



Figuur 56 Gemiddelde verliestijd per voertuig (s) voor kruispunten met 4 takken en 2 fasen, met gelijke duur van het groene licht en verloren tijd L van 10 seconden per cyclus (Bron: Webster)

Bij lage verkeersintensiteiten is de optimale cyclusduur tamelijk kort, terwijl bij hogere verkeersintensiteiten het vaak aangewezen is de cyclusduur te verhogen. Er kan voor gekozen worden om de cyclusduur bij hoge intensiteiten reeds op te hogen tot maximaal 1,5 x de berekende optimale

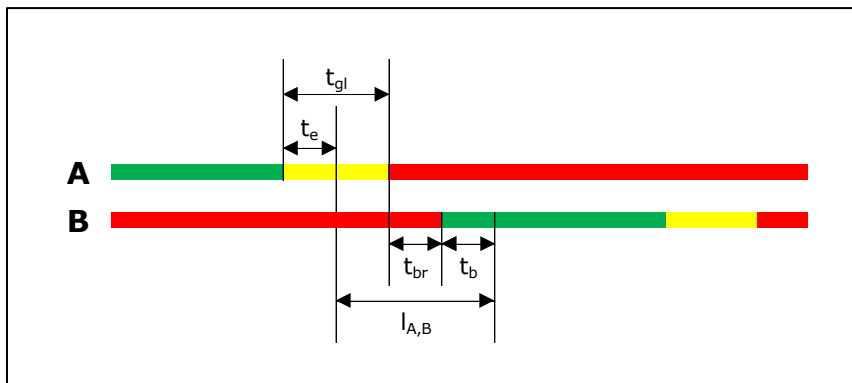
cyclusduur. Bij het uiteindelijke ontwerp van de voertuigafhankelijke regeling is dit dan de absolute maximale cyclustijd, afgezien van extra verlenging door openbaar vervoer

Door de wachttijdbeperking in het afwegingskader wordt slechts zelden een hogere cyclustijd dan 120 s gekozen (zonder beïnvloeding door openbaar vervoer). Bij hogere cyclustijden dan 120 s worden de gemiddelde wachttijden in het algemeen als niet acceptabel beschouwd, terwijl daarnaast uit onderzoek van Webster blijkt dat deze hogere cyclustijd weinig tot geen capaciteitswinst oplevert. Bij beperkte opstelruimte (korte afslagstroken of bij deelkruispunten op het kruisingsvlak) kunnen kortere cyclustijden juist voordeliger zijn dan berekend volgens Webster, die daar geen rekening mee hield.

In de praktijk variëren de maximale cyclustijden op de kruispunten in Vlaanderen meestal tussen de 70 en 120 seconden.

3.1.6.1 Totale interne verliestijd (L)

De totale (interne) verliestijd (L) is de som van de tijd die verloren gaat gedurende een cyclus. Deze tijd gaat verloren tussen de groenfasen voor de verschillende richtingen. Deze verliestijd ("l") wordt bepaald door de veiligheidstijden. Bij een overgang van de ene fase naar een andere fase wordt er op 3 momenten tijd verloren: tijdens het oranjegeel (t_{gl}), tijdens de beideroodtijd (t_{br}) en tijdens de start van het groen ten gevolge van reactietijd en optrekverliezen (t_b). Niet de gehele oranjegeeltijd is echter verliestijd omdat er voertuigen nog doorrijden tijdens de 'benutte oranjegeeltijd' (t_e).



Figuur 57 Interne verliestijd tussen twee groenfasen

Er bestaan verschillende methoden om "l" te bepalen. De wetenschappelijke literatuur is hierover niet duidelijk en tegenstrijdig. De bepaling van "l" hangt namelijk samen met een aantal andere aspecten:

- de gekozen afrijcapaciteit;
- de beoordeling van het verschil in afrijcapaciteit tussen het eerste gedeelte van de groenfase en de latere gedeeltes;
- het al dan niet meerekenen van het optrekverlies van de voertuigen na het eerste voertuig.

Twee voorbeelden van methodes van het bepalen van "l" zijn:

- Webster neemt de beide-roodtijd en telt hier 2s bij op. Hij beschouwt deze 2s als een standaardwaarde voor de som van de ongebruikte oranjegeeltijd en het optrekverlies.
- In Wilson (2014) wordt volgende formule gebruikt:

$$l = \text{oranjegeeltijd} - \text{benutte oranjegeeltijd} + \text{ontruimingstijd (of beideroodtijd)} + \text{optrekverliezen}$$

(Noot: Voor de benutte oranjegeeltijd per fase is er geen eenduidige waarde af te leiden uit CROW 134. Voor de optrekverliezen wordt er met 2 à 3s gerekend voor rechtdoorgaande bewegingen en eventueel nog meer (tot 5s) voor afslaande bewegingen.)

Deze verschillende berekeningsmethoden kunnen een verschil opleveren in de waarde van L van enkele seconden. Dit verschil heeft invloed op de bepaling van de optimale cyclusduur. Per seconde verliestijd die

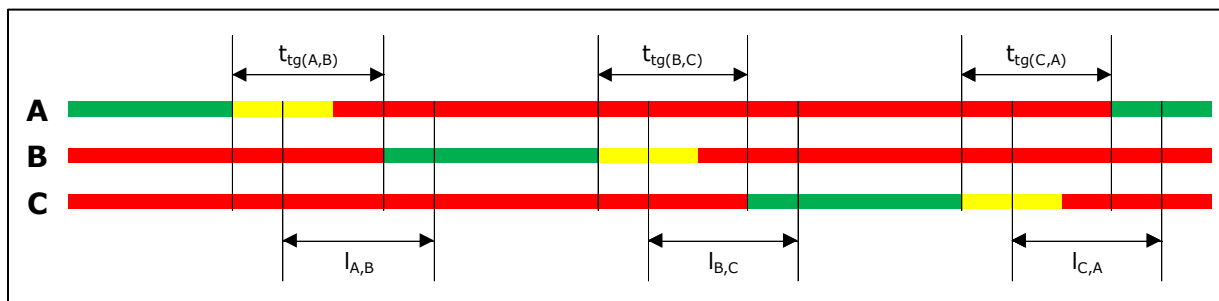
wordt aangenomen neemt de optimale cyclustijd toe met $\frac{1.5}{1-Y}$. Nemen we bijvoorbeeld een conflictbelasting 0,80 dan stijgt de optimale cyclusduur met 7,5s per seconde extra verliestijd.

Voor de bepaling van "l" voor verkeerslichtenregelingen in Vlaanderen gebruiken we de volgende uitgangspunten:

- In Vlaanderen gebruiken we een 'voorzichtige' afrijcapaciteit 1800 pae/u (zie hoofdstuk 3.1.3), die eerder voorzichtig is gerekend en dus inherent rekening houdt met het optrekverlies in het eerste gedeelte van de groenfase.
- Bij de analyses van verkeerslichtenregelingen wordt ervan uitgegaan dat de werkelijke groentijd van een fase even lang duurt als de "effectieve groentijd": de tijd die effectief gebruikt wordt door afrijdende voertuigen. Uit deze assumptie volgt dat de benutte oranjegeeltijd gelijk is aan de reactietijd plus het optrekverlies (in Figuur 58 is de effectieve groentijd van fase B dus de tijd tussen $l_{A,B}$ en $l_{B,C}$).

Uit deze assumpties volgt dat de benutte geeltijd (t_e) gelijk is aan het optrekverlies (t_b). Hieruit volgt dan weer dat verliestijd tussen twee fasen ($l_{x,y}$) gelijk is aan de tussengroentijd tussen twee fasen ($t_{tg(x,y)}$).

Bijvoorbeeld:



Figuur 58 Voorbeeld verliestijden in een 3-fasenregeling

In een driefasenregeling is de totale verliestijd (L) de som van:

- de verliestijd tussen seingroep A en seingroep B ($l_{A,B}$)
- de verliestijd tussen seingroep B en seingroep C ($l_{B,C}$)
- de verliestijd tussen seingroep C en seingroep A ($l_{C,A}$)

Bij regelingen met meer fasen zal de verliestijd toenemen naarmate er meer fasen worden toegevoegd. Daarom is het bij de bepaling van de fasenvolgorde van belang te kiezen voor de volgorde met de laagste interne verliestijd.

De totale interne verliestijd is dus:

$$L = l_{A,B} + l_{B,C} + l_{C,A} + l_{n,A}$$

Hierin is:

L : totale interne verliestijd

$l_{A,B}$: verliestijd tussen seingroep A en seingroep B

Dit is uiteraard een grove, theoretische benadering van de (interne) verliestijd. In de praktijk zal deze verliestijd variëren in functie van verschillende factoren zoals het optrekvermogen van het voertuig, de weersgesteldheid, het gedrag van de weggebruikers...

In sommige gevallen kan er, om een specifieke reden, steeds voor gekozen worden om de berekeningsmethode van Webster, Wilson of een andere berekeningsmethode te hanteren.

3.1.6.2 Minimumgroentijden van fietsers en voetgangers

a) Verzadigingsintensiteiten van fietsers en voetgangers.

Het fundamentele verschil tussen de groentijden voor voertuigen en zwakke weggebruikers is dat de verzadigingsintensiteit of afrijcapaciteit zelden een beperkende factor is bij de zwakke weggebruikers. Wilson (2014) vermeldt als afrijcapaciteiten voor oversteken van zwakke weggebruikers op kruispunten de volgende waarden uit Tabel 8.

Verkeerssoort	Breedte strook of oversteekplaats	Afrijcapaciteit
Fietsers	1,8 – 2,0 m	5000 fietsers/uur
Voetgangers	3,0 m	15000 voetgangers/uur
	4,0 m	20000 voetgangers/uur

Tabel 8 Afrijcapaciteit van fietsstroken en voetgangersoversteekplaatsen (Overgenomen uit Wilson 2014, p.150 tabel 7-9)

In het "Onderzoeksrapport naar de opstelcapaciteit en afrijcapaciteit van fietspaden bij geregelde kruispunten" (CROW, 2016) heeft men vastgesteld dat de afrijcapaciteit bij een verkeerslicht 0,9 fietsers per seconde per meter fietspadbreedte bedraagt. Als men uitgaat van een fietspadbreedte van 2,0m, en 30s groentijd voor de fietsers op een cyclus van 90s, dan komt men ongeveer op een maximale capaciteit van 2160 fietsers/uur.

Zulke hoge intensiteiten worden in Vlaanderen zelden waargenomen tenzij bij evenementen. Alle zwakke weggebruikers die staan te wachten aan een oversteek zullen in bijna alle gevallen binnen 1 cyclus kunnen oversteken.

Indien dit in de praktijk niet het geval zou zijn, kan aan de hand van de bovenstaande gegevens eventueel de groentijd verlengd te worden, al dan niet door middel van detectie van fietsers en/of voetgangers.

Kiest men bijvoorbeeld voor een aparte groenfase voor fietsers of om het fietsersgroen tegelijk met het voetgangersgroen af te breken, dan is een groenfase van bijvoorbeeld 7 s op een cyclus van 100 s slechts voldoende voor $1,8 \cdot 7 \cdot 36 = 454$ fietsers per uur. Dan verdient het dus wel aanbeveling om de fietscapaciteit met de fietsintensiteit te vergelijken.

b) Criteria voor minimumgroentijden van fietsers en voetgangers

Wat wel altijd een factor is waar rekening mee gehouden moet worden is de geometrie van het kruispunt. De afstand die zwakke weggebruikers (met name voetgangers) moeten afleggen gaat bepalend zijn voor de groentijd die ze nodig hebben.

Artikel 4.1 van het reglement voor de wegbeheerder schrijft voor dat er voor de bepaling van de minimale groentijd voor voetgangers rekening gehouden moet worden met een wandelsnelheid van 1,2m/s. Een voetganger moet dus in staat zijn om de volledige oversteek te dwarsen als hij of zij zich verplaatst met een snelheid van 1,2 m/s. Dit is het theoretische minimumtijd waarmee rekening gehouden moet worden. Als er ruimte is in de cyclus kan er een langere groentijd worden ingesteld voor de voetgangers (bv. gerekend met een snelheid van 1,0 m/s). Dit komt het gebruiksgemak zeker ten goede. In de omgeving van ziekenhuizen, rusthuizen of scholen is het echter aangewezen om deze lagere snelheid standaard te gebruiken.

Men mag daarnaast bij rood steeds zijn oversteek steeds vervolledigen. Deze minimumtijd bestaat dus enkel om het nodige comfort te bieden voor voetgangers om "in het groen over te steken", maar eigenlijk berust dit op een misverstand, nl. dat de weggebruikers soms het verkeersreglement verkeerd interpreteren (men mag wettelijk gezien enkel tijdens het groen beginnen met oversteken, maar men interpreteert dan soms dat wanneer het rood wordt, men niet langer "wettig" aan het oversteken is, terwijl dit uiteraard wél zo is).

Omdat het dwarsen van verschillende rijstroken door zwakke weggebruikers veel tijd vraagt worden er soms middenbermen aangelegd. Dit deelt de oversteek dan op in 2 delen met een rustpunt in het midden. Bij het bepalen van de ontruimingstijden in de vorige paragraaf werd er gesteld dat er in deze situatie voor de ontruiming rekening moet worden gehouden met enkel het over te steken deel tot aan de overkant van de weg of tot aan het rustpunt in de middenberm. De minimumgroentijd bij een oversteek met een middenberm wordt echter langer ingesteld dan de ontruimingstijd. De groentijd wordt zo ingesteld dat een voetganger in staat is om over te steken tot minimum 1m voorbij de middenberm en bij voorkeur tot de helft van de tweede weghelft. De voetganger heeft dan dankzij de ontruimingstijd voldoende tijd om de oversteek veilig te vervolledigen. Twee belangrijke voorwaarden zijn dat de middenberm voldoende breed is om als rustpunt te kunnen gebruiken en dat er een voetgangerslicht wordt aangebracht op deze middenberm.

Het is belangrijk om deze minimum groentijd goed te bepalen, omdat vermeden moet worden dat voetgangers terugkeren voor hun oversteek is vervolledigd omdat het licht al op rood springt.

Wat fietsers betreft wordt er gerekend met een maximale snelheid van 5 m/s. Dit levert meestal vrij korte minimumgroentijden op. Toch wordt ervoor gekozen om de groentijd nooit lager in te stellen dan 5 s. Wanneer een fietsoversteek niet gecombineerd wordt met een voetgangersoversteek, zou het kunnen dat deze toch occasioneel door voetgangers wordt gebruikt. Hierdoor is een minimumgroentijd van 7 seconden (of langer bij uitzonderlijk lange oversteken) meer aangewezen, omdat dit iets meer veiligheid biedt voor de occasioneel overstekende voetgangers.

De benodigde groentijden en ontruimingstijden voor voetgangers nemen vaak relatief veel tijd in beslag. Dit is vooral het geval bij lange voetgangersoversteken zonder middenberm. In het geval van een deelconflict wordt de minimale groentijd zodanig hoog dat de regeling vrij star wordt. Om dit te vermijden kan ervoor gezorgd worden dat het voetgangerslicht enkel op aanvraag groen wordt door middel van een drukknop voor voetgangers. (zie 5.3.3a) Wanneer er tijdens een bepaalde cyclus geen voetgangers aanwezig zijn, kan de minimumgroentijd voor voertuigen gereduceerd worden.

Een andere optie is het gebruik maken van voetgangersradars. Hierbij wordt uitgegaan van een zo laag mogelijke minimumgroentijd voor voetgangers, maar wordt deze verlengd door een detectie m.b.v. een radar als er zich na het verstrijken van de minimumgroentijd nog voetgangers op de oversteekplaats begeven. Op die manier kan er toch flexibel worden omgesprongen met de groen- en ontruimingstijden voor voetgangers. (zie 5.3.3b)

3.1.7 Groentijdverdeling

De maximale lengte van de groentijd voor voertuigen is intensiteit-gedetermineerd. Dit wil zeggen dat ze wordt ingesteld op basis van de intensiteit van het verkeer dat zich aandient aan het kruispunt. De intensiteiten worden steekproefsgewijs geteld tijdens representatieve perioden.

Uit deze tellingen kan er een stroomdiagram worden afgeleid dat het piekverkeer dat het kruispunt te verwerken krijgt weergeeft. Er wordt altijd getracht om de verkeerslichtenregeling zo af te stellen dat al het verkeer dat zich aandient in één cyclus kan verwerkt worden (look op piekmomenten).

Nadat de optimale cyclusduur bepaald is moet de beschikbare groentijd verdeeld worden over de verschillende fasen. De beschikbare groentijd is de maximale cyclusduur (C of C_o) verminderd met de totale tussengroentijd van alle fasen in de regeling. Voor een regeling met 3 fasen komt men dan bijvoorbeeld tot de tussengroentijd van alle drie de fasen op te tellen:

$$T_{tg} = t_{tg1,2} + t_{tg2,3} + t_{tg3,1}$$

Webster tracht de verliestijd op het kruispunt te minimaliseren. Uit experimenten is gebleken dat de beschikbare groentijd best proportioneel met de belastingsgraden op de betreffende takken wordt verdeeld. In formules uitgedrukt geeft dit volgende formulering.

$$g_1 = \frac{y_1}{Y} (c_o - T_{tg})$$

$$g_2 = \frac{y_2}{Y} (c_o - T_{tg})$$

$$g_3 = \dots$$

Hierin is:

g_1 : groentijd voor fase 1

y_1 : belastingsgraad van fase 1

Y : totale conflictbelasting

C_o : optimale cyclusduur

T_{tg} : totale tussengroentijd

Afhankelijk van het aantal fasen moeten er 2 of meerdere groentijden bepaald worden. Voor fasen die een minimumgroentijd hebben die lager is dan de eerder bepaalde minimumgroentijd (5 s voor voertuigen of de minimumgroentijd voor voetgangers) dient de eerder bepaalde minimumgroentijd als leidend beschouwd te worden en dient de berekening van de andere groentijden hiermee rekening te houden (de cyclus moet dan bv. verlengd worden om de groentijdverdeling voldoende in balans te houden).

De groentijdverdeling is van cruciaal belang om de verliestijd op een kruispunt minimaal te houden. De vrijheidsgraden voor een foute afstelling i.v.m. de groentijd verdeling zijn beduidend minder dan voor de afstelling van de cyclusduur. Het is dan ook zeer belangrijk om een goede afweging van de groentijden te bekomen. Dit wordt aangetoond door Webster (p.58-59).

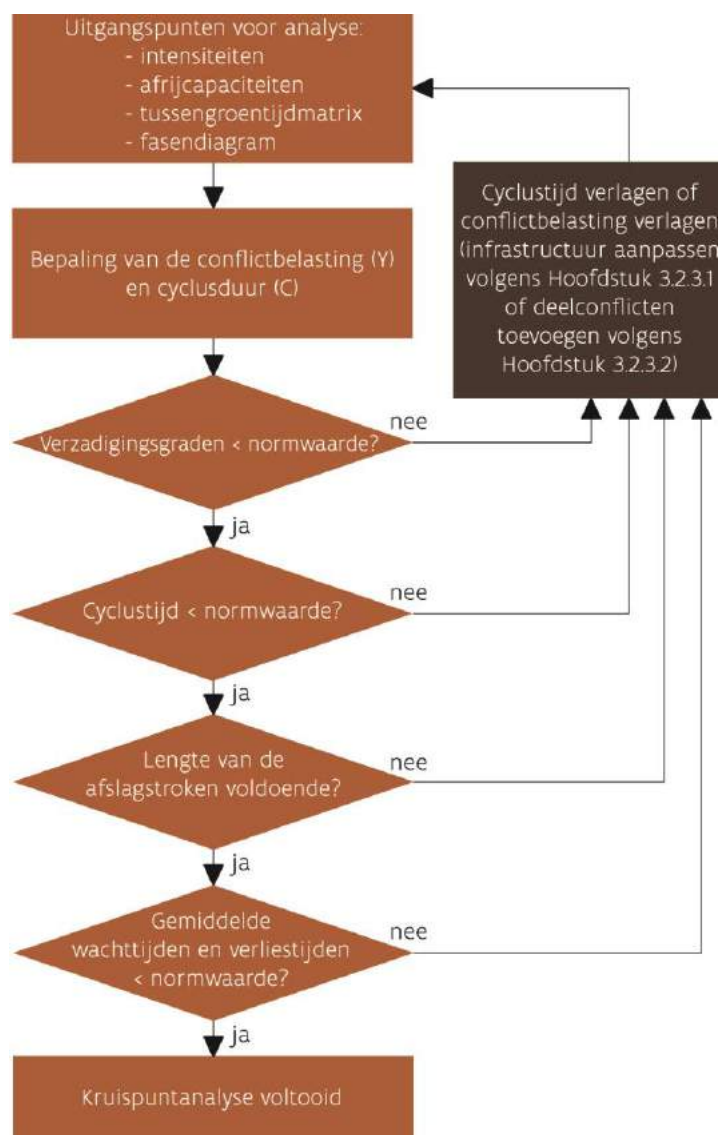
Naast de theoretische beschouwing i.v.m. de optimale afstelling moet er uiteraard ook rekening gehouden worden met veiligheidstijden. Lange ononderbroken voetgangersoversteken over brede wegen kunnen er voor zorgen dat de groentijd die moet gegeven worden aan een bepaalde richting hoger is dan het theoretisch optimum. Dit beperkt de mogelijkheden voor een optimale afstelling van de verkeerslichten op kruispunten met voetgangersoversteken.

Het bepalen van de cyclusduur en groentijdverdeling geeft de optimale starre cyclus/basisregeling. Omdat niet voor elk moment van de dag op voorhand kan bepaald worden wat optimum is, aangezien dit wijzigt met de intensiteiten van het verkeer, moet er over gegaan worden naar een voertuigafhankelijke werking van de verkeerslichtenregeling. Alvorens dit te doen kan er eerst worden geëvalueerd of de basisregeling voldoet aan de vooropgestelde randvoorwaarden.

3.2 Kruispuntanalyse: iteratie(s) van analyse en maatregelen

Na de keuze van een fasenvolgorde en cyclusduur is de volgende stap de prestaties van die keuze te kwantificeren. Dit hoofdstuk zet de berekeningswijze van een aantal indicatoren uiteen, waarmee de basisregeling nader kan worden bekeken. Als uit die analyse blijkt dat de basisregeling het verkeer op het kruispunt niet op een aanvaardbare manier kan afwickelen dan dienen er één of enkele iteraties plaats te vinden van het proces kruispuntanalyse om tot een bevredigend resultaat te komen. Bij iedere iteratie zijn er verschillende pistes die bewandeld kunnen worden om de afwikkeling van het kruispunt vlotter te maken met een zo klein mogelijk negatief veiligheidseffect. In de volgende paragrafen worden deze verder behandeld.

De berekening van een optimale cyclusduur en een optimale groentijdverdeling geeft niet noodzakelijk een filevrije oplossing voor een kruispunt of een oplossing die niet leidt tot onaanvaardbare wachttijden. Om op voorhand een inschatting te maken van de impact van een lichtenregeling op de verkeersafwikkeling van een kruispunt kunnen er verschillende soorten evaluaties gebeuren. Deze vallen onder 2 grote categorieën: Analytische evaluatie en evaluatie via simulatie. In de volgende paragrafen worden deze methodieken besproken. Deze methodieken kunnen eveneens gebruikt worden om regelingen die reeds in voege zijn te analyseren. Een schematische weergave van dit iteratief proces is te zien in onderstaande Figuur 59.



Figuur 59 Proces Kruispuntanalyse

3.2.1 Analytische evaluatie

3.2.1.1 Verzendingsgraad

Een eerste manier om de impact van een lichtenregeling op de verkeersafwikkeling van een kruispunt te kunnen inschatten is om de verzadigingsgraden van de verschillende takken te berekenen. De verzadigingsgraad houdt nauw verband met de conflictbelasting (hoofdstuk 3.1.4) die eerder werd besproken.

De verzadigingsgraad wordt berekend door in de formule van de belastingsgraad de verzadigingsintensiteit te corrigeren voor de beschikbare groentijd per cyclus.

$$X_1 = \frac{q_1}{\left(\frac{g_1}{C}\right) * s}$$

Hierin is:

g_1 : groentijd voor fase 1

q_1 : gemeten intensiteit fase 1

X : belastingsgraad fase 1

C : cyclusduur

S : verzadigingsintensiteit

Deze berekening geeft dan aan welk percentage van de voertuigen die zich aandienen (q) kunnen verwerkt worden tijdens de beschikbare groentijd. De intensiteit over capaciteit verhouding geeft dus aan wat de verzadigingsgraad is. Waarbij de capaciteit wordt berekend door de maximale capaciteit van een rijstrook per tijdseenheid (verzadigingsintensiteit) te vermenigvuldigen met het percentage aan beschikbare groentijd per tijdseenheid (cyclus).

$$\text{capaciteit} = \left(\frac{g}{c}\right) * s$$

Om een vlotte afwikkeling van een kruispunt te hebben zijn de verzadigingsintensiteiten op de verschillende takken best zo klein mogelijk. Indien $X \geq 0.85$ (of 85%) zijn er afwikkelingsproblemen te verwachten. Wanneer de verhouding groter is dan 1 is er sprake van oververzadiging. Bij een optimale, gelijkmatige groenverdeling zijn de verzadigingsgraden van de seingroepen in de maatgevende conflictgroep trouwens even groot.

Verzendingsgraad	Beschrijving
< 80%	Er is geen sprake van afwikkelingsproblemen
80 – 90%	Lichte filevorming is mogelijk, zonder ernstige gevolgen voor de capaciteit
90 – 100%	Matige filevorming met een kritische afwikkelcapaciteit tot gevolg
> 100%	Ernstige filevorming met ernstige capaciteitsproblemen.

Tabel 9 Beschrijving verzadigingsgraden

3.2.1.2 Gemiddelde wachttijd voor voetgangers

Aangezien zwakke weggebruikers quasi geen capaciteitsbeperkingen hebben kan de eerder aangehaalde verzadigingsgraad geen indicatie geven over de performantie van de lichtenregeling voor deze weggebruikers. Een maatstaf die wel kan berekend worden is de gemiddelde wachttijd.

De formule voor de gemiddelde wachttijd voor een starre regeling is als volgt:

$$\bar{W} = \frac{R^2}{2 * (R + G)} = \frac{R^2}{2 * C}$$

Hierin is:

R : Roodtijd

G : Groentijd

C : Cyclusduur

De gemiddelde wachttijd wordt dus bepaald door de roodtijd en de cyclusduur. Belangrijk is om in het achterhoofd te houden dat de cyclusduur ook bepaald wordt door de roodtijd. Indien de roodtijd wordt verhoogd neemt de teller kwadratisch toe terwijl de noemer lineair toeneemt. Er is dus een interactie tussen teller en noemer.

In feite is deze formule een vereenvoudiging van een algemenere formule voor de verliestijd aan een tak van een kruispunt. Met deze algemene formule kan ook de verliestijd voor voertuigen berekend worden. Dit wordt besproken in het volgende puntje.

3.2.1.3 Gemiddelde verliestijd

Akcelik (1981) heeft een (algemene) verliestijdformule afgeleid die bestaat uit 2 onderdelen. De uniforme verliestijd en verliestijd veroorzaakt door de 'overloop wachtrij' (overflow queue).

De uniforme verliestijd wordt veroorzaakt door een (veronderstelde) uniforme stroom voertuigen die toekomen aan een kruispunt tijdens de roodtijd en pas weer volledig vertrokken zijn gedurende het eerste gedeelte van de groentijd.

Het tweede onderdeel van de verliestijd, veroorzaakt door de 'overloop wachtrij' (overflow queue), ontstaat doordat de verkeersstroom in werkelijkheid niet uniform toekomt aan een kruispunt. Hierdoor zijn er variaties in het aantal voertuigen dat per cyclus arriveert. Indien in de ene cyclus de verwerkingscapaciteit wordt overschreden veroorzaakt dit extra verliestijden in de volgende cyclus. Er zijn namelijk 1 of meerdere voertuigen die reeds staan te wachten bovenop degene die in die cyclus toekomen.

In formules uitgedrukt geeft dit het volgende:

$$\bar{d} = \frac{\text{Uniforme verliestijd}}{2 * (1 - y)} + \frac{\text{Overloop verliestijd}}{q}$$

Hierin is:

\bar{d} : gemiddelde verliestijd per voertuig (delay)

$N_o = \frac{Q * T_f}{4} * \left\{ (x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{12 * (x - x_o)}{Q * T_f}} \right\}$: overloop wachtrij (overflow queue in pae)

$x_o = \frac{2}{3} + \frac{s * G}{600}$: Verzadigingsgraad waaronder de overloop wachtrij ongeveer 0 is

Als $x \leq x_o \rightarrow N_o = 0$

met:

C : Cyclusduur

u : percentage groentijd = $\frac{G}{C}$
 y : belastingsgraad = $\frac{q}{s}$
 x : verzadigingsgraad
 q : aantal toekomstige voertuigen per seconden
 Q : capaciteit in voertuigen per uur = $K * u = s * 3600 * \frac{G}{C}$
 T_f : Tijdsduur waarvoor de opgegeven intensiteit geldt (uren)

Wanneer de verzadigingsgraad laag is zal er nooit een overloopwachtrij zijn en wordt de tweede term 0. De verliestijd bestaat dan enkel uit de eerste term (uniforme verliestijd) dewelke een functie is van de cyclusduur, het percentage groentijd en de belastingsgraad.

In het bijzondere geval wanneer de belastingsgraad erg laag is, bv. bij voetgangers omdat de verzadigingscapaciteit (s) erg hoog is, wordt de term $(1-y) \approx 0$.

De formule voor de uniforme verliestijd kan dan omgevormd worden tot deze van de eerder aangehaalde gemiddelde wachttijd voor voetgangers.

$$\bar{d} = \frac{C * (1 - u)^2}{2 * (1 - y)} \approx \frac{C * (1 - u)^2}{2 * (1 - 0)} = \frac{C * (1 - u)^2}{2} * \frac{C}{C} = \frac{C^2 * (1 - u)^2}{2 * C} = \frac{R^2}{2 * C}$$

Hierin is:

$$R = (1 - u) * C = \left(1 - \frac{G}{C}\right) * C = C - G$$

als gemiddelde verliestijd voor het kruispunt.

De voorgaande formules geven de gemiddelde verliestijd voor een bepaalde tak. Om tot een gemiddelde verliestijd te komen voor het gehele kruispunt dient het gewogen gemiddelde genomen te worden. Dit kan gedaan worden door de gemiddelde verliestijd te vermenigvuldigen met de intensiteit. Dit geeft dan de totale verliestijd. Als de totale verliestijden voor alle takken wordt gesommeerd en opnieuw gedeeld door de totale intensiteit krijgt men de gemiddelde verliestijd voor het kruispunt. (Wilson 2008, p. 352-363)

3.2.1.4 Lengte van de afslagstroken

Om op voorhand in te schatten of de afslagstroken in een ontwerp voldoende lang zijn moet er gekeken worden naar de te verwachten (maximale) wachtrij op de afslagstrook zelf en op de stroken die naar de afslagstrook toe leiden.

Dit kan volgens twee methodes:

a) De methode voor de berekening van de linksafstroken uit hoofdstuk 2.4.1

Benodigde lengte linksafstrook = (pae / u op linksafstrook / aantal cycli per uur) * 7 meter * 1,5

Deze methode is de meest gebruikte en geeft een snelle, ruwe inschatting van de benodigde lengte van een afslagstrook.

b) Kansberekening m.b.v. poissonverdeling

Een meer gedetailleerde berekening is een kansberekening m.b.v. de poissonverdeling. De wachtrij tijdens de roodfase groeit aan tot $q * R$ voertuigen. Indien we dit aantal voertuigen vermenigvuldigen met de gemiddelde voertuiglengte (7m) kennen we bij benadering de gemiddelde wachtrij (de achteraan aansluitende voertuigen tijdens groenfase buiten beschouwing gelaten).

Om in te schatten hoe lang een afslagstrook moet zijn gaan we berekenen welke wachtrij zich in minder dan 5% van de gevallen zal voordoen bij de gekende gemiddelde wachtrij. Met behulp van de poissonverdeling kan de kans berekend worden dat iets zich voordoet voor een gekend gemiddeld aantal keren dat iets zich voordoet.

$$P_{(k>N;m)} = 1 - P_{(x \leq N;m)} = 1 - \sum_{k=0}^N \frac{e^{-m} * m^k}{k!}$$

Hierin is:

m : het gemiddeld aantal keren dat iets zich voordoet

N : een vrij te kiezen geheel getal waarvan de kans wordt berekend dat het zich voordoet

Als de bovenstaande som iteratief wordt doorlopen tot $P_{(x \leq N;m)} \geq 95\%$ of $P_{(k>N;m)} = 1 - P_{(x \leq N;m)} \leq 5\%$ dan kennen we de waarde N waarvoor dit geldt. Dit is dan onze wachtrij die zich in minder dan 5% van de gevallen zal voordoen.

Voor lage getallen is dit bij benadering $1,5 * \text{gemiddelde wachtrij}$.

Het is belangrijk om niet enkel de wachtrij van de afslagstrook te berekenen maar ook om die van de toeleidende (rechtdoorgaande) strook. Indien deze wachtrij te lang wordt kan de afslagstrook niet gevoed worden en kan deze strook dus niet optimaal gebruikt worden.

3.2.2 Analyse o.b.v. microsimulatie

3.2.2.1 Varianten

Microsimulatie wordt standaard gebruikt voor de afweging van verschillende varianten. Deze kunnen inhouden:

- Verschillende lichtenregelingen
- Verschillende infrastructurele varianten
- Verschillende verkeersintensiteiten
- Combinaties van bovenstaande

Vaak wordt een bestaande toestand vergeleken met een variant met mogelijke aanpassing maar dit is niet altijd het geval.

Typisch wordt een microsimulatie opgebouwd voor de ochtendspits en avondspits. In deze micromodellen wordt dan een bepaalde momentopname gereconstrueerd, zowel qua infrastructuur, lichtenregeling en intensiteiten.

3.2.2.2 Output

Om de verschillende scenario's t.o.v. elkaar af te wegen en te kwantificeren worden standaard volgende evaluatiecriteria gegenereerd:

- Verliestijden per beweging: Reistijd min theoretische minimum reistijd over een vast traject (bv. 1000m): gemeten van X aantal meter voor de stopstreep (tot buiten file-invoedsgebied) tot X aantal meter na de stopstreep
- Reistijden OV: gemiddelden per OV-lijn + uitschieters per OV-Lijn
- Gem. verliestijd per modus over de volledige simulatieperiode.
- Max. filelengte per richting: Max. filelengte per richting, uitgezet in grafiek voor bijhorende (spits)-periode met tijdsinterval 5-15min. Er wordt dus per 15 of 5 minuten gekeken tot waar voor deze richting aan de filevoorwaarde voldaan werd (voertuig vertraagt tot minder dan 10 km/h of bij het optrekken onder de 5 km/h blijft)

3.2.3 Maatregelen om de conflictbelasting te verlagen

3.2.3.1 Infrastructurele maatregelen

Met infrastructurele maatregelen is het vaak mogelijk om de capaciteit van een kruispunt sterk te beïnvloeden. De belangrijkste maatregelen die er kunnen voor zorgen dat de conflictbelasting van een kruispunt daalt, worden hieronder besproken. Uiteraard is het in deze stap van belang dat de ontwerper van het kruispunt en de specialisten van de afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica in overleg de mogelijkheden bekijken.

a) Toevoegen of verlengen van rijstroken

Een eenvoudige oplossing (in theorie) om de capaciteit van een kruispunt te verhogen is het toevoegen of verlengen van opstelstroken:

- Rijstroken worden best toegevoegd op de tak(ken) waar de te verwachten winst het grootste is. Rijstroken toevoegen heeft ook nadelen. De oversteeklengte voor zwakke weggebruikers neemt toe wat betekent dat de minimale groentijd en uitlooptijd voor deze richtingen verhoogd moeten worden. De regeling kan hierdoor minder dynamisch worden en een kleine groentijd van een rustige dwarsrichting kan opgerekt worden, waardoor ook de cyclustijd mee moet stijgen.
- Het kan ook zeer nuttig zijn om bepaalde stroken te verlengen, mocht blijken uit de kruispuntanalyse dat er stroken te kort zijn. Vooral bij te korte stroken die conflictvrij geregeld worden, bestaat de kans dat deze andere stromen op het kruispunt blokkeert en zo de capaciteit van het kruispunt sterk benadeelt.

In de praktijk moet er echter ook de benodigde ruimte beschikbaar zijn om de toevoeging of verlenging van de rijstrook effectief te realiseren. Indien hier onteigeningen mee gepaard gaan kan de kostprijs van zulke ingrepen hoog oplopen en bestaat eveneens het risico dat dit lang op zich zal laten wachten qua effectieve uitvoering. Er zou op dat moment eventueel een kosten-batenanalyse gemaakt kunnen worden om te onderzoeken of de te verwachten winst groot genoeg is om de investering te verantwoorden.

Voor de berekening van de benodigde lengtes van afslagstroken, zie hoofdstuk 2.4.1 en 3.2.1.4.

b) Verandering van de indeling van de rijstroken

In sommige gevallen is het raadzaam om de indeling van de rijstroken te veranderen om de conflictbelasting omlaag te halen.

Het veranderen van de indeling kan soms er voor zorgen dat een bepaalde rijstrook of verkeersstroom in een andere fase kan vallen, wat de conflictbelasting naar beneden brengt.

Een voorbeeld hiervan is het veranderen van een eerder klassieke rijstrookindeling (één rijstrook linksaf, één rijstrook rechtsdoor+rechtsaf) naar een configuratie van één rijstrook rechtsaf, één rijstrook linksaf+rechtdoor. Vooral bij veel rechts afslaand en weinig links afslaand verkeer kan dit de capaciteit van een regeling verhogen en soms een conflictvrije oplossing mogelijk maken.

3.2.3.2 Afwegingskader deelconflicten

Waar infrastructurele maatregelen geen optie zijn, is de tweede optie om de capaciteit op een kruispunt te verhogen bepaalde deelconflicten toe te staan. Op die manier worden fasen gecombineerd die anders conflictvrij zouden geregeld zijn. Dit hoofdstuk heeft als doel om een afwegingskader te schetsen waarmee bepaald kan worden welke deelconflicten toegestaan kunnen worden ten voordele van de doorstroming op kruispunten die verkeerskundig bestudeerd worden.

a) Definitie “maximaal conflictvrij”

Allereerst is het belangrijk om een goede definitie van het concept ‘maximaal conflictvrij’ te bepalen. In deze definitie wordt het concept uiteengezet op de manier waarop dit in Vlaanderen wordt geïnterpreteerd:

Verkeerslichtenregelingen zorgen voor scheiding in tijd van snijdende verkeersstromen. Hierdoor ontstaat er meer verkeersveiligheid en een vlottere verkeersafwikkeling. Wanneer enkel snijdende verkeersstromen uit verschillende wegen in beschouwing worden genomen zorgt dit voor een minimale, wettelijk bepaalde, verkeersveiligheid.

Om een maximale verkeersveiligheid te bekomen kunnen alle conflicten op een kruispunt gescheiden worden in tijd. Dit is dan een volledig conflictvrije lichtenregeling.

Hoe meer conflicterende stromen worden gescheiden in de tijd hoe minder tijd er beschikbaar is voor elke stroom. In het concept van “maximaal conflictvrije lichtenregelingen” wordt er een balans gezocht tussen verkeersveiligheid en een vlotte verkeersafwikkeling.

Bij de opmaak van een nieuwe lichtenregeling volgens dit concept zijn er de volgende uitgangspunten:

- Eerste iteratie: volledig conflictvrije lichtenregeling.
- Indien dit onvoldoende vlot blijkt: deelconflicten toevoegen volgens een iteratief proces
- Het iteratief proces eindigt wanneer het verkeer voldoende vlot is of wanneer de veiligheidsongegrens bereikt is.

Om tot een afwegingskader te komen voor het toelaten van deelconflicten zullen in deze paragraaf de volgende zaken worden verduidelijkt:

- In welke mate moet de afwikkelingskwaliteit beoordeeld worden wanneer de keuze wordt gemaakt om deelconflicten al dan niet toe te staan?
- Welke deelconflicten zijn de minst ongewenste/onveilige en kunnen dus eerst toegestaan worden?
- Waar ligt de ‘veiligheidsongegrens’?

b) Beoordeling afwikkelingskwaliteit in functie van al dan niet toelaten deelconflicten

Alle verschillende verkeersdeelnemers/modi hebben verwachtingen omtrent de afwikkeling op een verkeerslichtengeregeld kruispunt. Dit kan omschreven worden als de afwikkelingskwaliteit van een kruispunt. Om een lichtenregeling geloofwaardig te houden moet de afwikkelingskwaliteit voldoende hoog liggen. Wat een ‘voldoende hoge’ afwikkelingskwaliteit is, is voor iedere verkeersdeelnemer/modus verschillend. Om als ontwerper van verkeerslichtenregelingen hiermee rekening te kunnen houden worden er grenzen gedefinieerd. In het kader van de verkeersstudies rond het project van de vernieuwing van de verkeerslichten coördinatie centrale (VLCC) in Antwerpen werd een eerste aanzet gegeven om ‘minimale kwaliteitseisen’ voor verschillende modi te definiëren. Deze minimale kwaliteitseisen werden geschreven vanuit een Antwerpse context. Hieronder is een vertaling terug te vinden naar de Vlaamse context.

Zwakke weggebruikers

De maximum¹ wachttijd, voor een zwakke weggebruiker die een weg² wil dwarsen, tussen het einde van het groen en het begin van het volgend groen mag ³de volgende waarden niet overschrijden.

	Maximum wachttijd
In kerngebied ⁴ bebouwde kom	70 sec.
In bebouwde kom buiten kerngebied	90 sec.
Buiten bebouwde kom	110 sec.

Tabel 10 Maximum wachttijden voor zwakke weggebruikers

Openbaar vervoer

De afwikkelingskwaliteit in functie van al dan niet toelaten van deelconflicten moet niet beoordeeld worden voor het openbaar vervoer (OV). In deze stap van het ontwerpproces is de afwikkelingskwaliteit van het OV niet afzonderlijk van belang voor het al dan niet toelaten van deelconflicten. Het niveau van de uiteindelijke afwikkelingskwaliteit/doorstroming wordt immers bepaald door de mate waarin de voertuigafhankelijke regeling reageert op openbaar vervoer, in combinatie met wachtrijen van gemotoriseerd verkeer.

Gemotoriseerd verkeer

De verwachte verzadigingsgraad (x) van het gemotoriseerd verkeer op belangrijke takken⁵ mag niet hoger zijn dan 85% à 90%⁶ gedurende beide⁷ spitsuren.

Voor minder belangrijke takken mag deze verzadigingsgraad hoger zijn.

c) Beoordeling deelconflicten

Als uit de beoordeling van de afwikkelingskwaliteit blijkt dat er één (of meerdere) minimale kwaliteitseisen niet worden gehaald dan moet er overwogen worden om deelconflicten toe te voegen. Hierbij worden eerst de minst ongewenste/onveilige deelconflicten overwogen. De beoordeling hiervan gebeurt op basis

¹ Er wordt gebruik gemaakt van de maximale roodtijd in een (starre) cyclus zonder beïnvloeding van het openbaar vervoer. Dit laat ruimte om in de uiteindelijke lichtenregeling aan selectieve beïnvloeding door het openbaar vervoer te doen.

² Voor het dwarsen van primaire wegen is het aanbevolen om dit ongelijkgronds te organiseren. Op plekken waar dit nog niet het geval is wordt de kwaliteitseis niet gehanteerd.

³ Bij uitgestrekte kruispunten is deze kwaliteitseis niet altijd haalbaar. Er kan omwille van de lokale omstandigheden gemotiveerd afgeweken worden.

⁴ Kerngebieden zijn de centrale gedeelten van de bebouwde kommen waar wonen en handel sterk verweven en gebundeld zijn en waar het voetgangersgebeuren primeert (Vademecum voetgangersvoorzieningen 5.5.3.1 H5 p.52). Indien er uit telling blijkt dat er toch weinig of geen voetgangers voorkomen kan er gemotiveerd worden om een minder strikte kwaliteitseis te hanteren (bv. buiten bebouwde kom).

⁵ Een inschatting van wat 'belangrijke' takken zijn kan door de ontwerper gebeuren met inachtnaam van de wegencategorisering en (eventuele) input van de betrokken gemeente.

⁶ Indien in de huidige lichtenregeling de drempelwaarde van $x = 85\%$ al niet gehaald wordt, wordt gestreefd om de huidige verzadigingsgraad constant te houden

⁷ De beoordeling van de verzadigingsgraad gebeurt voor het drukste spitsuur van de ochtendspits en de avondspits op basis van de geregistreerde verkeersvraag (gemeten intensiteiten + eventuele filelengte).

van de lokale situatie door bijvoorbeeld te kijken naar de configuratie van het kruispunt, de hoeveelheid afslaand gemotoriseerd verkeer en op basis van ongevalgegevens.

De volgende methode wordt voorgesteld:

1. Eerst onderzoeken of conflicten voertuig/voertuig kunnen worden toegevoegd. Eventueel kan er op basis van ongevalgegevens of onderzoek uit het verleden worden afgewogen welke voertuig/voertuig conflicten bij voorkeur wel of niet worden toegevoegd.
2. Onderzoeken of er deelconflicten met zwakke weggebruikers kunnen worden toegevoegd.

Indien deelconflicten worden toegelaten, dienen de aandachtspunten onder 3.2.3.2g) in acht te worden genomen.

d) Veiligheidsondergrens

Als de mogelijkheid tot het toevoegen van deelconflicten is uitgeput dan is de veiligheidsondergrens bereikt. Deze ondergrens kan hoger liggen dan de minimale, wettelijk bepaalde, verkeersveiligheid waarover eerder werd gesproken. De volgende deelconflicten dienen namelijk altijd vermeden te worden:

- Conflicten met een links- of rechts afslaande beweging vanop 2 of meer rijstroken
- Links afslaande conflicten waarbij een voertuig 2 of meer (rechtdoorgaande of rechts afslaande) rijstroken moet dwarsen
- Links afslaande conflicten met de oversteek van dubbelrichtingsfietspaden
- Conflicten tussen afslaande voertuigen en (rechtdoorgaande) trams op eigen bedding
- Conflicten tussen afslaande trams en andere verkeersdeelnemers
- Deelconflicten die in de huidige regeling niet bestaan worden niet toegevoegd tenzij een gevaarlijk(er) deelconflicten kan weggenomen worden door een ongevaarlijk(er) toe te voegen.

Van deze veiligheidsondergrens kan afgeweken worden indien er een akkoord is van alle betrokken actoren met een duidelijke motivering (bv. in het kader van een PCV).

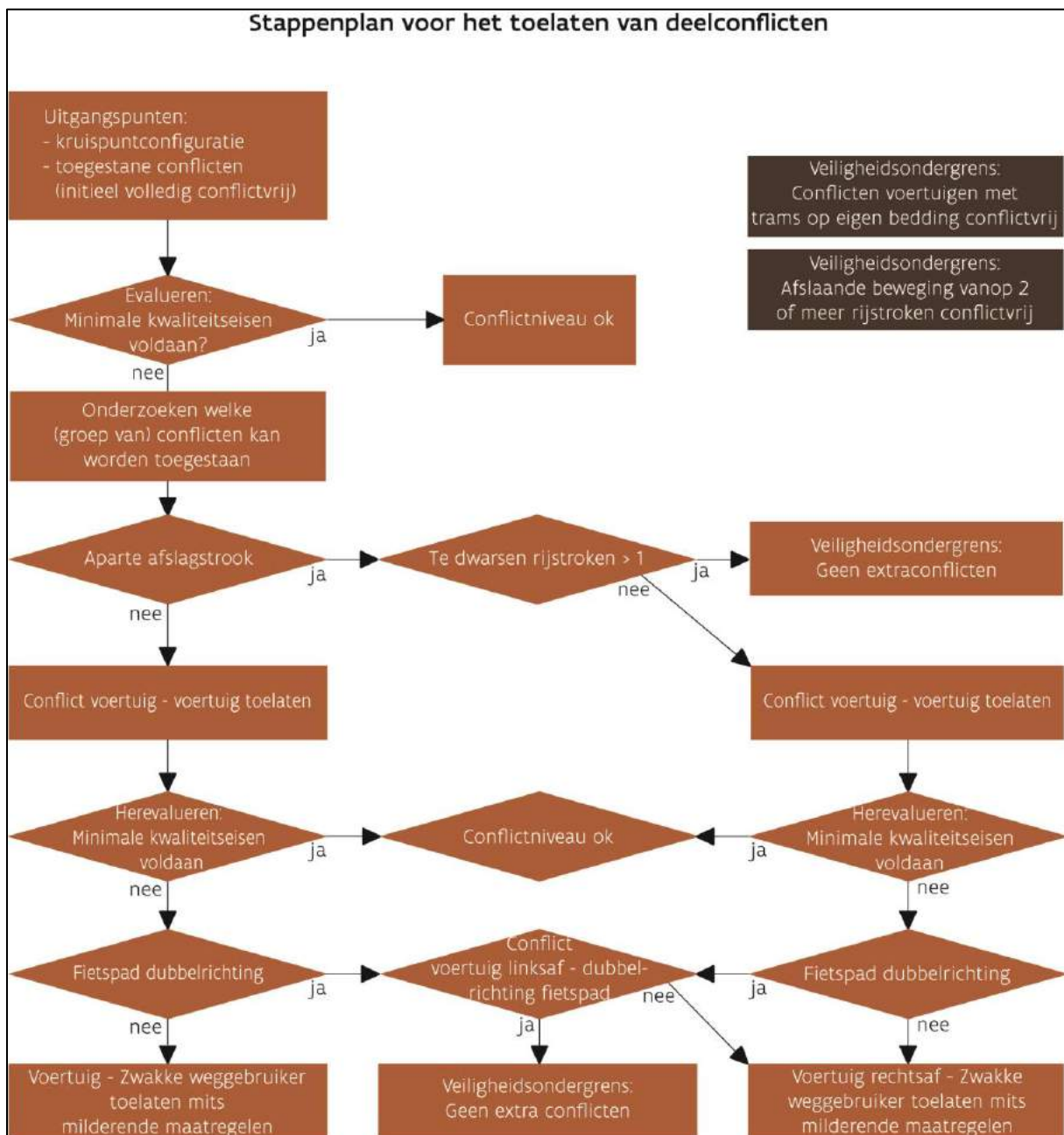
e) Beslissingsboom

Om tot een maximaal conflictvrije lichtenregeling te komen via het voorgaande afwegingskader wordt een iteratief proces doorlopen waarbij onderstaande beslissingsboom een hulpmiddel is. Hierbij wordt er gestart van een volledig conflictvrije regeling¹. Via het iteratief proces komt de gewenste verhouding tussen veiligheid en doorstroming tot stand. In deze beslissingsboom zit de beoordeling van de afwikkelingskwaliteit en de veiligheidsondergrens vervat.

In de eerste stap van de iteratie wordt er gekeken of er aan de minimale kwaliteitseisen voor de verschillende modi kan voldaan worden. Indien dit het geval is dan is het iteratief proces voltooid en wordt de verhouding tussen veiligheid en doorstroming als aanvaardbaar ervaren.

Wanneer de minimale kwaliteitseisen niet gehaald worden dan wordt er gekeken welke deelconflicten er toegestaan kunnen worden om de doorstroming te verbeteren. Na het toevoegen van een deelconflict wordt er opnieuw geëvalueerd of de minimale kwaliteitseisen worden gehaald.

¹ Vierkant groen voor fietsers kan hier al mee overwogen worden, maar nog niet uitgevoerd (zie paragraaf 3.1.5.4). Vierkant groen voor voetgangers is juridisch wel reeds mogelijk.



Figuur 60 Stappenplan afwegingskader deelconflicten

f) Resultaat

De uitkomst van deze iteratieve oefening op elk kruispunt is een maximaal conflictvrije fasenvolgorde waarin er zo conflictvrij mogelijk geregeld wordt mits rekening te houden met de afwikkelingskwaliteit. Als finale stap wordt best geëvalueerd of alle gelijkaardige kruispunten in een gebied dezelfde deelconflicten toelaten (of niet toelaten). Hierbij kan er dan nog een bijsturing gebeuren in functie van de uniformiteit van conflicten binnen een gebied. De bepaling van de conflicten op het kruispunt, of in een gebied, geeft het kader waarbinnen er getracht moet worden om eventueel bijkomende doorstromings-beleidsdoelstellingen te realiseren. De vooropgestelde bijkomende doorstromings-beleidsdoelstellingen mogen geen invloed hebben op het bepalen van de conflicten.

g) Aandachtspunten bij deelconflicten

Het toestaan van deelconflicten betekent niet automatisch dat daardoor een onveilige situatie ontstaat¹. Het is echter van belang om bij het toestaan van deelconflicten de regeling zo te ontwerpen dat deelconflicten voldoende veilig kunnen worden afgewikkeld. Vandaar de volgende aandachtspunten:

1) Vaak voorkomende deelconflicten

Een deelconflict dat regelmatig wordt toegelaten op Vlaamse gewestwegen is het conflict tussen rechts afslaande voertuigen en rechtdoorgaande fietsers (op een eigen fietspad) en voetgangers op het zebrapad. De rechts afslaande voertuigen krijgen gelijktijdig groen maar moeten voorrang verlenen. Vaak is dit deelconflict toegelaten wegens een gebrek aan aparte rijstroken. Indien de meest rechtse rijstrook van een bepaalde tak niet exclusief voor rechts afslaand verkeer gebruikt wordt maar ook in combinatie met rechtdoorgaande voertuigen dan is het namelijk niet mogelijk om deze rechtsaffers apart groen te geven. Indien deze rijstrook toch apart groen krijgt ten opzichte van rechtdoorgaande zwakke weggebruikers dan worden rechtdoorgaande voertuigen gestopt terwijl ze geen conflict hebben. In gevallen waar er veel rechtdoorgaande bewegingen zijn en weinig afslaande bewegingen is het dus mogelijk aanvaardbaar om een deelconflict met rechts afslaande voertuigen toe te laten in de lichtenregeling.

Een ander deelconflict dat kan worden toegelaten is dat tussen links afslaande voertuigen en voertuigen uit de tegenovergestelde richting. Deze links afslaande voertuigen krijgen gelijktijdig groen en mogen zich al op het kruispuntvlak opstellen maar moeten voorrang verlenen. Wanneer ze een gepast hiaat opmerken in de tegenovergestelde stroom kunnen ze linksaf draaien. Belangrijk is wel dat ze ook nog steeds verplicht zijn om voorrang te verlenen aan fietsers en voetgangers. De linksafslaande bestuurders moeten hier dus goed zicht op hebben. Dit soort deelconflicten wordt best enkel toegestaan op kleine, goed overzichtelijke kruispunten zonder dubbelrichtingsfietsoversteken.

Zulke deelconflicten kunnen bij voorkeur enkel onder deze voorwaarden toegestaan worden:

- Slechts één rijstrook voor de verkeersstroom die voorrang heeft;
- Een beperkte intensiteit (dus voldoende hiaatkans)
- Voldoende zichtbaarheid van de conflicterende voorrangrichting voor de weggebruikers die voorrang moeten verlenen;
- Bij voorkeur niet meer deelconflicten toestaan dan op aangrenzende kruispunten.

2) Fasenvolgorde bij deelconflicten

Klassiek wordt ervoor gekozen om de fasenvolgorde te selecteren die de kleinste interne verliestijd en kleinste cyclustijd heeft. Maar soms is het vanuit verschillende oogpunten niet wenselijk om die volgorde te gebruiken. Hiervoor kunnen verschillende redenen zijn:

- Indien omwille van het ontwerp van het kruispunt (qua infrastructuur, omgeving, zichtbaarheid...) een bepaalde fasenvolgorde als minder veilig zou worden aanzien, vooral met het oog op zwakke weggebruikers.
- Het is essentieel voor de veiligheid dat de regeling ervoor zorgt dat de eerste voorrangsgerechtigde verkeersdeelnemer eerder bij het gemeenschappelijk conflictvlak aankomt dan de eerste voorrangsplichtige verkeersdeelnemer. In het bijzonder fietsers en voetgangers kunnen een voorstart krijgen in ruimte of in tijd t.o.v. afslaande auto's. Maar ook links afslaande auto's mogen niet veel vroeger groen krijgen dan hun tegenliggers die rechtdoor rijden.
- Een "nastart" voor fietsers en voetgangers (d.w.z. dat fietsers en voetgangers in deelconflict later groen krijgen dan de voertuigen) is in geen enkel geval wenselijk.
- Als het kruispunt deel uitmaakt van een gecoördineerd netwerk, wordt vaak de fasenvolgorde bepaald door de andere kruispunten.

¹ Bron: CROW, Handboek verkeerslichtenregelingen 2014, p.92

3) *Deelconflicten met fietsers en voetgangers (veiligheidsverhogende maatregelen)*

Er werd reeds eerder besproken dat het wenselijk is om conflictvrij te werken, maar dat dat niet overal mogelijk is gezien infrastructurele of verkeerskundige beperkingen. Dit geldt natuurlijk ook voor fietsers en voetgangers. Sterker zelfs, gezien hun kwetsbaarheid is het zo mogelijk nog belangrijker om zoveel mogelijk conflicten weg te werken en bestaande conflicten zo veilig mogelijk te laten verlopen.

Een belangrijk aandachtspunt is het secundaire conflict tussen links- en rechts afslaande voertuigen met de fietsers (al dan niet op een fietspad) en voetgangers. Er zijn enkele maatregelen om het veiligheidsrisico bij deze conflicten te milderen (zgn. "veiligheidsverhogende maatregelen"):

Voorstart

Een manier om conflicten tussen voertuigen en zwakke weggebruikers op oversteken die in deelconflict zitten te verminderen is om te werken met een voorstart voor deze zwakke weggebruikers. Dit heeft als doel om wachtende en overstekende fietsers zichtbaarder te maken voor het gemotoriseerd verkeer, alsook om er voor te zorgen dat wachtende en overstekende fietsers reeds het kruispunt overgestoken zijn alvorens het deelconflict zich voordoet.

Er zijn twee soorten voorstart:

- Voorstart in de ruimte:

De stopstreep voor fietsers dicht bij het kruispunt leggen dan voor de stopstreep voor de voertuigen.

Wanneer er een vrijliggend fietspad met een apart fietslicht aanwezig is, ontstaat deze voorstart vrijwel automatisch in het kruispuntontwerp.

Indien er enkel een aanliggend fietspad is en geen apart fietslicht, kan ook gebruik gemaakt worden van hetzelfde licht voor fietsers en gemotoriseerd verkeer. Het volstaat in dat geval om de stopstreep op het fietspad enkele meters verderop te leggen in vergelijking met het andere verkeer.

Een OFOS is tevens een soort voorstart in de ruimte, aangezien alle fietsers de mogelijkheid krijgen om voor de voertuigen op te stellen.

Een voorstart in de ruimte kan daarnaast eventueel gecombineerd worden met een voorstart in de tijd.

- Voorstart in de tijd:

Het fietserslicht één of meerdere seconden eerder groen laten worden dan het gemotoriseerd verkeer. Dit kan uiteraard enkel indien er een apart fietslicht aanwezig is. Het is best om de voorstart in tijd te beperken tot 1 seconde indien dit de verliestijd voor het overig verkeer te sterk beïnvloedt (d.w.z. dat het groen voor het overige verkeer 'uitgesteld' wordt).

Aangezien een voorstart in tijd negatieve gevolgen heeft voor de cyclustijd en dus de capaciteit van het kruispunt, wordt steeds de voorkeur gegeven aan een voorstart in ruimte.

Een voorstart is echter geen zaligmakende oplossing, aangezien dit alleen fietsers helpt bij de aanvang van de groenfase, en niet terwijl de groenfase al loopt.

Gelijktijdig beëindigen van fietsers- en voetgangersgroen

Wanneer fietsers en voetgangers beiden een oversteek en bijbehorend verkeerslicht hebben, kan de situatie zich voordoen dat het voetgangerslicht reeds rood is, terwijl het fietserslicht nog groen is. Dit heeft vooral te maken met de hogere ontruimingstijd voor voetgangers. Waar een voetganger bijvoorbeeld 13 s nodig heeft om te ontruimen (voor een oversteek van 13m) is een fietser op vele kruispunten al op ca. 6 s ontruimt over dezelfde oversteeklengte..

Het is echter problematisch omdat gemotoriseerde voertuigen er vaak (verkeerdelijk) van uit gaan dat wanneer het voetgangerslicht rood is, het fietserslicht dat ook is. Er is geen enkele juridische of verkeerskundige reden waarom dit zo zou zijn, maar die interpretatie creëert de situatie dat gemotoriseerde voertuigen afdraaien en geen fietser meer verwachten, die er dus wel kan zijn.



Figuur 61 Bij deelconflicten is het aangewezen om fietsers- en voetgangerslichten gelijktijdig groen en rood te laten worden

Een mogelijke oplossing voor dit euvel is het plaatsen van knipperlichten om het gemotoriseerd verkeer attenter te maken (zie volgende paragraaf "Oranje-gele knipperlichten"). Hoewel deze oplossing soms aangewezen is, elimineert ze de probleemsituatie niet.

Dat kan alleen bekomen worden door het gelijktijdig beëindigen van het groen van fietsers en voetgangers. Concreet wordt het voetgangerslicht dan pas rood wanneer het fietserslicht rood wordt (het oranje gele fietserslicht is dus idealiter ook nog onder voetgangersgroen). Dit betekent concreet dat de fietser vaak (veel) minder groentijd heeft dan verkeerskundig mogelijk is, maar de groentijd die ze heeft is wel veiliger.

Daar waar het aantal fietsers relatief beperkt is, kan het gelijktijdig beëindigen als een standaardoplossing gezien worden indien deze deelconflicten niet kunnen worden weggewerkt.

Oranje-gele knipperlichten

Oranje-gele knipperlichten worden gebruikt om de aandacht op een bepaald aspect te vestigen, of om extra aandacht te vragen aan weggebruikers. Ze kunnen zowel uit een enkel knipperend licht, als twee afwisselende lichten opgemaakt zijn. Ook al veranderen deze lichten niets aan de verkeerssituatie als dusdanig, toch moet er voorzichtig omgesprongen worden met het gebruik van deze lichten.

Ze worden in de praktijk gebruikt om de aandacht te vestigen op een problematische situatie met zwakke weggebruikers. In situaties waar het mogelijk niet duidelijk is voor gemotoriseerd verkeer dat ze geen voorrang hebben op overstekende fietsers of voetgangers, wordt best een oranjegeel knipperlicht gebruikt. Ook zijn ze mogelijk aangewezen waar de zichtbaarheid beperkt kan zijn, omdat het voetpad achter een blinde hoek ligt. Het knipperlicht wordt best zodanig geplaatst dat het voldoende op voorhand zichtbaar is voor het oprijdende verkeer.

De knipperlichten kunnen uitgerust worden met een specifieke lens die voetgangers en/of fietsers weergeeft.. Ze kunnen ook gebruikt worden in combinatie met de verkeersborden die de specifieke weggebruiker afbeelden (F49 en/of F50), al dan niet op een verlichte achtergrond.

Deelconflicten met dubbelrichtingsfietspaden

Bij dubbelrichtingsfietspaden is een conflict met een voertuig extra gevaarlijk, omdat de bestuurders mogelijk niet de reflex hebben om in de andere richting ook fietsers te verwachten, markeringen ten spijt. Daarom is het nodig om dubbelrichtingsfietspaden in de regel zo veel mogelijk conflictvrij te voorzien.

Conflicten tussen links afslaande voertuigen en dubbelrichtingsfietspaden worden bij het ontwerp van nieuwe verkeerslichtenregelingen zelfs nooit toegelaten aangezien ze tot de veiligheidsondergrens behoren.

Bij de overblijvende deelconflicten met dubbelrichtingsfietspaden is het verplicht om, indien mogelijk, alle bovenstaande maatregelen toe te passen.

4) Gebruik van de ontruimingspijl

Een ontruimingspijl is een naar links gerichte groene pijl afzonderlijk geplaatst bij het uitrijden van een kruispunt. Deze pijl betekent dat het tegenliggend verkeer op de rijbaan die de bestuurders bij het links afslaan gaan verlaten, tegengehouden wordt door een rood licht zodat de ontruiming van het kruispunt vlot en veilig kan geschieden.

Deze pijl moet afzonderlijk geplaatst worden om een onderscheid te maken met de lichten die aan de toerit van het kruispunt zijn geplaatst.

Meestal gebruikt men een ontruimingspijl vanaf +/- 250 pae/u. Men probeert dan ook de conflicterende voetgangers vooraf voldoende uitlooptijd te geven.

Een ontruimingspijl kan elke cyclus opkomen, of enkel indien daar een nood aan is. In dat geval wordt gebruik gemaakt van detectie met uitsteltijd (d.w.z. dat de regeling de detector pas actief beschouwt na een continue detectie van x aantal seconden). Met behulp van een grote detectielus (zodat er vermeden wordt dat er toevallig geen voertuig op de lus staat) wordt er gedetecteerd of een linksafstrook door de bestaande intensiteiten niet (voldoende) kan afwikkelen. In dat geval komt dan de ontruimingspijl op (in combinatie met het afbreken van het groen op de conflicterende richting). Typisch wordt gekozen deze fase te laten opkomen indien de lange lus 7 à 12 s ononderbroken bezet is. In uitzonderlijke gevallen (bv. een korte linksafstrook in combinatie met een groot aantal links afslaande voertuigen) kan hier van afgeweken worden door die tijd te verkorten naar bv. 5 s.

De ontruimingspijl mag pas starten wanneer de conflicterende stromen hun ontruimingstijd doorlopen hebben. De pijl blijft groen tijdens het oranjegeel en wordt standaard gedoofd na 1 seconde roodtijd. Bij grotere kruispunten kan het aangewezen zijn dit naar 2s te verlengen.

5) Gebruik van de bijkomende pijlen

Een bijkomende groene pijl is een pijl die samen met een oranje of een rood licht brandt. Het laat toe het rode licht voorbij te rijden, maar enkel in de richting aangegeven door de pijl.

Bij het gebruik van bijkomende groene pijlen is het belangrijk te vermelden dat door het reglement (M.B. van 11/10/76) voorzien wordt dat deze bijkomende groene pijlen steeds noodzakelijkerwijze gevolgd worden door een groen licht.

Anderzijds, indien bij het kruispunt dergelijke pijlen gebruikt worden is het wenselijk dat minstens een rijstrook door gemarkeerde pijlen voor deze beweging uitsluitend voorbehouden wordt daar anders het rendement van de groene pijl zeer laag ligt. Bovendien dient de aldus uitgevoerde beweging gemakkelijk te geschieden zonder conflict moeilijkheden met de overige verkeersstromen die gelijktijdig tot het kruispunt toegelaten worden.

Aandacht dient besteed te worden aan de conflicten met de fietsers en voetgangers op de te kruisen oversteekplaatsen. Moeilijkheden met de fietsers en voetgangers doen zich dikwijls voor wanneer men een rechtse pijl gebruikt voordat het volledig groen licht verschijnt.

Volgens het verkeersreglement dient de automobilist de voorrang te verlenen aan de fietser en voetganger doch in de praktijk stelt men dikwijls vast dat de automobilist hier geen rekening mee houdt.

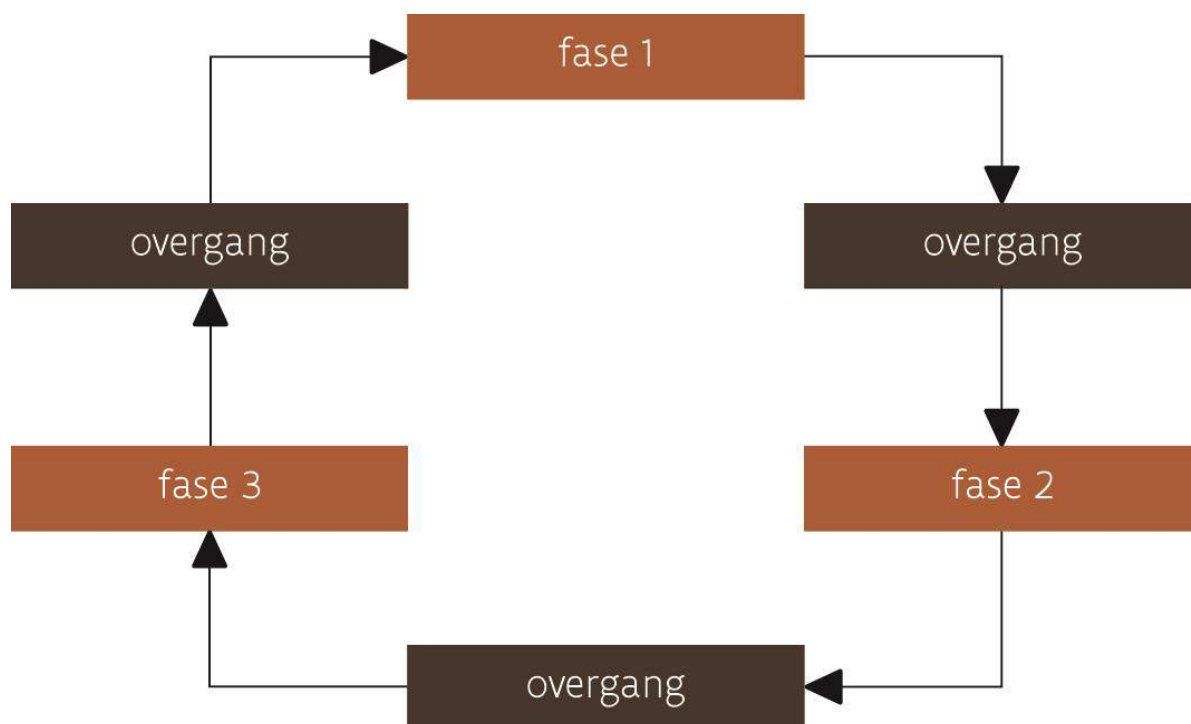
Volgende maatregelen kunnen getroffen worden om hieraan te verhelpen :

- hetzij de betreffende pijl niet te plaatsen

- hetzij de bijkomende pijl niet te laten branden wanneer de voetgangers en/of fietsers een groenfase aanvragen via een drukknop;
- hetzij de betrokken voetgangers- of fietsoversteekplaats af te schaffen indien mogelijk;
- hetzij de groene pijl slechts te laten branden na het oversteken van de voetgangers en fietsers of gedurende hun uitlooptijd;
- hetzij, zo geen enkele van de hiervoor genoemde maatregelen kan verwezenlijkt worden, speciaal de aandacht van de automobilisten vestigen op de betrokken fietsers- of voetgangersoversteekplaats door een overeenstemmend gevaarsteken te plaatsen of bij het verkeerslicht een speciaal bord te plaatsen die het kruisen van de fietsers- of voetgangersoversteek aankondigt of door een bijkomend oranje knipperlicht met fietsers- of voetgangerssilhouet.

4 Voertuigafhankelijke werking: Definiëring van de regelprincipes

Het resultaat van hoofdstuk 3 is een basisregeling die grafisch wordt weergegeven in Figuur 62.



Figuur 62 Fasediagram basisregeling

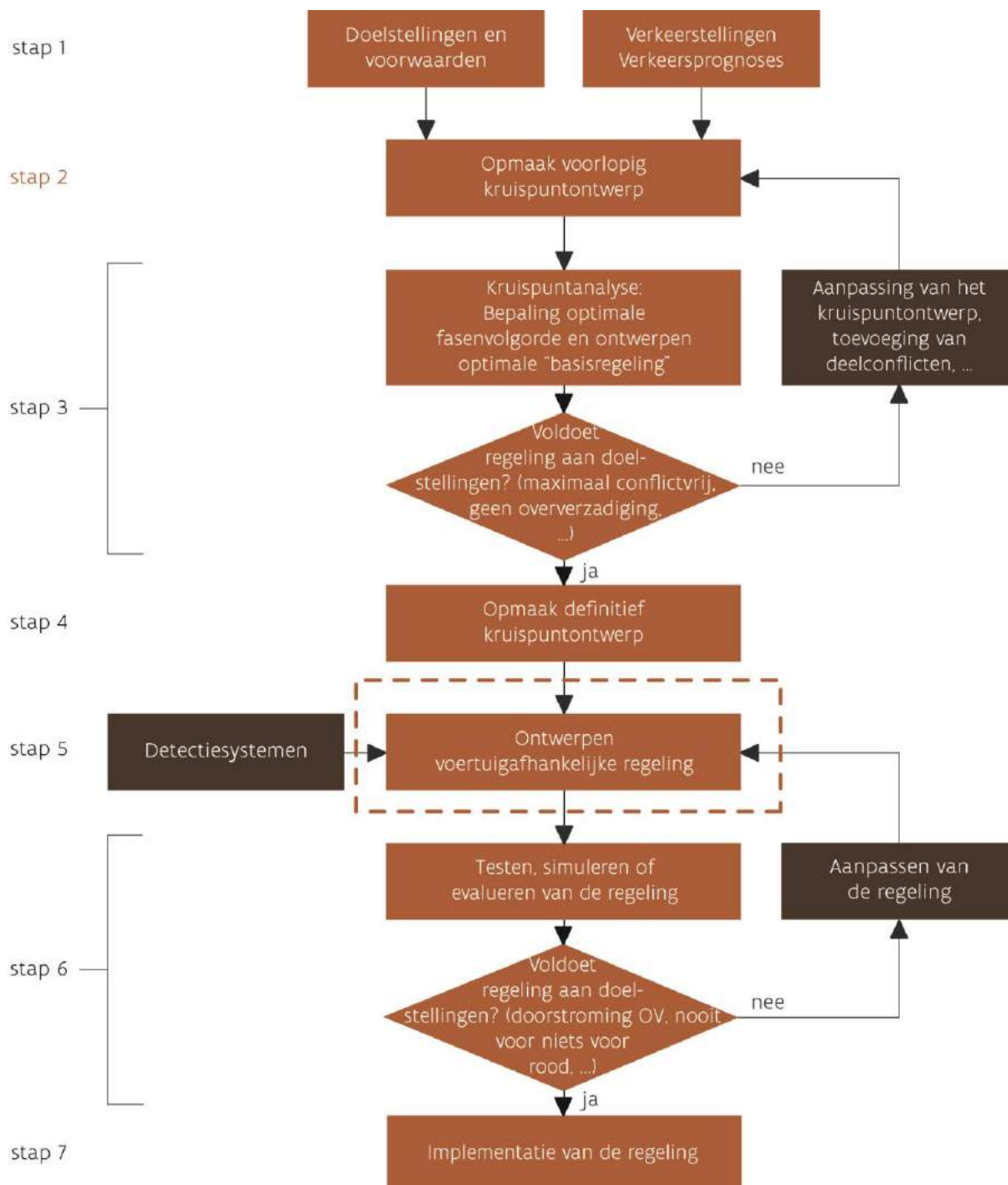
Nu de basisregeling uitgewerkt en berekend is, kan er overgegaan worden tot de verdere uitwerking van de voertuigafhankelijke werking. Het komt immers vaak voor dat deze basisregeling niet altijd wordt gevolgd. In dit hoofdstuk worden de methoden uiteengezet die de regeling meer flexibel en efficiënter maken aan de hand van de detectie van individuele weggebruikers.

Het is opportuun om de cyclus zo flexibel mogelijk te maken om verschillende redenen:

- Wanneer er geen nood is aan een lange fase voor een bepaalde richting, dan wordt ze beter beëindigd voordat de maximumduur is verstreken.
- Wanneer de hoofdrichtingen groen hebben en er nadert geen conflicterend verkeer, dan wordt de groenfase beter niet beëindigd, ook al is de maximumduur al verstreken.
- Is er helemaal geen verkeer dat behoefte heeft aan een bepaalde groenfase, dan wordt de desbetreffende fase zelfs best overgeslagen.
- Daarnaast kan er binnen de afwikkeling van de cyclus flexibel worden omgesprongen met de fasenvolgorde.
- Het kan ook nuttig zijn om bepaalde fasen de mogelijkheid te geven om meermaals per cyclus aan bod te komen om bijvoorbeeld zwakke weggebruikers of het openbaar vervoer meerdere 'groenventers' te kunnen verlenen.
- Er kan afhankelijk van het gedetecteerde verkeer gekozen worden uit verschillende varianten van eenzelfde fase, bijvoorbeeld een variant met en één zonder voetgangers.

Een goede voertuigafhankelijke regeling heeft minstens variabele faselengtes en de fasen kunnen ook overgeslagen worden indien ze niet nodig zijn.

In dit hoofdstuk zullen eerst enkele principes worden uiteengezet van het voertuigafhankelijk regelen. In het daarop volgende hoofdstuk zal er voor ieder type weggebruiker worden bekeken hoe deze een voertuigafhankelijke regeling beïnvloedt, achtereenvolgens: voetgangers, fietsers, gemotoriseerd verkeer en openbaar vervoer. Het uitgangspunt daarbij moet zijn dat men 'nooit voor niets voor rood' staat.



Figuur 63 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 5)

4.1 Verlengen en afbreken van fasen

Een eerste grote verschil tussen een starre en voertuigafhankelijke cyclus is de flexibele lengte van verschillende fasen. Omdat niet elke cyclus zich evenveel verkeer aandient aan het kruispunt in kwestie, loont het vaak om een bepaalde fase te beëindigen voordat de maximumgroenduur is bereikt en versneld over te gaan naar een andere fase.

In de praktijk wordt dit bekomen door een stand vast (minimum) groen te voorzien en een serie verlengstanden die door middel van detectie tot een bepaalde maximumduur kunnen worden verlengd. Wanneer er zich een voertuig aandient tijdens deze verlengstand wordt de groentijd voor deze richting verlengd met de kritische hiaattijd. Indien er zich tijdens het verlopen van de kritische hiaattijd geen voertuig heeft gemeld in het detectieveld wordt de stand afgebroken. Het symbool voor de grenswaarde van de hiaattijd is de Griekse hoofdletter delta (Δ). De verlengstand zelf heeft vaak een minimumduur van 0 s. De som van het minimumgroen en de maximumduur van de verlengstanden moet de hiervoor bepaalde (optimale) groentijd evenaren.

Om zo dynamisch mogelijk te regelen wordt de minimumgroentijd best zo kort mogelijk gehouden. Het minimum dat is afgesproken voor Vlaamse gewestwegen is standaard 5 s voor het gemotoriseerde verkeer. De vaste groentijden zijn op vele kruispunten echter hoger. Dit heeft te maken met de eerder aangehaalde minimumgroentijden en ontruimingstijden voor zwakke weggebruikers maar ook met de positie van de gebruikte detectie. Een andere reden hiervoor is het ontbreken van een detectieveld dicht bij de stopstreep. In dit geval moet de tijd die nodig is voor het ontruimen van de voertuigen tussen de stopstreep en het eerste detectieveld als minimumgroentijd genomen worden (zie hoofdstuk 5.1.3.9).

Hoe lang een verlengstand duurt wordt gedefinieerd door de minimumduur, de maximumduur en de verlengvoorwaarde. Die verlengvoorwaarde heeft de vorm van een booleaanse functie. Die functie bestaat uit één of meer detectorstatusnamen en logische operatoren 'EN', 'OF' en/of 'NIET'.

Een typische opvolging van vastgroen (stand 1) en een of meerdere verlengstanden (stand 2) wordt uitgebeeld in Figuur 64. In de voorwaarden tot verlenging "1^e Verlenging X" of "2^e Verlenging X" wordt bepaald welke voorwaarden moeten voldaan zijn om het groen te verlengen in deze stand.

stand	1	2	3	4
X				
minimum	5	0	3	2
maximum	GroenX \geq 15	GroenX \geq MaxX	-	-
verlengd door [Δ]	1e Verlenging X	2e Verlenging X	-	-

Figuur 64 Groenverlenging - basisconcept

4.1.1 Timers

In sommige gevallen is het wenselijk minder rigide te zijn in hoe lang een bepaalde stand kan duren, zodat er tijd kan overgedragen worden aan een andere fase. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij afstemmingen met vaste cyclustijd of werfregelingen met onbekende intensiteiten.

Het overdragen van niet gebruikte tijd kan bereikt worden met behulp van een timer. Een timer wordt op een te specificeren moment in de cyclus gestart of herstart zoals een chronometer die gestart wordt. De regeling zal dan de tijdsduur sinds dat moment bijhouden, totdat de timer opnieuw wordt gestart vanaf 0 seconden. Met behulp van de timer kan dan een bepaalde maximumduur opgegeven worden. Indien de standen tussen het starten van de timer en de verlengstand in kwestie niet tot hun maximum werden verlengd, kan van die extra tijd gebruik gemaakt worden indien nodig. Op die manier kan er mogelijk langer verlengd worden in die laatste stand dan met vaste maximumtijden het geval zou zijn, zonder dat de cyclustijd langer wordt.

Dit effect van een timer is soms echter nadelig. Indien de maximumtijd van een bepaalde richting hoog wordt gelegd, en die om eender welke reden regelmatig niet volledig gebruikt wordt (bijvoorbeeld door een vrachtwagen die te veel ruimte laat vallen bij het optrekken), dan zal die tijd opgenomen kunnen worden door een minder belangrijke richting. Op die manier wordt de cyclus dan ook niet korter, wat filevorming op de tak met hoge maximumtijd kan veroorzaken. Bij het gebruik van timers over meerdere fasen heen is het dus belangrijk om zeker te zijn dat de groenfasen ervoor slechts worden afgebroken als dat effectief opportuun is, en niet ervoor. Dit kan bijvoorbeeld door het vaste groen te vergroten, de kritische hiaattijd te verhogen of extra detectie te voorzien.

Fase 1	Fase 2	Fase 3
A1 & C1	A & C	B & D

Tabel 11 Voorbeeld voor het gebruik van timers

In het voorbeeld in Tabel 11 kan de onbenutte verlengtijd van fase 1 gebruikt worden om fase 2 te verlengen voor het verkeer in fase 2 (richting A en/of C), indien deze fase nood heeft aan meer groentijd. Zo wordt de cyclusduur en de totale verliestijd beperkt. Ook helpen de timers in dit voorbeeld te garanderen dat alle richtingen maximaal hun optimale groentijd krijgen.

Per cyclus kunnen verschillende timers gebruikt worden die onafhankelijk van elkaar door elkaar kunnen lopen. Ze krijgen dan bijvoorbeeld Tim1, Tim2 en Tim3 als naam. Met timers wordt best omzichtig omgesprongen aangezien ze de cyclus ingewikkeld kunnen maken.

stand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
A C B D	Tim1													
	minimum	5	0	0	0	3	2	5	0	0	0	0	3	2
	maximum	GroenA ≥ 15	GroenC ≥ 15	GroenA ≥ 35	GroenC ≥ 35	-	-	GroenB ≥ 15	GroenD ≥ 15	GroenB ≥ 30	GroenD ≥ 30	Tim1 ≥ 70	-	-
verlengd door [Δ]	1e Verlenging A	1e Verlenging C	2e Verlenging A	2e Verlenging C	-	-	1e Verlenging B	1e Verlenging D	2e Verlenging B	2e Verlenging D	2eVerlengingB OF 2eVerlengingD	-	-	

Figuur 65 Voorbeeld fasediagram met timerwerking

4.1.2 Wachtstanden, correlatiepunten en rusttoestanden

4.1.2.1 Rusttoestand

De rusttoestand is de (toe)stand waarin de cyclus standaard blijft zolang er geen detectie is, bijvoorbeeld 's nachts. In de rusttoestand wordt de regeling tot stilstand gebracht zodat de cyclus bij het uitblijven van (conflicterende) aanvragen niet nodeloos ronddraait door alle fasen. Dit heeft als voordeel dat de cyclus zo efficiënt mogelijk kan ingrijpen om het aanwezige verkeer af te wikkelen. Indien er geen rusttoestand is, zal de cyclus twee of meer fasen continu moeten doorlopen, wat voor een grotere gemiddelde wachttijd zal zorgen. Het spreekt voor zich dat een rusttoestand vooral tijdens de daluren een winst zal opleveren voor het verkeer. In de spitsuren wordt er immers van uitgegaan dat het druk genoeg is op alle richtingen om regelmatig een aanvraag te doen. Om een rusttoestand te kunnen voorzien moet voldoende detectie voor aanvragen worden voorzien, zodat de aanvragen geregistreerd kunnen worden en de rusttoestand indien nodig verlaten kan worden. Indien er op minstens twee conflicterende richtingen geen aanvraag kan gebeuren om welke reden dan ook (bijvoorbeeld omdat er geen detectoren zijn), kan er geen rusttoestand zijn. Er zijn twee voornamelijk manieren om een rusttoestand te voorzien, een groene variant en een rode variant.

a) Rusttoestand groen

Meestal wordt in Vlaanderen een rusttoestand toegepast waarin het groen is voor de hoofdrichting indien er een duidelijk onderscheid is tussen hoofdrichting en dwarsrichting. Indien er zich op een kruispunt met deze toepassing geen verkeer op de dwarsrichting aanmeldt blijft de regeling in die rusttoestand. Van zodra er zich verkeer aanmeldt op één van de zijtakken, wordt de rusttoestand onderbroken en wordt de cyclus hervat.

Het voordeel van dergelijke rusttoestand is dat het verkeer op de hoofdrichting niet nodeloos met rood wordt geconfronteerd als er zich toch geen verkeer bevindt op de zijtakken.

Het nadeel is dat een weggebruiker die een fase dient aan te vragen, altijd voor moet rood stoppen, ook al is er geen conflicterend verkeer. Dit nadeel is nog groter indien ook voetgangers groen hebben in de rusttoestand, aangezien de voetgangersoversteek eerst ontruimd dient te worden.

Wanneer twee fasen in een regeling ongeveer een gelijkaardige intensiteit hebben, dan kunnen beide fasen een rusttoestand groen krijgen.

Benodigde detectie

Voertuigen die tijdens een rusttoestand het kruispunt naderen zonder dat er zich verkeer op conflicterende takken bevindt zouden in theorie kunnen doorrijden zonder verliestijd mits de juiste detectie. In de meeste gevallen is het dan nodig dat er voor de takken die rood hebben tijdens een wachtstand vanop grote afstand gedetecteerd wordt. De afstand waarop de detector moet geplaatst worden om groen te geven voordat er wordt afgeremd, is gelijk aan de som (3) van de remweg (1) en de afstand die wordt afgelegd tijdens de oranjegeeltijd en de roodtijd van de richtingen die groen hebben tijdens de rusttoestand groen (2).

$$(1) d_{\text{rem}} = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

Hierin is:

d_{rem} : remweg van het voertuig

v : snelheid van het voertuig (m/s)

a : remvertraging voertuig (m/s²) (er wordt meestal 2 m/s² aangenomen wat overeenkomt met rustig afremmen)

d : afstand tussen het detectieveld en de stopstreep

$$(2) (t_{\text{oranje}} + t_{\text{rood}}) * v$$

$$(3) d = \frac{v^2}{2.a} + (t_{\text{oranjegeel}} + t_{\text{rood}}) * v$$

In de praktijk betekent dit:

Snelheid	Remweg (m) (a = 2 m/s ²)	Afstand afgelegd tijdens oranjegeel en rood (m) (t _{oranjegeel} + t _{rood} = 5 s)	Benodigde detectieafstand tijdens rusttoestand groen (m)
30 km/h	17	42	59
50 km/h	48	69	118
70 km/h	95	97	192
90 km/h	156	125	281

Tabel 12 Benodigde detectieafstand tijdens rusttoestand groen

In de praktijk zullen deze afstanden vaak te ver blijken om te garanderen dat voertuigen zonder af te remmen kunnen doorrijden bij rusttoestand groen.

b) Rusttoestand rood

Een andere mogelijke variant van een rusttoestand is een rusttoestand rood. Hier worden alle lichten rood als er zich geen verkeer meer aanmeldt. Als er zich tijdens deze rusttoestand een voertuig aanmeldt op één van de takken kan dit voertuig sneller groen krijgen omdat andere richtingen niet dienen afgebroken te worden. Het voordeel van het toepassen van een rusttoestand rood is dat weggebruikers die zich aanmelden tijdens deze rusttoestand vaak direct groen zullen krijgen en er dus geen verliestijd is. Een ander voordeel is dat voertuigen die op grote afstand een rood licht naderen over het algemeen licht afremmen in plaats van te versnellen waardoor het kruispunt met lagere snelheden wordt gepasseerd.

Een mogelijk nadeel is dat fietsers of voetgangers die een kruispunt in rusttoestand rood naderen, een aanvraag dienen te doen alvorens ze groen krijgen. In een rusttoestand groen moeten fietsers en voetgangers die groen hebben tijdens de rusttoestand geen aanvraag doen om groen te krijgen.

Benodigde detectie

De benodigde afstand van de detectie bij een wachtstand rood is aanzienlijk kleiner aangezien de oranjegeeltijd en de ontruimingstijd dan al verstreken zijn.

Dit wil zeggen dat enkel de remweg overblijft:

$$d = \frac{v^2}{2.a}$$

c) Combinatie rusttoestand groen/rood

Eventueel kan er voor gekozen worden om voor de hoofdrichting een rusttoestand groen te gebruiken, en voor de andere richtingen een rusttoestand rood.

Bijvoorbeeld:

- Wanneer de regeling in de fase is waarin de hoofdrichting groen is, en er is verder geen verkeer op een andere richting, is het opportuun om de hoofdrichting in een rusttoestand groen te laten. De kans is namelijk het grootst dat het volgende voertuig zich op de hoofdrichting aandient, en als het daar net oranjegeel is geworden duurt het nog lang voor het weer groen kan worden.
- Wanneer de regeling echter in een fase is waarin een minder drukke richting groen is en er nadert geen verkeer meer, kan het opportuun zijn om te wachten in een rusttoestand rood, om zo onmiddellijk groen te geven aan de eerste richting waarop een detectie zich voordoet. Het kan nl. zijn dat de volgende detectie zich voordoet op een andere richting dan de hoofdrichting. In dat geval kan

deze richting onmiddellijk groen krijgen i.p.v. dat deze richting pas aan de beurt komt nadat de hoofdrichting een nutteloze groenfase en tussengroentijd heeft gekregen.

Op basis van een simulatie uitgevoerd op een Vlaams kruispunt door het team Verkeersplannen van de afdeling VWT is gebleken dat de combinatie van rusttoestand groen/rood de beste resultaten geeft over een periode van 24u.

4.1.2.2 Wachtstanden

Vaak kan de cyclus ook in andere standen blijven wachten tot er aan een bepaalde voorwaarde is voldaan, bijvoorbeeld tot spoorbomen weer verticaal staan bij een nabijgelegen spoorwegovergang of tot een licht op een ander deekruispunt groen is. Zulke standen noemen we 'wachtstanden'.

De wachtstand heeft geen maximumduur of kritische hiaattijd. Bij de beëindigingsvoorwaarde wordt omschreven welke voorwaarden ingelost moeten worden vooraleer de wachtstand beëindigt wordt (Bijvoorbeeld "Wachtstand tot DfBrug1 = 0").

Uiteraard moeten de voorwaarden voor het verderzetten van de cyclus duidelijk omschreven worden. Hierbij moet opgelet worden dat alle mogelijke voorwaarden zijn opgelijst, zodat er wanneer nodig altijd uit de wachtstand getreden kan worden.

4.1.2.3 Correlatiepunten

Een speciaal soort wachtstand duurt tot (en wordt gevolgd door) een 'correlatiepunt'. Deze correlatiepunten worden doorgaans gebruikt om verschillende dealkruispunten op elkaar af te stemmen. Dealkruispunten hoeven niet twee echte kruispunten te zijn: vaak zijn het twee helften van hetzelfde kruispunt die in een gedeelte van de cyclus niet synchroon lopen (t.b.v. de flexibiliteit) en in een ander gedeelte wel. Binnen de wachtstand wordt dan gewacht totdat het andere dealkruispunt ook voor het gelijknamige correlatiepunt (bijvoorbeeld CP2) in de cyclus is gekomen. Wanneer dit correct wordt uitgevoerd bij beide kruispunten zullen de 2 dealkruispunten dus op elkaar wachten totdat ze allebei klaar zijn om gezamenlijk verder te gaan met hun cyclus. Concreet kunnen in het ene dealkruispunt de rechtdoorgaande beweging (A2) en de conflicterende linksaf beweging (C1) samengenomen worden en in het andere dealkruispunt de tegenoverliggende conflicterende richtingen (C2 en A1). Op die dealkruispunten kan dan onafhankelijk van elkaar verlengd worden en overgegaan worden naar de tweede fase. Er kan immers geen conflict ontstaan, doordat de conflicterende richtingen samen zijn genomen in één dealkruispunt. Pas wanneer het veilig is op beide dealkruispunten om een derde, gezamenlijke fase aan te vatten (bijvoorbeeld die van de dwarsrichtingen), zal er uit de wachtstand getreden worden. Het is niet bij ieder kruispunt mogelijk om deze methode te gebruiken.

In principe kan een cyclus veel correlatiepunten bevatten. Dit maakt de cyclus wel moeilijker leesbaar, zeker wanneer het gaat om meer dan twee (deel)kruispunten. In dat geval worden best zoveel mogelijk de cycli van de betrokken dealkruispunten boven elkaar afgebeeld, zodanig dat de gerelateerde correlatiepunten op één lijn staan (zie Figuur 66).

stand	1	2	3	4	5	6	7
A2							
C1							
minimum	5	0	3	2	5	0	0
maximum	GroenC1 ≥ 12	GroenC1 ≥ MaxC1	-	-	GroenA2 ≥ 15	GroenA2 ≥ MaxA2	-
verlengd door [Δ]	1e Verlenging C1	2e Verlenging C1	-	-	1e Verlenging A2	2e Verlenging A2	wachtstand tot CP1
C2							
A1							
minimum	5	0	3	2	5	0	0
maximum	GroenA1 ≥ 12	GroenA1 ≥ MaxA1	-	-	GroenC2 ≥ 15	GroenC2 ≥ MaxC2	-
verlengd door [Δ]	1e Verlenging A1	2e Verlenging A1	-	-	1e Verlenging C2	2e Verlenging C2	wachtstand tot CP1

CP1

Figuur 66 Voorbeeld van een fase met correlatiepunten

4.2 Beïnvloeden van de fasenvolgorde

Het vast doorlopen van alle nodige fasen volgens dezelfde volgorde zal in de drukste periodes zeker niet voor grote afwikkelingsproblemen zorgen, vooral niet aangezien de cyclus specifiek ontworpen is om daarmee om te gaan, maar een starre cyclus is uiteraard verre van ideaal. In drukke periodes kan het bv. nadelig zijn voor het openbaar vervoer om steeds te moeten wachten op een groenfase in de cyclus, of kunnen voetgangerslichten die steeds groen worden er voor zorgen dat richtingen met veel verkeer een langere roodtijd krijgen dan strikt noodzakelijk.

In minder drukke periodes kunnen de verliestijden daarnaast ook sterk oplopen: een voertuig dat bijvoorbeeld 's nachts net aan het kruispunt komt nadat zijn signaalgroep rood werd, zal moeten wachten tot het opnieuw groen wordt (meestal een volledige cyclus), ook al is er geen conflicterend verkeer. Er wordt in dat geval onnodig groen gegeven, wat resulteert in het voor niets voor rood staan. Om dat zoveel mogelijk te vermijden kan de fasenvolgorde flexibeler gemaakt worden met de maatregelen in dit hoofdstuk.

4.2.1 Aanvragen en overslaan van fasen

Om onnodige verliestijd te vermijden worden overal waar mogelijk fasen die niet nodig zijn overgeslagen. Ze 'komen' enkel 'op' (dus de bijbehorende lichten worden groen) indien aan bepaalde voorwaarden voldaan is. Meestal houdt deze voorwaarde in dat er een aanvraag moet geweest zijn sinds het rood werd.

De volgorde die de cyclus volgt is uiteraard niet willekeurig. Ze kent in alle gevallen een logisch verloop van standen en zal steeds bepaald worden door de voorwaarden die worden gesteld en de volgorde waarin deze voorwaarden worden gesteld.

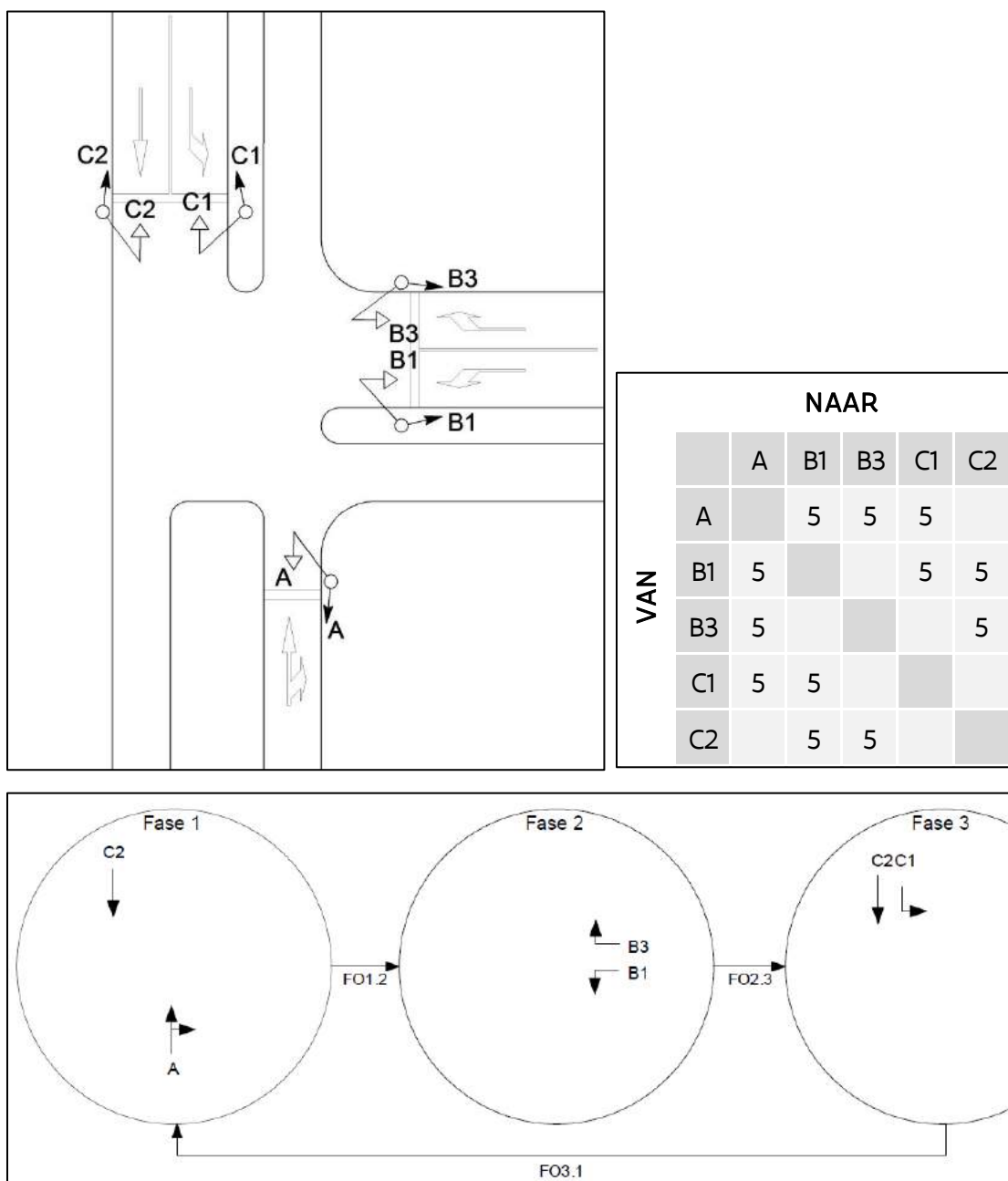
Als $LX = 1$ dan fase X

Als $LX = 0$ dan fase Y

De voorwaarde die wordt gesteld houdt meestal in dat een bepaalde detectie al dan niet is gebeurd. Zo kan er de vraag gesteld worden of er een ontruimingspijl nodig is vooraleer een volgende fase groen krijgt. Indien niet voldaan wordt aan de voorwaarde om een ontruimingspijl te laten opkomen, dan kan het groen worden afgebroken en kan de volgende fase in de regeling groen krijgen. Voorwaarden kunnen ook inhouden dat een bepaalde detectie wel gebeurd is en een andere detectie niet. Bijvoorbeeld: er is een bus gedetecteerd op tak A en geen bus op tak D : $DfA \wedge \text{NIET}(DfD)$.

Een andere mogelijkheid om een aanvraag voor een fase te genereren is afhankelijk van de huidige of recente bezetting van een detector. Dit wordt regelmatig gebruikt voor het opkomen van een ontruimingspijl. De voorwaarde kan dan bv. luiden dat de detectielus op de linksafstrook minstens gedurende de afgelopen 7 seconden onafgebroken bezet is geweest (voor meer informatie hieromtrent, zie 3.2.3.2 g) 4)).

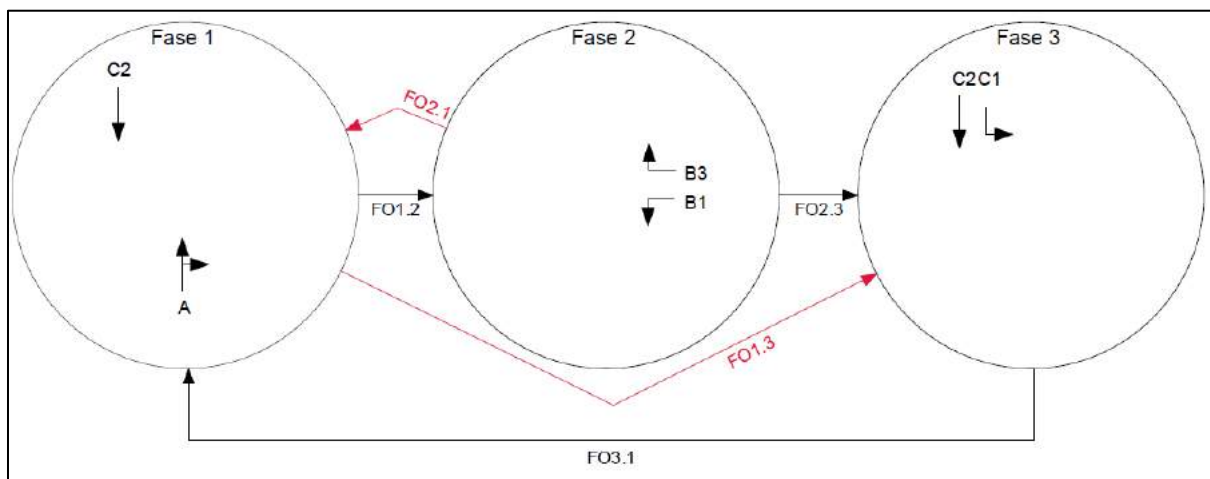
Bijvoorbeeld:



Figuur 67 Voorbeeldkruispunt met tussengroentijdmatrix en basisregeling met Drie fasen

Voor het kruispunt in Figuur 67 is een basisregeling opgemaakt met drie fasen. We gaan er in dit voorbeeld vanuit dat Fase 1 een rusttoestand groen heeft (zie hoofdstuk 4.1.2.1).

De regeling verlaat slechts de rusttoestand als er een aanvraag is voor Fase 2 of Fase 3. Vervolgens zijn Fase 2 en 3 “op aanvraag” geplaatst. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om van Fase 1 naar Fase 3 te springen en Fase 2 over te slaan, indien er enkel een aanvraag is voor Fase 3 en geen aanvraag voor Fase 2. Ook wordt het mogelijk om na Fase 2 terug naar Fase 1 te gaan (en Fase 3 over te slaan).



Figuur 68 Fasediagram Driefasenregeling met mogelijkheid tot het overslaan van fasen

Dit resulteert in het fasediagram in Figuur 68 met de volgende mogelijke fasenovergangen ("FO"):

Vanuit Fase 1 :

- Naar Fase 2 met FO1.2
- Naar Fase 3 met FO1.3

Vanuit Fase 2:

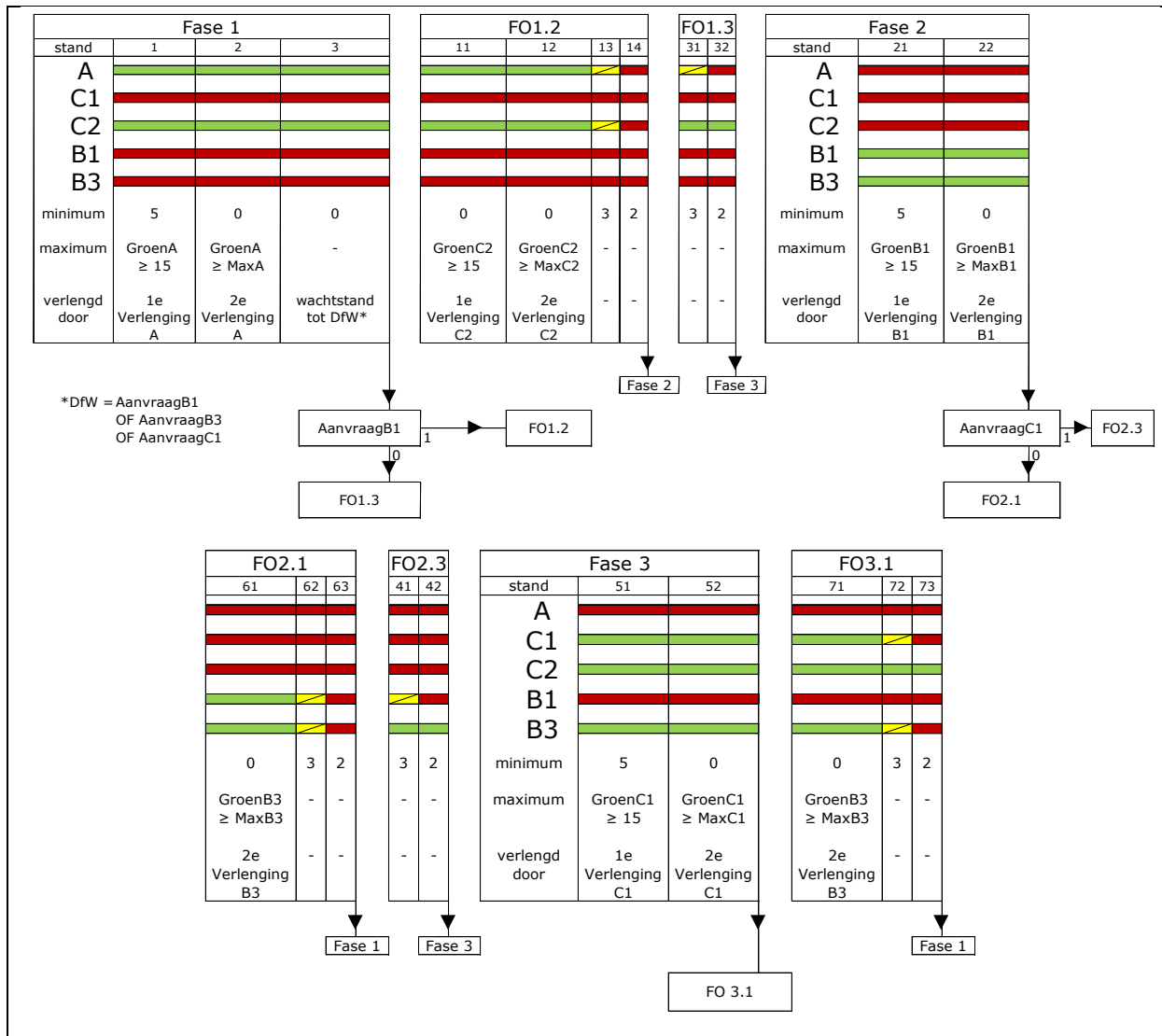
- Naar Fase 3 met FO2.3
- Naar Fase 1 met FO2.1

Vanuit Fase 3:

- Naar Fase 1 met FO3.1

In deze regeling zou het mogelijk kunnen gemaakt worden om bv. voor een bus die beweging C1 dient te doen, na een inmelding van deze bus Fase 3 te laten opkomen en Fase 2 over te slaan om zo deze bus sneller groen te geven.

Een verkeerslichtenregeling ziet er dan bijvoorbeeld als volgt uit:



Figuur 69 Voorbeeldregeling van een Driefasenregeling met mogelijkheid tot het overslaan van fasen

4.2.2 Omwisselen en tussenvoegen van fasen

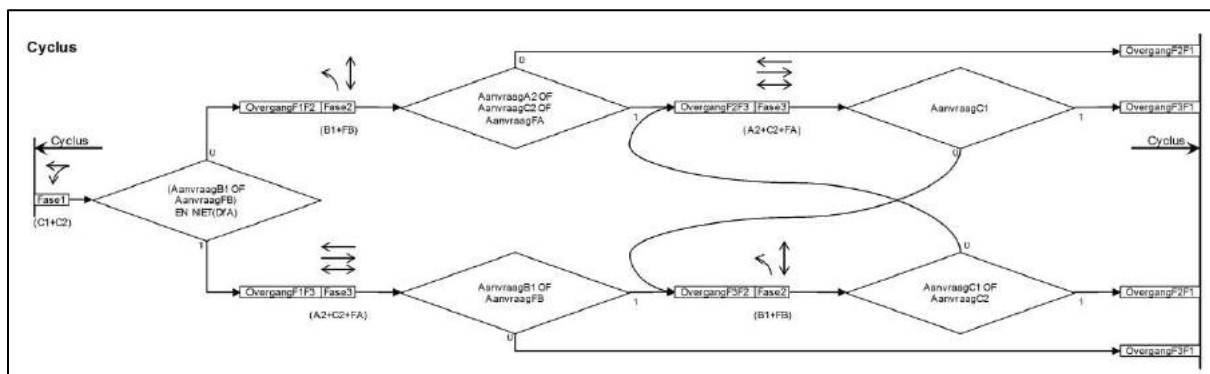
In het voortdurend streven naar flexibele en slimme verkeerslichten is het logisch om ook een flexibele fasenvolgorde te hanteren. Het gebruik van flexibele fasenvolgordes kan bijvoorbeeld worden toegepast om openbaar vervoer te bevoorjelen of de wachttijd voor zwakke weggebruikers te verkorten, maar ook om gewoonweg de doorstroming te verbeteren.

Onder flexibele fasenvolgorde wordt verstaan dat een cyclus niet alleen bepaalde fasen kan overslaan (wat op zich al meer flexibel is dan een starre cyclus), maar dat de fasen ook in een andere volgorde kunnen plaatsvinden dan traditioneel het geval zou zijn. Zo zouden bepaalde fasen zich kunnen herhalen, of kunnen gezien het aanbod van verkeer bepaalde fasen al dan niet samengenomen worden om de verliestijd te beperken.

Bij het uitwerken van een regeling met flexibele fasenvolgorde kan de klassieke weergave gebruikt worden, waarbij met pijlen verwezen wordt naar de volgende fasen in de cyclus. Afhankelijk van het aantal signaalgroepen en de mate en aard van de flexibiliteit, wordt deze echter snel minder werkbaar en onoverzichtelijk. Bovendien moet erover gewaakt worden dat de tussengroentijden tussen elke twee opeenvolgende fasen gerespecteerd worden. Door het feit dat er steeds meerdere mogelijke fasen kunnen volgen op één bepaalde fase moet dus voor iedere mogelijkheid een overgang voorzien worden waarin de ontruimingstijden gerespecteerd worden.

Daarom wordt er in dit hoofdstuk getoond hoe met zogenaamde “connectors” kan gewerkt worden (zoals in Figuur 69), die verwijzen naar een bepaalde fase nadat er een bepaalde keuzestructuur wordt doorlopen. Ook wordt er gebruikt gemaakt van zogenaamde “Bits” die het omwisselen of tussenvoegen van fasen mogelijk maakt (zie Figuur 72).

Als alternatief kan er ook gekozen worden voor een aparte weergave van een keuzestructuur zoals in Figuur 70. Aanvullend bij deze keuzestructuur worden dan alle fasen apart benoemd en uitgebeeld.



Figuur 70 Voorbeeld van een keuzestructuur die het mogelijk maakt om fasen om te wisselen

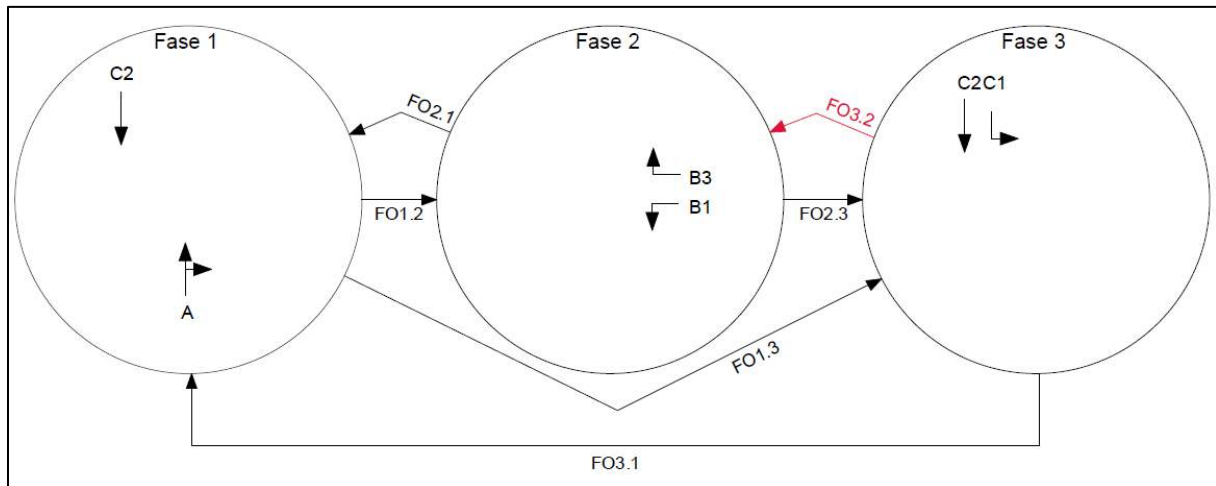
4.2.2.1 Fasen omwisselen

Het omwisselen van fasen kan om verschillende redenen voorzien worden, bijvoorbeeld:

- Indien er een fase overgeslagen is, kan er een mogelijkheid voorzien worden om de fase die overgeslagen is alsnog in de cyclus op te nemen indien er een aanvraag voor is.
- Indien er een aanmelding van het openbaar vervoer is, maar de fase van het openbaar vervoer is reeds overgeslagen in de regeling, kan de fase voor het openbaar vervoer best alsnog in de cyclus opgenomen worden om een bus of tram groen te geven.

Als voorbeeld hernemen we opnieuw het kruispunt en de driefasenregeling uit Figuur 67.

De regeling wordt dan als volgt uitgebreid met de mogelijkheid om Fase 2 mogelijk te maken nadat deze overgeslagen is (d.m.v. FO3.2).



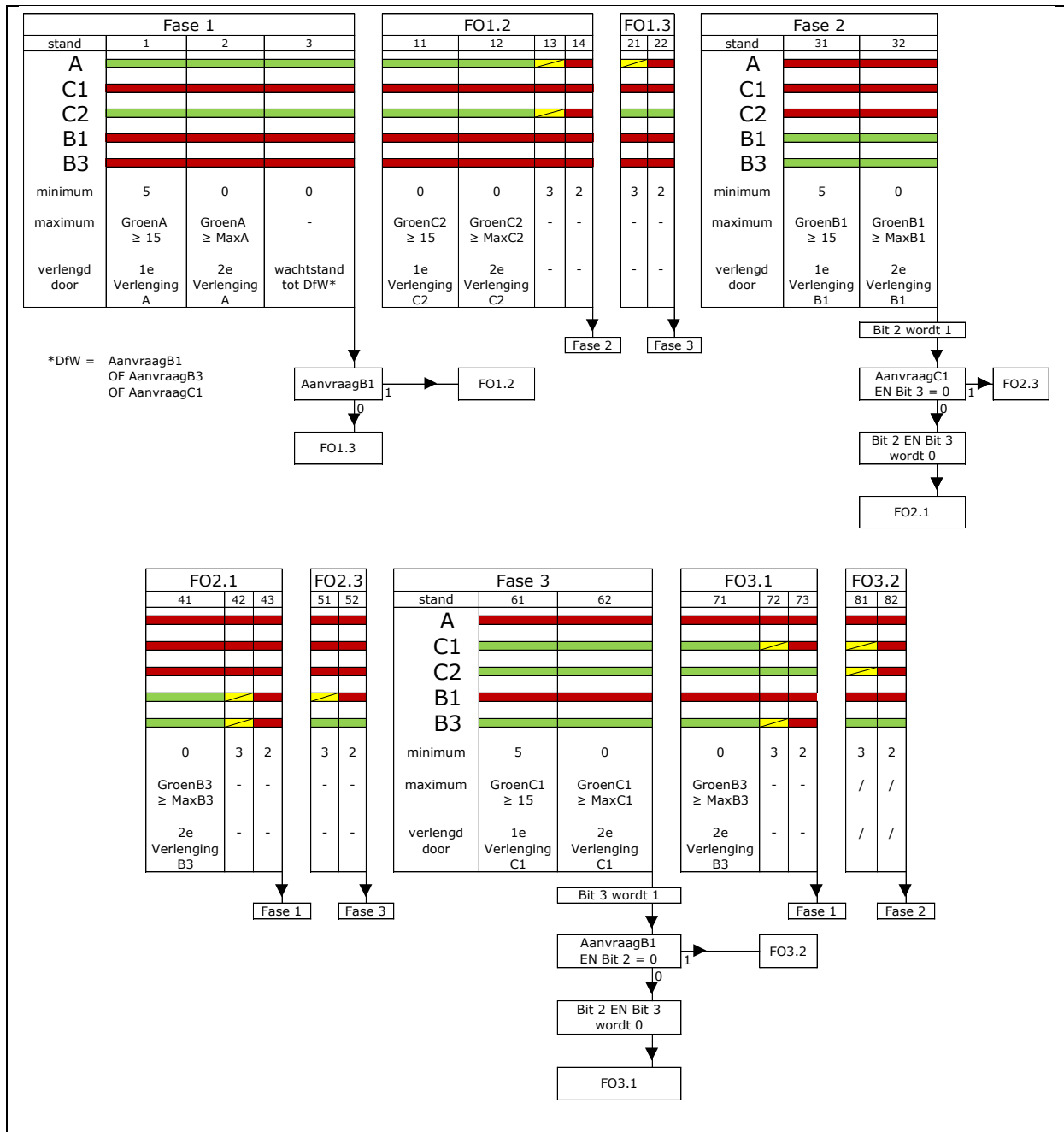
Figuur 71 Fasediagram driefasenregeling met mogelijkheid tot het omwisselen van fasen

In deze regeling zou het mogelijk kunnen gemaakt worden om bv. voor een bus die beweging B1 dient te doen, Fase 2 te laten opkomen nadat deze reeds overgeslagen is in de cyclus (dus na Fase 3).

Bijvoorbeeld:

Fase 1 -> FO1.3 -> Fase 3 (+ aanvraag door bus B1 tijdens Fase 3) -> FO3.2 -> Fase 2 -> FO2.1 -> Fase 1.

Een verkeerslichtenregeling ziet er dan bijvoorbeeld als volgt uit:



Figuur 72 Voorbeeld van een driefasenregeling met mogelijkheid tot het omwisselen van fasen

Zonder te controleren of een bepaalde fase reeds opgekomen in de cyclus, zou het kunnen dat fasen meerdere keren in één cyclus opkomen (bv. Fase 1 -> Fase 3 -> Fase 2 -> Fase 3 -> Fase 1)

Om dit te vermijden, kan een "Bit" gebruikt worden in de regeling om te controleren of een fase reeds is voorgekomen in de regeling. In het voorbeeld wordt dit m.b.v. Bit 2 en Bit 3 gedaan.

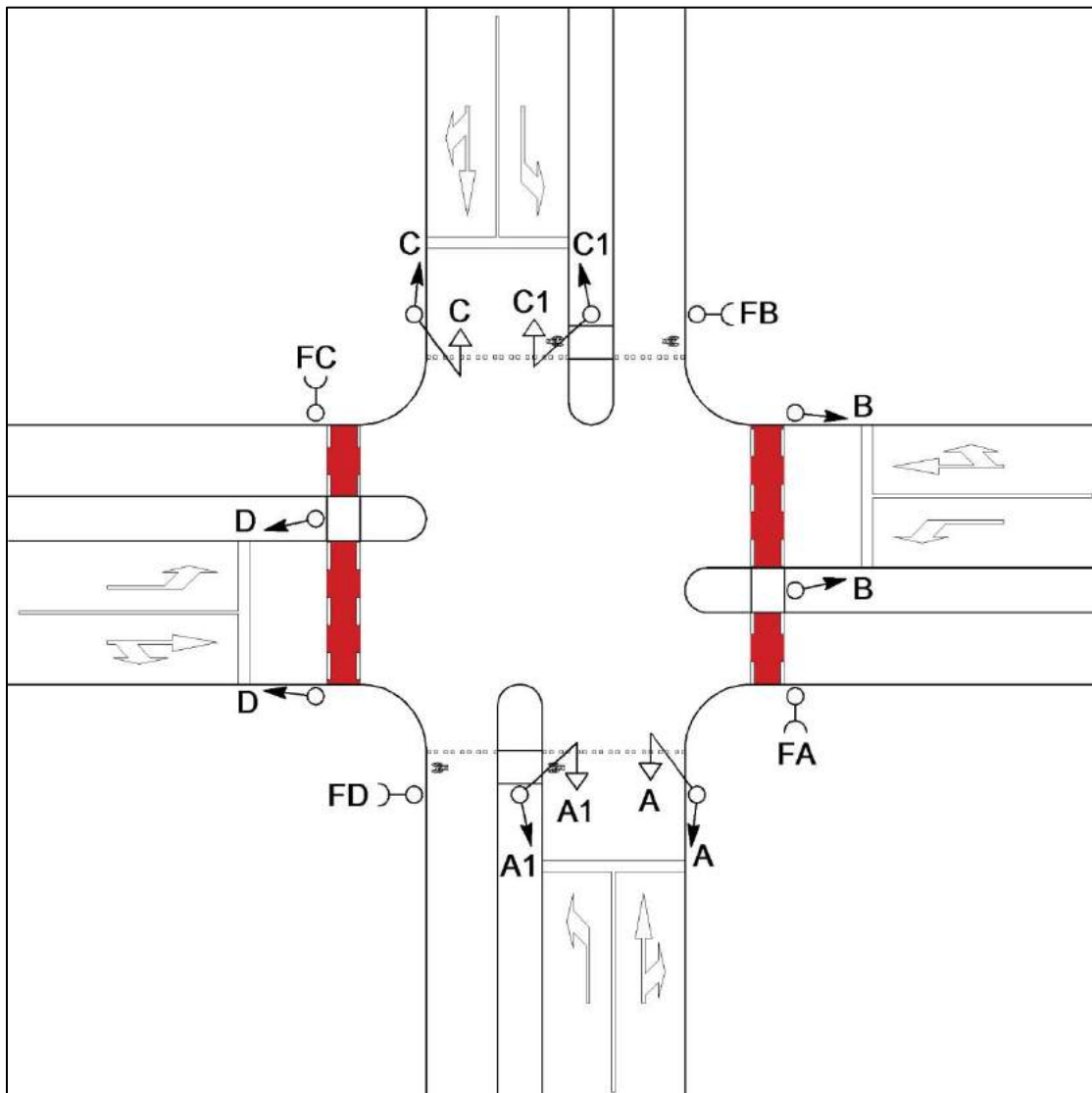
4.2.2.2 Fasen tussenvoegen

Daarnaast is er nog een eenvoudigere vorm van een flexibele fasenvolgorde die gebruikt kan worden, het tussenvoegen van een bepaalde fase in de regeling. Dit is meestal een fase die niet standaard tot de cyclus behoort, zoals wanneer een trein over of langs een kruispunt passeert. De fase voor een doorrijdende trein is niet standaard een deel van de cyclus, maar moet wel op eender welk moment in de cyclus kunnen inbreken.

Deze methode kan ook in minder extreme mate worden toegepast om te anticiperen op het bedienen van een brug of om voorrang te verlenen aan trams en bussen die een eigen, exclusieve fase in de regeling hebben. Zo zou het mogelijk kunnen zijn om, indien bv. een tram zich aanmeldt, steeds de fase met de tram als eerstvolgende fase te beschouwen zodat deze niet hoeft te wachten (en andere fasen af te breken om naar zo snel mogelijk naar deze fase over te gaan). In hoofdstuk 5.2.6.1 volgt hierover meer informatie.

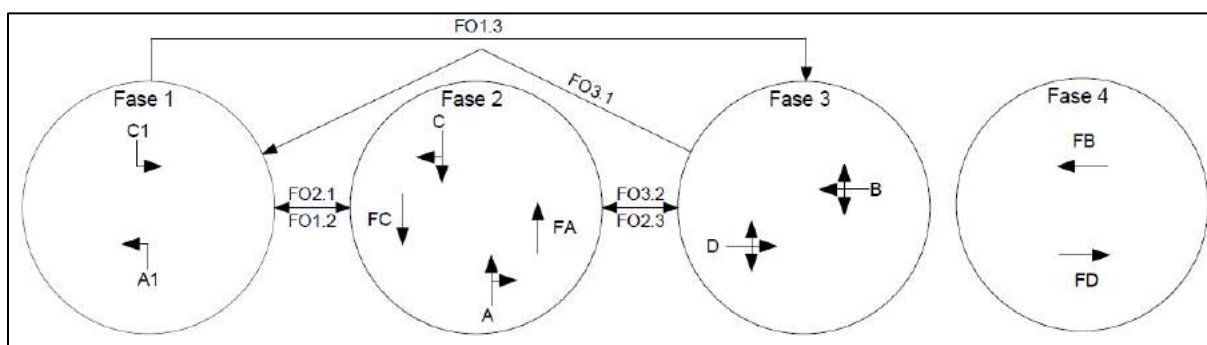
Een andere variant wordt soms gebruikt voor zwakke weggebruikers. Zo zou er meerdere malen per cyclus een moment kunnen zijn waarop de zwakke weggebruikers groen krijgen indien er een aanvraag is geweest. Zo wordt het mogelijk gemaakt voor zwakke weggebruikers om op twee verschillende momenten in de cyclus groen te krijgen. Er kan eventueel als voorwaarde gesteld dat de fase voor zwakke weggebruikers maximaal 1 keer per cyclus opkomt.

Voorbeeld:



Figuur 73 Voorbeeldkruispunt met vier takken

Voor het kruispunt in Figuur 73 is het uitgangspunt van de regeling om fietsers FB en FD conflictvrij te regelen (m.b.v. een eigen fase, Fase 4).

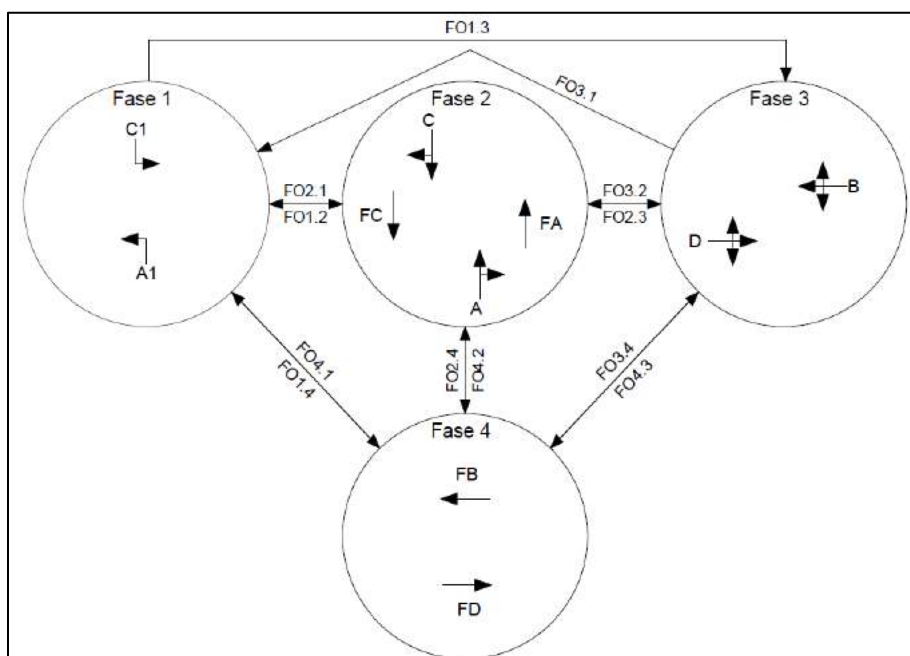


Figuur 74 Fasediagram drie fasenregeling met een extra fase voor fietsers (Fase 4) die ingepast dient te worden in de regeling

Normale cycli volgen steeds de volgorde Fase 1 -> Fase 2 -> Fase 3 en hebben reeds de flexibiliteit om fasen over te slaan en ook Fase 4 dient overgeslagen te worden indien er geen aanvraag is voor Fase 4. Om te vermijden dat fietsers na een aanvraag moeten wachten op Fase 4 in de cyclus, kan het interessant zijn om Fase 4 één of meerdere keren tussen de fasen te voegen. In dit voorbeeld zijn er drie mogelijkheden om deze fase tussen te voegen (in een volledige cyclus):

- Tussen Fase 1 en 2
- Tussen Fase 2 en 3
- Tussen Fase 3 en 1

Om deze mogelijkheden te benutten, dient de regeling te bekijken na iedere fase of er een aanvraag is voor Fase 4, alvorens er naar de volgende fase gegaan wordt. Hiervoor kan er in de regeling worden voorzien dat Fase 4 deze drie mogelijkheden heeft om in te breken in de cyclus, m.b.v. de extra fasenovergangen:



Figuur 75 Fasediagram drie fasenregeling met de mogelijkheid tot het tussenvoegen van een extra fase (Fase 4)

Een mogelijke cyclus is dus als volgt:

Fase 1 -> FO1.4 -> Fase 4 -> FO4.2 -> Fase 2 -> FO2.3 -> Fase 3 -> FO3.4 -> Fase 4 -> FO4.1 -> Fase 1

Indien de fase slechts één keer per cyclus mag opkomen, kan er met een "Bit" gewerkt worden (zoals in hoofdstuk 4.2.2.1) om te controleren de fase al dan niet reeds in de cyclus is voorgekomen.

4.3 Programmawerking

De verkeerslichtenregeling wordt opgemaakt op basis van de spitsuurintensiteiten. Het spitsuur in de ochtend en de avond kunnen echter veel van elkaar verschillen op vlak van intensiteiten. Daarom is het aangewezen om minstens voor de ochtend- en avondspits aparte programma's te laten programmeren. Ook in de daluren zijn de intensiteiten vaak verschillend, bv. voor de uren tussen de spitsuren of tijdens de nacht. Deze specifieke cyclus noemen we dan een programma. Als er verschillende programma's ontworpen worden, kunnen deze ingeschakeld worden op verschillende momenten van de dag of week door middel van een uurwerkregeling.

De keuze van de verschillende programma's wordt best bepaald aan de hand van de verwachte of gemeten intensiteiten op bepaalde momenten gedurende een dag of week.

Standaard worden daarom de volgende programma's voorzien:

- Ochtendprogramma
- Avondprogramma
- Daluren- of nachtprogramma (voor zover er nood is aan een verschillend programma t.o.v. de ochtend- of avondspits)

Voor dal- en nachtperioden (incl. weekend) kunnen eventueel aparte programma's voorgesteld worden om de specifieke verkeersstoestand die tijdens deze periodes heerst optimaal te kunnen faciliteren. Aan de hand van doorsnedetellingen kan er een inschatting gemaakt worden van de benodigde groentijden in deze periodes. Er dient echter steeds enige marge worden voorzien in de regeling, zodat een eventuele drukkere piekperiode opgevangen kan worden.

Indien de regelingen voor verschillende periodes identiek blijken, kan dit eventueel later gereduceerd worden tot 1 programma.

Bijvoorbeeld:

Voor een kruispunt kan de volgende werking worden vooropgesteld voor weekdays:

- Programma Nacht (20u-6u00)
- Programma Ochtendspits (6u00-10u00)
- Programma Daluren (10u00-15u00)
- Programma Avondspits (15u00-20u00)

Daarnaast is het voor woensdagmiddag interessant om een ander programma te schakelen om bv. extra intensiteiten in de buurt van een school op te vangen. Op basis van de doorsnedetelling lijkt deze periode goed overeen te komen met de avondspits, daarom wordt er voor deze periode in dit voorbeeld het programma Avondspits gebruikt.

Voor het weekend is er op basis van de doorsnedetellingen te zien dat het programma Daluren geschikt is voor het hele weekend.

Als resultaat geeft dit de volgende programmawerking:

van / tot	ma	di	wo	do	vr	za	zo
00 u 00 - 06 u 00	N	N	N	N	N	N	N
06 u 00 - 10 u 00	O	O	O	O	O	D	D
10 u 00 - 15 u 00	D	D	A	D	D	D	D
15 u 00 - 20 u 00	A	A	A	A	A	D	D
20 u 00 - 24 u 00	N	N	N	N	N	N	N

Nochtans verschilt het gebruik van programma's van kruispunt tot kruispunt. Er kunnen verschillende aanleidingen zijn voor het gebruik van extra programma's, die al dan niet gebonden zijn aan vaste tijden in een dag. We maken dan ook een onderscheid tussen deze twee categorieën:

- Tijdsgebonden programma's
- Plaatsgebonden programma's

Het tijdstip van de dag bepaalt uiteindelijk welk programma de verkeersregelaar inschakelt. In bepaalde gevallen kan de beslissing over welk programma moet werken genomen worden door de regelaar zelf op basis van actuele verkeerstellingen, of door een betrokken verkeerscomputer, zoals het geval is bij de VLCC te Antwerpen. Hier zal verder worden op ingegaan in hoofdstuk 4.3.3.

4.3.1 Tijdsgebonden Programma's

Een goed voorbeeld van tijdsgebonden programma's is het verschil tussen ochtendspits en avondspits.

Zoals in de vorige paragraaf en gelet op de intensiteiten in Figuur 3 in hoofdstuk 2.2 zijn de standaardprogramma's die voorzien worden de volgende:

- Ochtendprogramma
- Avondprogramma (of namiddag-avondprogramma)
- Daluren- of nachtprogramma (voor zover er nood is aan een verschillend programma t.o.v. de ochtend- of avondspits)

Naast het verschil in tijdstip gedurende de dag is er vaak ook een verschil in verkeer naargelang de dag zelf. Een typisch voorbeeld is de zaterdag of zondag. Zaterdagen zijn een apart geval, omdat die omwille van bijvoorbeeld recreatief verkeer toch druk kunnen zijn ondanks het weekend is. Die spitsmomenten vallen echter waarschijnlijk op andere momenten dan de typische ochtend- en avondspits.

Om een beter beeld te krijgen op welk moment deze speciale drukke momenten juist precies vallen, kunnen doorsnedetellingen uitgevoerd worden gedurende één of meerdere dagen, zoals reeds besproken (de meeste tijdsgebonden schommelingen worden meestal goed zichtbaar met een doorsnedetelling van een volledige week). Eventueel kunnen ook telgegevens worden gehaald uit detectielussen met een telfunctionaliteit.

Op basis van een analyse van deze gegevens kan worden achterhaald welke periodes van de dag intensiteiten hebben die afwijken van de waargenomen intensiteiten in de ochtend- en avondspits. Aan de hand van deze analyse kan er dan via een kruispuntanalyse een optimale cyclustijd en groentijdverdeling worden bepaald.

Indien er geen doorsnedetellingen beschikbaar zijn kan er aan de hand van vuistregels een regeling opgesteld worden, bv. als inschatting voor de intensiteiten tijdens de nacht kan de helft van de spitsuurintensiteiten gehanteerd worden.

4.3.2 Plaatsgebonden Programma's

Een ander gebruik van programma's is afhankelijk van de ligging van het kruispunt. In het geval van een sterke invloedsfactor dichtbij het kruispunt is het soms aangewezen om in bepaalde gevallen op een ander programma over te stappen.

Door deze invloedsfactor kunnen de verkeersstromen sterk wisselen doorheen de dag, dit kan bijvoorbeeld het geval zijn door shiftwissels bij grote bedrijven, het einde van de schooltijd, sluitingsuren van grote winkelcentra, pretparken, etc. Deze tijden vallen niet noodzakelijk samen met de typische spitsuren, zowel qua tijdstip als qua geldende intensiteiten.

Het is belangrijk bij het bepalen van deze tijden om uit te gaan van de expertise van de lokale overheid en eventuele betrokken actoren. De ochtend- of avondspits kan bv. qua tijdstip ook immers vroeger beginnen,

later eindigen of langer duren dan mogelijks verwacht wordt. Ook zullen deze actoren beter geïnformeerd zijn omtrent de eventuele nood aan bijkomende programma's en de hoeveelheden verkeer hier verwacht kunnen worden.

4.3.3 Programmabeïnvloeding door actuele tellingen (Verkeersafhankelijke programmaselectie)

Bij de programmawerking in bovenstaande paragrafen wordt steeds op vaste tijdstippen overgeschakeld tussen een ochtendprogramma, een avondprogramma en eventueel een ander voertuigafhankelijk programma zoals een dalprogramma of een zaterdagmiddagprogramma. Maar door op voldoende grote afstand voor het kruispunt de voertuigen met lussen te tellen kan het moment van overschakelen afhankelijk gemaakt worden van de actuele verkeersdrukte. Dan kan bijvoorbeeld ook onderscheid gemaakt worden tussen een drukke-avondspits-programma en een rustige-avondspits-programma.

Eén zo'n lus kan soms gebruikt worden voor de programmaselectie van meerdere kruispunten tegelijk, al dan niet afgestemd. We spreken dan van macro-lussen. Verkeersafhankelijke programmaselectie wordt onder meer toegepast bij de VLCC in Antwerpen, de verkeerscomputer R40 Gent en de TASS-regelingen in Limburg.

De twee essentiële onderdelen van een "verkeersafhankelijke programmaselectie" bij meerdere kruispunten zijn:

- Macro-lussen die het verkeer meten (bij voorkeur op voldoende afstand van het kruispunt, om bij filevorming nog steeds de werkelijke verkeersvraag te kunnen meten);
- Een schakellogica om te bepalen wanneer bepaalde programma's geschakeld dienen te worden. Deze schakellogica moet minstens de volgende onderdelen bevatten:
 - Het regelgebied (locatie en beschrijving van de kruispunten)
 - Scenario's (beschrijving van de scenario's, welke programma's deze omvatten en eventueel extra informatie hierover (bv. afstemmingen tussen kruispunten onderling) en de bedoeling van deze programma's)
 - Beschrijving van de meetpunten en de verwachte intensiteiten op deze meetpunten. (De locaties van de macro-lussen ('meetstations') worden bij voorkeur ook weergegeven op het V-plan of in een overzichtsplan met de locatie van alle macro-lussen van het regelgebied)
 - Een beschrijving van de schakellogica (een overzicht van alle mogelijke overgangen + de beschrijving van de voorwaarden voor het schakelen van iedere overgang)

In het fragment hieronder staan als voorbeeld enkele voorwaarden om te schakelen van het dalurenprogramma (A100D) naar het ochtendspitsprogramma (B90M).

4.2.3.8 OVERGANG 8: A100D -> B90M	
Logica geldig op (type dag en periode): alle dagen	
Aantal bevestigingen voor overgang te schakelen	3x
Minimum duur dat vorig scenario actief moet zijn	15 min
Groep ZN1 (N80 richting Hasselt):	
Meetstations	M101, M102
Drempelwaarde (som intensiteit)	> 900 <u>vtg</u> /uur
Beschikbaarheid voor validatie	Alle detectoren
Alternatieve meetstations	M103, M104
Drempelwaarde (som intensiteit)	> 900 <u>vtg</u> /uur

Figuur 76 Voorbeeld van een schakellogica voor het overschakelen van programma A100D naar B90M



Figuur 77 Voorbeeld van de weergave van macrolussen op een V-plan

Er zijn nog geen concrete criteria om te bepalen in welke omstandigheden dergelijke verkeersafhankelijke programmaselectie daadwerkelijk leidt tot lagere verliestijden dan overschakeling op vaste tijdstippen, en of dit eventuele voordeel opweegt tegen de hoge kosten van de bijkomende lussen op grote afstand. Daarom zijn een microsimulatie van verschillende intensiteitsverlopen en een kosten-batenanalyse aangewezen wanneer verkeersafhankelijke programmaselectie wordt overwogen.

4.3.4 Programma “Knipperend Oranje-Geel”

In ieder geval heeft elke regeling een apart programma indien bepaalde kritische infrastructuur defect is. In dat geval wordt het kruispunt in een alarmstand gebracht, waarbij de lichten oranjegeel knipperen of gedoofd zijn, afhankelijk van het sein.

- Seingroepen voor gemotoriseerd verkeer en fietsers zullen overgaan naar een knipperende stand van het oranjegeel;
- Voetgangerslichten worden gedoofd;
- Knipperlichten knipperen meestal door in dit programma, behalve wanneer het om een knipperlicht gaat dat het groen vervangt, dit knipperlicht dient gedoofd te worden.

KnO : Programma Knipperend Oranje-Geel	
A1, A2, A3, B, C1, C2, C3, D	: Knipperend Oranje-geel
FA, FB, FC, FD	
a, b1, b2, c, d1, d2	: Gedoofd
Ha, Hb, Hc, Hd	: Buiten werking



Figuur 78 Voorbeeld van een “KnO”-programma

In sommige landen worden verkeerslichten op knipperend oranje gezet of uitgeschakeld gedurende de nacht. In Vlaanderen geniet dit niet onze voorkeur. Uit wetenschappelijk onderzoek^{1,2,3,4} is gebleken dat dit tot significant meer ongevallen met gewonden leidt en zodoende de veiligheid op kruispunten 's nachts niet ten goede komt.

¹ S.F. Polanis, “Right-Angle Crashes and Late-Night/Early- Morning Flashing Operation: 19 Case Studies,” ITE Journal, April 2002 + “Removal of signal flashing mode during late-night / early-morning operation, Winston-Salem, 2004”

² Dipl.-Ing. Jörg Ortlepp, Dipl.-Ing. Heiko Voß, “Switching off traffic signals overnight - Cost-cutting at the expense of safety?,” German Insurers Accident Research, November 2008

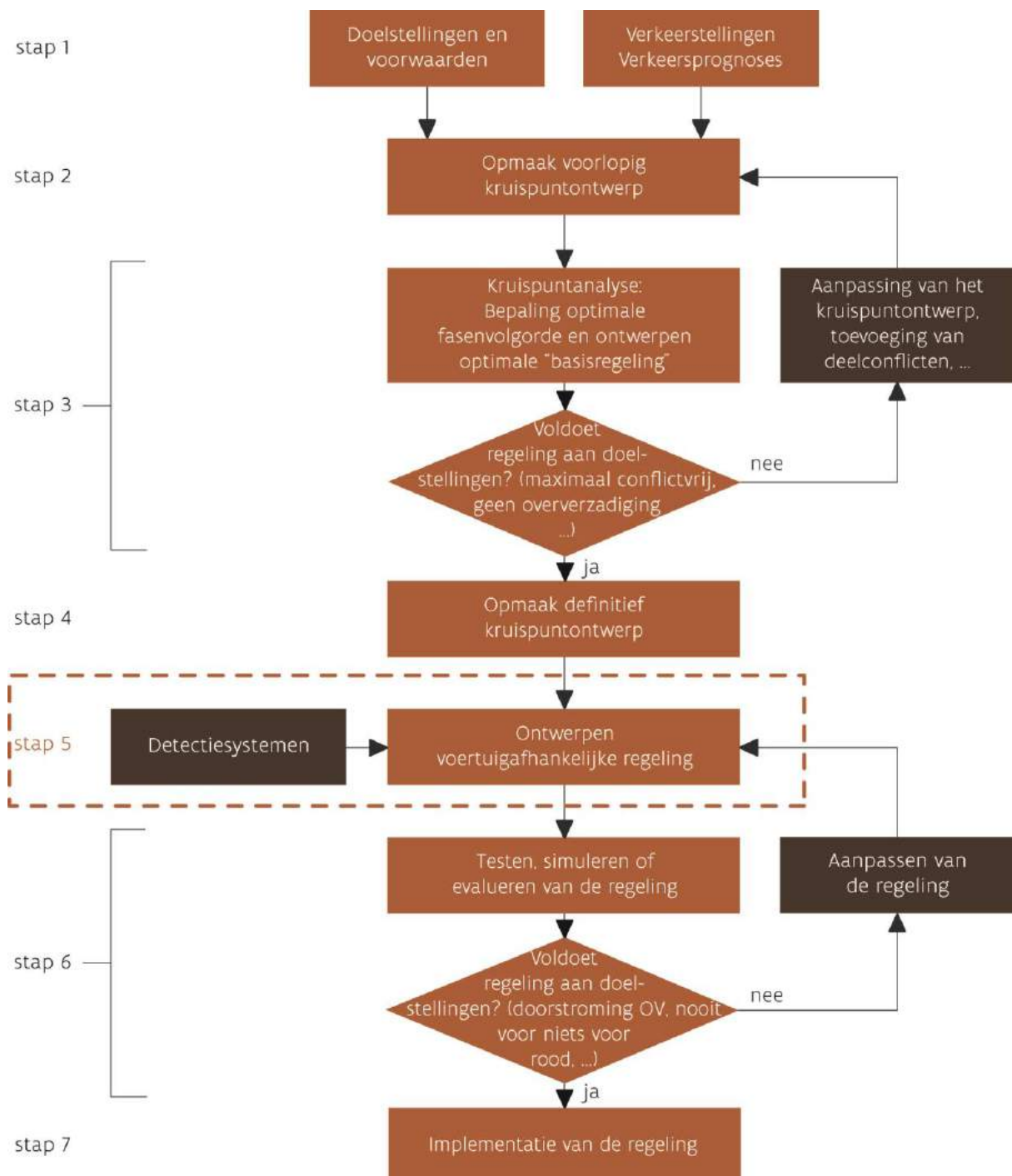
³ Maier, R., Scholz, Th. & Enke, Markus (2007). „Untersuchung zur Wirkung von unterschiedlichen Betriebszeiten der Lichtsignalanlagen in Städten (Schlussbericht).“ (An Investigation into the Effect of Different Operating Hours of Traffic Signals in Cities (Final Report)) Technische Universität Dresden

⁴ Ahmed Abdelghany, Ph.D. Billy Connor, P.E. (2006). Guidelines for Operating Traffic Signals during Low-Volume Conditions, TransNow, August 2006

5 Gedetailleerd ontwerp van de voertuigafhankelijke regeling

In dit hoofdstuk zal er dieper worden ingegaan op het gebruik van detectiemiddelen om de regeling voertuigafhankelijk te maken.

De principes uit hoofdstuk 4 gelden hier als leidend, in dit hoofdstuk wordt er per categorie weggebruiker beschreven hoe hier mee kan worden omgegaan.



Figuur 79 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 5)

5.1 Beïnvloeding door motorvoertuigen

Het verloop van de regeling wordt bepaald door het verkeersbeeld in de omgeving van het kruispunt. Motorvoertuigen beïnvloeden de verkeerslichten door middel van detectoren; met name lussen en radars. De doelen hiervan zijn lagere verliestijden en het voorkomen dat men voor niets voor rood staat.

Een bijkomende eis aan de Vlaamse detectieconfiguraties is dat die budgetvriendelijk moeten zijn. Met deze voorwaarden is er op Vlaams niveau een standaarddetectieconfiguratie uitgewerkt, gebaseerd op een proefproject waarbij de kosten en baten werden afgewogen. Voor verschillende situaties zijn er verschillende detectieconfiguraties en bijbehorende werkingsdiagrammen, maar we beginnen met de standaarddetectieconfiguraties voor de vier meest voorkomende snelheidsregimes.

5.1.1 Opbouw van de Vlaamse standaarddetectieconfiguratie

5.1.1.1 Detectortypes

Op de Vlaamse gewestwegen zijn er momenteel verschillende detectortypes in gebruik voor gemotoriseerd verkeer, zodat deze hun groen kunnen aanvragen en/of verlengen:

- Inductieve lussen
- Radars
- Optische camera's: videodetectoren of thermische detectoren

De keuze van het meest geschikte detectortype gebeurt in overleg met de uitvoerende diensten om zo tot de meest geschikte detectie voor iedere locatie te komen.

a) Inductieve lus

Een inductieve lus is een koperdraad in het wegdek of tussen de spoorstaven¹. Hij detecteert ijzerhoudend metaal dat zich boven de lus bevindt. Bij een detectie van metaal wordt een signaal doorgegeven aan de verkeersregelaar, die dit interpreteert en de werking van de verkeerslichten beïnvloedt aan de hand van de programmatie in de regelaar.

Met betrekking tot weergave op het V-plan zijn er de volgende richtlijnen:

- De afmetingen van een lus worden consequent weergegeven als een lengte maal een breedte, waarbij de lengte gemeten wordt in lengterichting van de weg en de breedte in dwarsrichting. De lengte is dus meestal kleiner dan de breedte.
- De afmetingen van de lussen moeten op het V-plan vermeld worden. (Bijvoorbeeld in een tabel, of met de vermelding "Alle niet-selectieve lussen zijn 1,0 x 2,0 m, tenzij anders vermeld bij de betreffende lus".
- Lussen worden op schaal getekend.

Voor wat betreft de standaarddetectieconfiguratie genieten inductieve lussen de voorkeur; naast de functie van het aanvragen en verlengen van het groen kunnen deze lussen namelijk ook een telfunctie vervullen.

b) Radars en andere typen detectoren

In de huidige situatie wordt de aanwezigheid van motorvoertuigen in Vlaanderen op de meeste locaties door middel van inductieve lussen in het wegdek gedetecteerd. Naast de inductieve lus is de radar het meest voorkomende detectortype. In de praktijk worden radars vooral gebruikt om groen te verlengen, niet om groen aan te vragen. Maar ook andere detectortypen kunnen worden gebruikt: optische

¹ Voor meer informatie over de technische werking wordt verwezen naar CROW, Handboek verkeerslichtenregelingen 2014, p.194

detectoren, videodetectoren of thermische detectoren. Een afwijkend type kan bijvoorbeeld noodzakelijk zijn bij verhardingen die het slijpen van lussen niet mogelijk of onwenselijk maken (bijvoorbeeld werfsituaties, brugdekken, conflicten met roodlichtcamera's, kasseien, etc.).

Bij deze andere detectortypen kunnen ook andere benamingen op het V-plan gehanteerd worden.

Bijvoorbeeld: OLAI's is een optische lus die de in de plaats komt van inductieve stopstreeplu's LAI's.

In de legenda voor V-plannen staan al symbolen voor de meest voorkomende detectortypen, bv voor videodetectie:



Voor uitgebreide technische informatie over de detectortypen verwijzen we naar hoofdstuk 51 van Standaardbestek 270 (<http://docs.wegenenverkeer.be/Standaardbestek%20270>).

Radars

Bewegend verkeer een groenfase laten verlengen kan ook door middel van een radardetector gebeuren. Een klassieke radar detecteert echter geen stilstaande weggebruikers. Voor het doel van zekere aanvragen zijn radars niet geschikt, omdat die soms valse aanvragen schijnen te genereren: vogels, bewegende deuren en takken in de wind kunnen niet altijd van naderend verkeer worden onderscheiden. Radars kunnen wel bijkomend een vroege, onzekere aanvraag genereren om snel groen te geven als er toch geen verkeer op een conflicterende richting is.

Radardetectoren voor auto's hebben ook bij het verlengen enkele verkeerskundige nadelen ten opzichte van inductieve lussen:

- Ze kunnen niet onderscheiden op welke rijstrook een voertuig rijdt, wat van belang is waar een afslagrichting apart geregeld wordt met een pijllicht. Idealiter worden radardetectoren niet gebruikt op kruispunttakken waar de groenfases van verschillende naderende verkeersstromen op een verschillend moment worden beëindigd.
- Ook in de lengterichting bieden ze geen nauwkeurigheid over hoe ver een gedetecteerd voertuig zich van de stopstreep bevindt. Op het V-plan wordt wel vermeld op welke afstand de detectie van een naderend voertuig moet *beginnen* (dus niet moet *eindigen* zoals bij lussen) maar het is twijfelachtig of die afstand in de praktijk kan worden gecontroleerd.
- Ze detecteren geen stilstaande voertuigen, maar enkel verkeer vanaf een bepaalde snelheid. Een wachtrij die net groen heeft gekregen rijdt vermoedelijk pas vanaf 10 à 15 s snel genoeg om de radar te activeren. Mede daarom moet een eventuele radar minstens gecombineerd worden met een stopstreeplu's: om de verlenging tot 15 s te verzekeren als daar behoefte aan is.

Inductieve lussen hebben daarentegen als nadeel dat er meer kabelwerken nodig zijn bij aanleg en herstel.

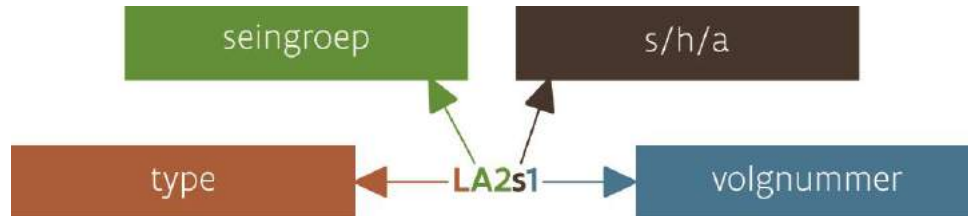
Radars worden soms toegepast wanneer verkeer op gemeentewegen of afritten van autosnelwegen gedetecteerd moet worden ter vervanging van alle lussen op meer dan 10 m voor de stopstreep op de betreffende kruispunttak.

Noot: Als hiaattijd voor radars die voertuigen dienen te detecteren wordt standaard 0,5s gehanteerd.

5.1.1.2 Naamgeving van detectoren voor motorvoertuigen

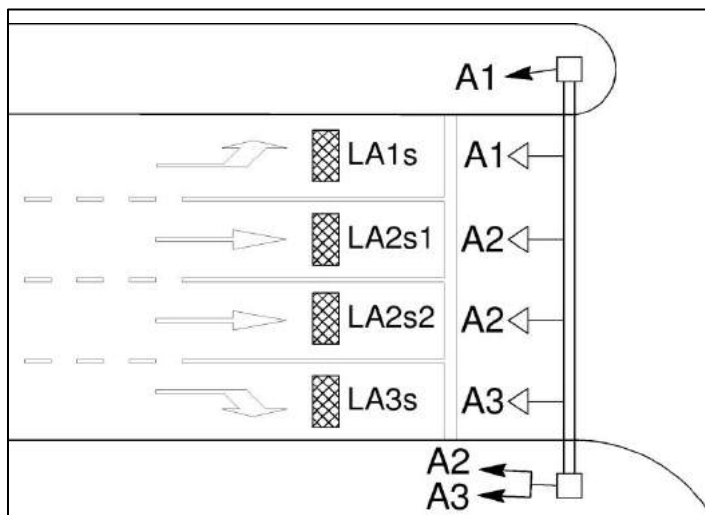
Een detectornaam is opgebouwd uit:

L(us)/R(adar) – Seingroepnaam – evt. s(stopstreeplus)/h(iaatlus)/a(fstandslus) – evt. Volgnummer (van linker linksafstrook naar rechter rechtsafstrook)



Figuur 80 Opbouw detectornaam

Bijvoorbeeld: de vier stopstreeplussen LA1s, LA2s1, LA2s2 en LA3s liggen naast elkaar. (zie Figuur 81)

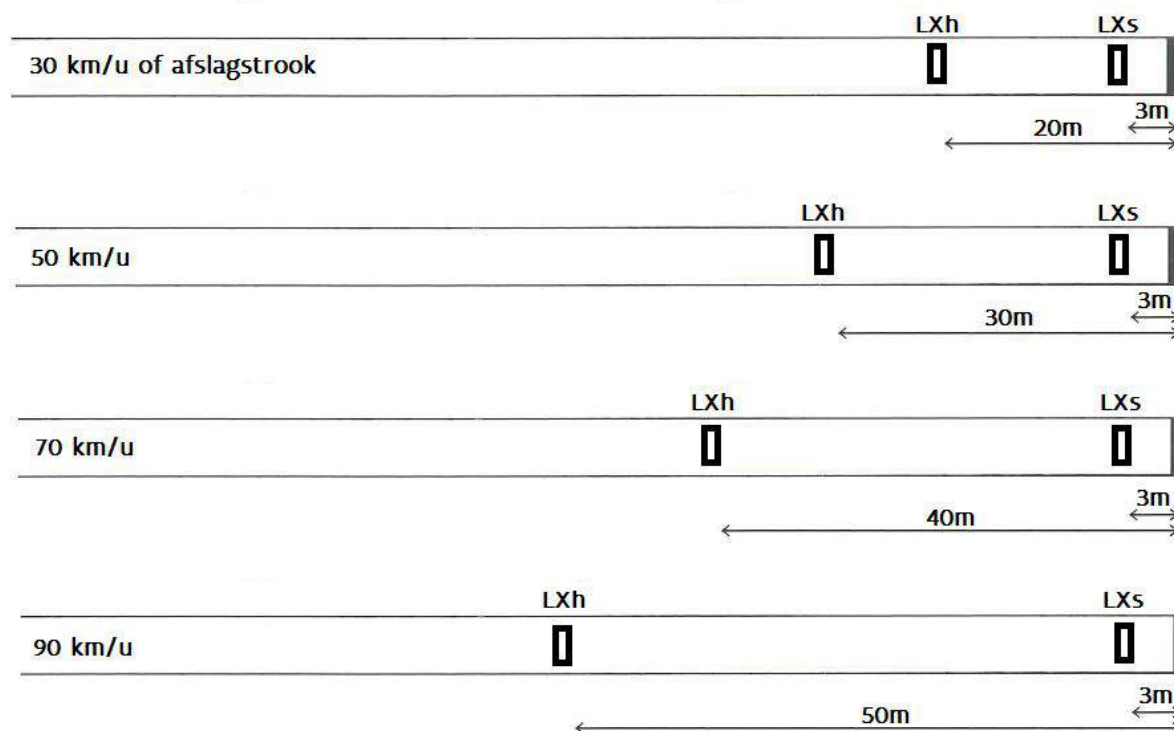


Figuur 81 Voorbeeld van stopstreeplussen en hun benaming

Een radar detecteert soms het verkeer van meerdere seingroepen, maar wordt toch toegekend aan de seingroep met de hoogste intensiteit, bijvoorbeeld RA of RA2.

Wanneer bij het V-planontwerp al bekend is dat een ander motorvoertuigdetectortype dan inductieve lus of radar gebruikt wordt, dan worden de naamgeving en de weergave op het grondplan hierop aangepast (zie hoofdstuk 2.5.2)

5.1.1.3 Vlaamse standaarddetectieconfiguratie per rijstrook



Figuur 82 Voorbeelden van de standaarddetectieconfiguraties

We onderscheiden dus de stopstreeplu 'LXs' en de hiaatlu 'LXh' van een seingroep 'X'. De afstanden tussen lus en stopstreep zijn vermeld. Alle lussen ("□") zijn standaard 2 m breed en meten 1 m in de lengterichting van de weg. Deze configuraties gaan steeds uit van een vrije afstroom van het verkeer; d.w.z. geen belemmeringen door deelconflicten, andere kruispunten, uitzonderlijk traag rijdend verkeer, etc.

a) Stopstreeplu

De simulaties van het Groene-Golftteam Vlaanderen, de verliestijdmetingen van het daaropvolgende proefproject in Dendermonde en het onderzoek- en ontwikkelingsproject 'Opvolging verkeerslichtenregelingen' kwamen allemaal tot eenzelfde conclusie: voor een meer optimale verkeerslichtenregeling (en kwaliteitsbewaking) heeft elke rijstrook een stopstreeplu nodig. Deze stopstreeplussen (ook wel 'koplussen' genoemd) moeten kort zijn omdat anders "geen onderscheid gemaakt kan worden tussen individuele voertuigen, zodat bijvoorbeeld de doortocht van afzonderlijke voertuigen niet bepaald kan worden, of het tellen van voertuigen onmogelijk wordt. (...) Het gebruik van een standaard detectieconfiguratie met korte stopstreeplussen op de verschillende opstelstroken zal leiden tot een betere algemene werking van de verkeerslichten en een betere kwaliteitsbewaking." (Bron: Eindrapport 'Opvolging verkeerslichtenregelingen')

We hanteren een standaard luslengte van 1 m omdat daarmee automatische tellingen gedaan kunnen worden en de performantie van de lichtenregeling gemeten kan worden. Kleine lussen passen ook beter in een budgetvriendelijke configuratie dan grote lussen.

De stopstreeplu is nodig om voertuigen voor seingroep X altijd een aanvraag te laten doen, omdat een lus op grotere afstand al voorbijgereden kan zijn op het moment dat het licht rood wordt en de 'memorisatie' van nieuwe aanvragen start (zie hoofdstuk 5.1.2.1 Aanvraag van groenfase door motorvoertuigen). De andere lussen zorgen eveneens voor een aanvraag en hebben als voordeel dat de aanvraag daar vroeger gebeurt, wat de kans op tijsverlies verkleint.

Ook wanneer de stopstreeplussen niet gebruikt zullen worden in de regeling, worden ze aangebracht, dit omwille van verschillende redenen:

- Redundantie: Een stopstreepluss kan een hiaatlus vervangen bij defecten;
- Toekomstige functionaliteit: Het is mogelijk dat de stopstreepluss in de toekomst toch een functionaliteit zal krijgen in de regeling;
- Telfunctionaliteit: Met een stopstreepluss kunnen er tellingen gegenereerd worden op het kruispunt.

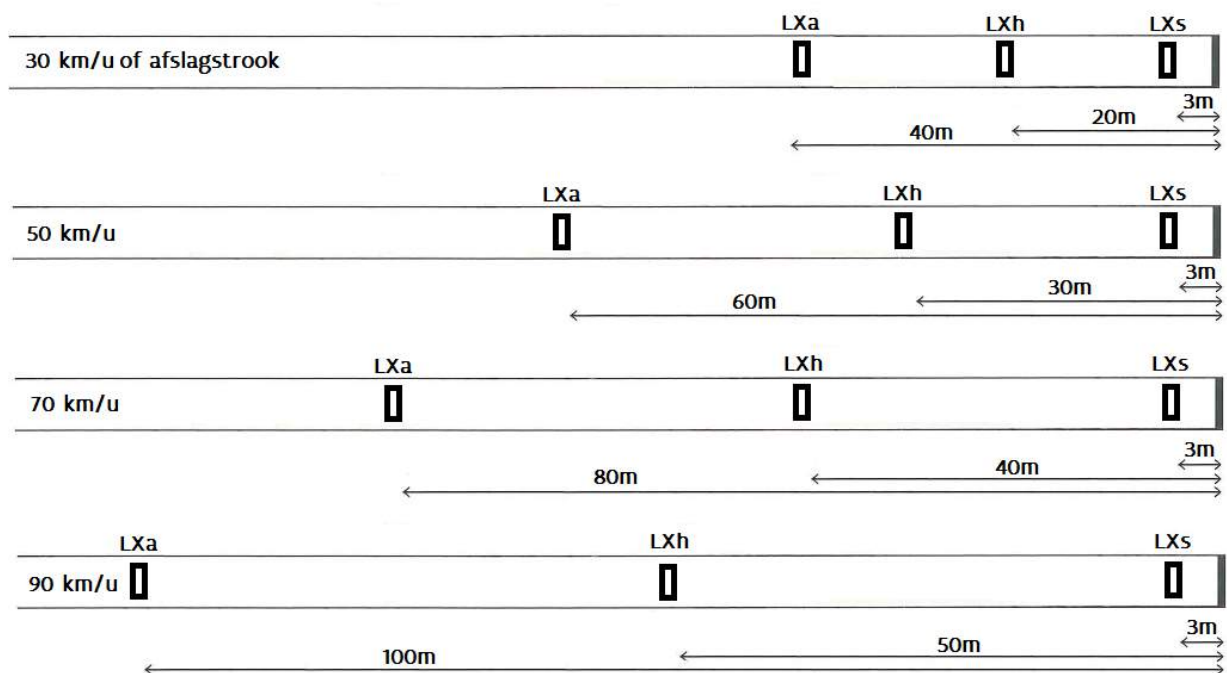
b) Hiaatlus

De hiaatdetector moet er in een middelste deel van de groenfase voor zorgen dat die niet te vroeg en niet te laat wordt beëindigd, maar juist als er een hiaat valt in de naderende verkeersstroom en het laatste voertuig voor dat hiaat over de stopstreep rijdt. Een radar heeft een zeer onnauwkeurig begrensd detectiegebied, waardoor de voorkeur meestal uitgaat naar een lus. Een lange hiaatlus (15 à 20 meter) heeft als voordeel dat die het juiste moment vindt om de groenfase af te breken, onafhankelijk van de snelheid van het laatste voertuig. Een korte lus kan dat niet, maar heeft als voordeel dat hij goedkoper is bij aanleg en onderhoud [IVER-stuk 02-01; 2002]. Daarom wordt voor een korte hiaatlus LXh gekozen. Het woord 'hiaatlus' neemt niet weg dat ook stopstreeplussen en afstandslussen gebruikt kunnen worden om hiaten te detecteren.

c) Afstandslus

Vooraf bij hogere maximumsnelheden kan het nuttig zijn om ook een lus op grotere afstand toe te voegen. Deze lussen zijn echter steeds optioneel. Deze afstandslus 'LXa' zorgt in het laatste deel van de verlenging voor een beëindiging van de groenfase op het juiste moment. Bovendien zorgt hij voor een vroege aanvraag, dus een extra lage verliestijd in de daluren.

De standaardposities voor afstandslussen worden hieronder weergegeven:



Figuur 83 Voorbeelden van de standaarddetectieconfiguraties met optionele afstandslussen

5.1.1.4 Bepaling van de lusafstanden

Er bestaat niet één vaste ideale positie van de hiaatlus, noch van de afstandslus. Naarmate de groenfase al langer heeft geduurd neemt de snelheid toe en neemt daarmee ook de ideale lus-afstand geleidelijk toe.

Eenzijds moet de hiaatlus vrij dicht bij de stopstreep liggen om zo snel mogelijk niet meer op de stopstreep te hoeven verlengen. Zodra er immers geen wachtrij meer is en er enkel nog rijdende voertuigen zijn, is een voertuig op de stopstreep eigenlijk geen reden meer om het groen te verlengen: dat voertuig zal zeker nog doorrijden, ook al wordt het licht op dat moment oranjegeel. Nog langer verlengen op de stopstreep omdat de hiaatlus ver weg ligt creëert dus verliestijd. Bovendien: hoe verder van de stopstreep, hoe groter de kans dat het laatste verlengende voertuig zo traag rijdt dat het toch nog voor rood komt te staan

Anderzijds moet die lus juist vrij ver van de stopstreep liggen. Want als bij vrij hoge snelheden een hiaatlus dicht bij de stopstreep een hiaat van 3,0 s heeft gemeten waarna de groenfase eindigt, dan is het laatste voertuig de stopstreep allang gepasseerd voordat het licht oranjegeel wordt. Zo wordt eveneens verliestijd gecreëerd.

a) Bepaling afstand "afstandslus" (LXa)

Voor de afstand van de afstandslus LXa gaan we ervan uit dat in een laatste deel van de groenfase (wanneer enkel nog op de afstandslus verlengd wordt) de voertuigen meestal met bijna de maximumsnelheid rijden. We streven ernaar dat de laatste bestuurder zijn licht oranjegeel ziet worden in de laatste seconde voordat hij de stopstreep passeert. Of mogelijk iets eerder, als hij trager rijdt.

Een mogelijke manier om de afstand van de afstandslus te bepalen, is op basis van de dilemmazone en de gewenste hiaattijd van de lus. Als voorbeeld wordt dit hieronder uitgewerkt voor rechtdoorgaand verkeer dat 70 km/h mag rijden.

De detectiezone waarin de voertuigen ten behoeve van een veilige beëindiging van het groen worden gedetecteerd is de dilemmazone.

De dilemmazone is het gebied, waarin een automobilist, op het moment dat geel verschijnt, kan kiezen tussen doorrijden en stoppen.

Het gebied eindigt op het punt waarop de automobilist zelfs met de hoogste remvertraging (5 m/s²) niet meer kan stoppen vóór de stopstreep.

Voertuigen hebben een snelheid tussen de minimum- en maximum-waarde. Voor het begin van de dilemmazone moet rekening worden gehouden met de maximumsnelheid (19,4 m/s = 70 km/h). Voor het eind van de dilemmazone moet rekening worden gehouden met de minimumontruimingssnelheid (15 m/s = 54 km/h).

Met de volgende formule kan het einde van dilemmazone worden berekend (Bron: IVER Signaalgroepafwikkeling en Detectieconfiguratie):

$$S = (T_r * V) + \frac{V^2}{2 * a}$$

Hierin is:

S : afstand tot stopstreep (m)

T_r : reactietijd (s)

V : minimale snelheid (m/s)

a : remvertraging (m/s²)

Rekening houdend met:

- Een minimum snelheid van 54 km/h (V)
- een remvertraging van 5 m/s² (a)
- een reactietijd van 0,75 s (T_r)

ligt het einde van de dilemmazone op 34 m vóór de stopstreep.

Samenvattend: Wanneer een voertuig op 34 m van de stopstreep rijdt met een snelheid van 54 km/h, gaan we er dus van uit dat dit voertuig niet meer zal stoppen met een remvertraging van 5 m/s² (of minder).

Voor alle snelheidsregimes komt dit overeen met de volgende waarden:

km/h	Minimum-snelheid (m/s)	Einde dilemmazone tot stopstreep (m)
30	8	12
50	12	23
70	15	34
90	18	46

Tabel 13 Einde van de dilemmazone voor de verschillende snelheidsregimes

Er wordt voor gekozen om er voor te zorgen dat een voertuig het einde van de dilemmazone bereikt (met de minimale ontruimingssnelheid) wanneer er 3 seconden is verstreken na de detectie van het voertuig op de afstandslus. Dit wil dus zeggen dat het volledige voertuig voorbij het einde van de dilemmazone is. De keuze voor 3 seconden heeft te maken met de keuze van de hiaattijd op de afstandslussen, zie onderstaande hoofdstuk "5.1.1.5 a) Bepaling van de hiaattijd van de lussen".

Hieruit volgt dat de afstandslus op de plaats ligt waarbij het voertuig nog 3s verwijderd is van het einde van de dilemmazone.

Rekening houdend met de volgende minimale ontruimingssnelheden, volgen hieruit de volgende theoretisch ideale locaties voor de afstandslus:

km/h	Minimum-snelheid (m/s)	Hiaattijd (s)	Afgelegde Afstand (m)	Einde dilemmazone (m tot stopstreep)	Afstand afstandslus tot stopstreep (m)
30	8	3	24	12	36
50	12	3	36	23	59
70	15	3	45	34	79
90	18	3	54	46	100

Tabel 14 Bepaling afstand afstandslus tot stopstreep

Afgerond op gehele tientallen resulteert dat in 40, 60, 80 en 100 meter bij respectievelijk 30, 50, 70 en 90 km/h.

Noot: Deze gehanteerde afstandslus-afstanden zijn niet geschikt voor wachtstand rood zonder nadeel, omdat het licht dan pas groen wordt als je afgeremd hebt.

b) Bepaling afstand "hiaatlus" (LXh)

De optimale locatie van de hiaatlus is niet zomaar eenduidig te bepalen omdat er 2 (tegenstrijdige) mechanismen spelen:

- Hoe verder van de stopstreep, hoe groter de kans dat het laatste verlengende voertuig zo traag rijdt dat het toch nog voor rood komt te staan, en bovendien hoe langer er ook op de stopstreeplus verlengd moet worden om de wachtrij tot aan de hiaatlus af te wikkelen.
- Hoe dichterbij de stopstreep, hoe langer het vervolgens groen blijft terwijl het laatste voertuig de stopstreep al gepasseerd is.

De middenpositie tussen afstands lus en stopstreeplu s lijkt een goed evenwicht tussen de twee bovenstaande bedenkingen.

Dit betekent een lusafstand van 20, 30, 40 en 50 meter bij respectievelijk 30, 50, 70 en 90 km/h. De middenpositie heeft als voordeel dat, bij constante snelheid, de tijd van afstands lus tot hiaat lus gelijk is aan de tijd van hiaat lus tot stopstreep. In 3 s wordt die laatste afstand afgelegd met een snelheid van respectievelijk 24, 36, 48 en 60 km/h, wat bij vrije afstroom redelijk lijkt als ondergrens om verlenging tot aan de stopstreep te garanderen in het middelste deel van de groen fase.

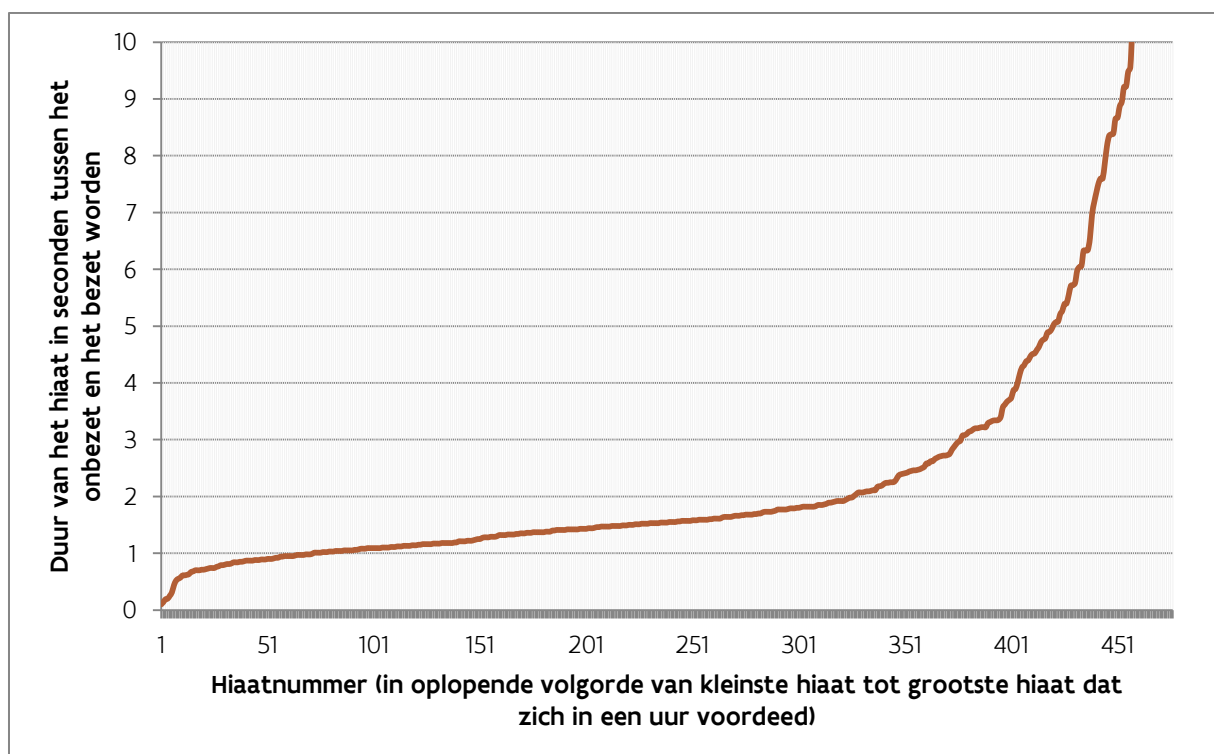
5.1.1.5 Gebruik van de lussen om het groen te verlengen

a) Bepaling van de hiaattijd van de lussen

Een afrijcapaciteit van 1800 pae/u veronderstelt een gemiddelde hiaattijd tussen twee voertuigen van 2 s. In de praktijk is het echter zo dat niet iedere bestuurder perfect 2 s aanhoudt als hiaat. Daarom moet vaak een grotere grenswaarde voorzien worden voor voertuigen tijdens het afwikkelen in een groen fase. Webster spreekt van 2,5 s als waarde, maar ook die waarde is eerder krap en bleek vroeger in de praktijk reeds ongeschikt. Daarom wordt de hiaattijdgrenswaarde van de hiaatlussen en afstands lussen standaard op 3,0 s ingesteld. Op kruispunttakken met een duidelijke helling omhoog – zoals na een afrit – wordt de hiaattijdgrenswaarde met één seconde verhoogd, omdat daar bij het optrekken grotere hiaten ontstaan.

Voor stopstreeplussen kan er wel gewerkt worden met een waarde van 2,0 s (of 2,5 s). Dit is ook noodzakelijk om een korte minimum-groentijd van 5 s te realiseren als er één auto staat te wachten. Uit een praktijkproef blijkt dat veruit de meeste hiaten aan de stopstreep onder de 2 s vallen (zie Figuur 84). Slechts 50 van de 377 ofwel 13% van de hiaten in een uur lagen tussen de 2 en 3 s.

Uiteraard kan voor bijzondere situaties (zoals stijgende hellingen) toch met een hogere waarde gewerkt worden.



Figuur 84 Hiaattijden gemotoriseerd verkeer aan de stopstreep van een rechtdoorgaande rijstrook (Proefproject Dendermonde, 2014)

b) Minimum-groenduur

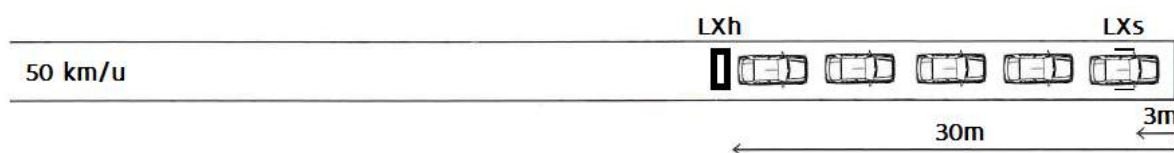
Van de 1e tot en met de 5e seconde van de groenfase is het licht (op voorwaarde van aanvraag) hoe dan ook groen. Korter dan 4 à 5 s groen kan door weggebruikers als een defect gezien worden.

c) Verlengduur onafhankelijk van openbaar vervoer

Als er conflicterend openbaar vervoer nadert, dan kunnen motorvoertuigen hun groentijd standaard tot maximaal 10 s verlengen zonder dat dit afgebroken kan worden door openbaar vervoer. Vanaf de elfde seconde kan het groen afgebroken worden door een conflicterende bus of tram. Zo wordt voorkomen dat een seingroep slechts vijf seconden groen krijgt terwijl er een lange wachtrij voor staat: dat zou de regeling ongeloofwaardig maken. Eventueel kunnen bepaalde OV-bewegingen, bruggen, hulpdiensten of spoorwegovergangen wel al vanaf de zesde seconde een groenfase afbreken.

d) Verlengduur op de stopstreep

Uit de gekozen hiaatlusafstanden (20, 30, 40 en 50 m) volgt ook tot hoeveel seconden er nog op de stopstreep plus verlengd moet worden om de wachtrij tussen stopstreep en hiaatlus af te wikkelen.



Figuur 85 De verlengduur op de stopstreep plus moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de stopstreep en de hiaatlus te laten afrijden

De berekening van deze verlengduur is gebaseerd op:

- een voorzichtige afrijcapaciteit van 1440 pae/u, dus 2,5 seconden per pae;
- een reactietijd van 1,5 s;
- een stilstaande-wachtrijlengte van minstens 6 m/pae;
- het mag oranjegeel worden 1 seconde voordat het laatste voertuig met zijn voorzijde over de stopstreep rijdt, dus gebruikmaking van de eerste seconde oranjegeel;
- steeds een afronding naar boven.

Met de volgende formule kan de verlengduur op de stopstreep plus worden berekend (Bron: IVER Signaalgroepafwikkeling en Detectieconfiguratie):

$$VD_{sl} = \left(\frac{x_{hl}}{6} * 2,5 \right) + 1,5 - 1$$

vereenvoudigd:

$$VD_{sl} = (x_{hl} * 0,42) + 0,5^1$$

Hierin is:

VD_{sl} : verlengduur stopstreep plus (s)

x_{hl} : afstand hiaatlus tot stopstreep (m)

¹ af te ronden naar boven vanaf ,4

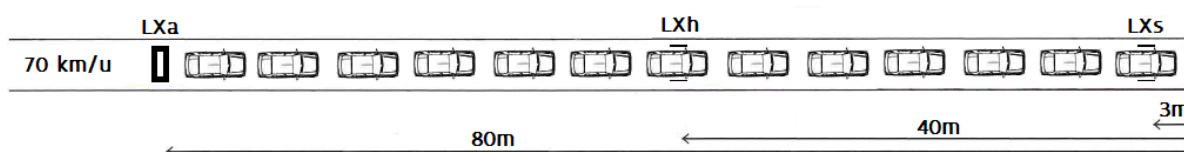
Rekening houdend met de standaardafstanden voor de hiaatlus, volgen hieruit de volgende verlengduren voor de stopstreepluS:

km/h	x_{hl}	VD_{sl} (s)	VD_{sl} (s) (afgerond)
30	20	8,9	9
50	30	13,1	13
70	40	17,3	17
90	50	21,5	22

Tabel 15 Verlengduren stopstreepluS

e) Verlengduur op de hiaatluS

Op rijstroken met een afstandsluS hoeft in het laatste deel van de verlenging ook niet meer op de hiaatluS verlengd te worden. Opnieuw volgt uit de gekozen afstanden hoeveel seconden er nog op de hiaatluS verlengd moet worden om de resterende wachtrij tussen stopstreep en afstandsluS af te wikkelen.



Figuur 86 De verlengduur op de hiaatluS moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de hiaatluS en de afstandsluS te laten afrijden

De berekening van deze verlengduur is opnieuw gebaseerd op:

- een voorzichtige afrijcapaciteit van 1440 pae/u, dus 2,5 seconden per pae;
- een reactietijd van 1,5 s;
- een stilstaande-wachtrijlengte van minstens 6 m/pae;
- het mag oranjegeel worden 1 seconde voordat het laatste voertuig met zijn voorzijde over de stopstreep rijdt, dus gebruikmaking van de eerste seconde oranjegeel;
- steeds een afronding naar boven.

Met de onderstaande formule kan de verlengduur op de stopstreepluS worden berekend (Bron: IVER Signaalgroepafwikkeling en Detectieconfiguratie):

$$VD_{hl} = VD_{sl} + \left(\frac{x_{al}}{6} * 2,5 \right) + 1,5 - 1$$

vereenvoudigd:

$$VD_{hl} = VD_{sl} + (x_{al} * 0,42) + 0,5$$

Hierin is:

VD_{hl} : verlengduur hiaatluS (s)

VD_{sl} : verlengduur stopstreepluS (s)

x_{al} : afstand hiaatluS tot stopstreep (m)

Rekening houdend met de standaardafstanden voor de afstandslus, volgen hieruit de volgende verlengduren voor de hiaatlus:

km/h	x_{hl}	VD_{sl} (s)	VD_{hl} (s)	VD_{hl} (s) (afgerond)
30	20	8,9	17,8	18
50	30	13,1	26,2	26
70	40	17,3	34,6	35
90	50	21,5	42,0	42

Tabel 16 Verlengduren voor de hiaatlus

f) Gebruik van de afstandslussen

In vele gevallen is de periode waarin op de hiaatlus verlengd moet worden (om de wachtrij tot aan de afstandslus te verwerken) langer of gelijk aan de maximale groentijd die aan deze richting gegeven wordt. In deze gevallen is het nut van de afstandslussen verwaarloosbaar.

Daarom is er in de standaardconfiguratie voor gekozen om de afstandslussen optioneel te maken.

Er worden bij nieuwe kruispunten dus standaard geen afstandslussen voorzien, tenzij er duidelijke indicaties zijn dat deze wel nuttig zijn (bv. groentijden die de verlengduur op de hiaatlus sterk overschrijden).

Eventueel kan het nut van deze lussen aangetoond worden met een microsimulatie.

5.1.1.6 Samenvattende tabel

Maximum-snelheid	Afstand LXs	Verlengduur LXs	Afstand LXh	Verlengduur LXh	Afstand LXa
30 km/h of afslagstrook	3 m	9 s	20 m	18 s	40 m (optioneel)
50 km/h	3 m	13 s	30 m	26 s	60 m (optioneel)
70 km/h	3 m	17 s	40 m	35 s	80 m (optioneel)
90 km/h	3 m	22 s	50 m	42 s	100 m (optioneel)

Tabel 17 Samenvattende tabel

5.1.2 Werkingsdiagrammen

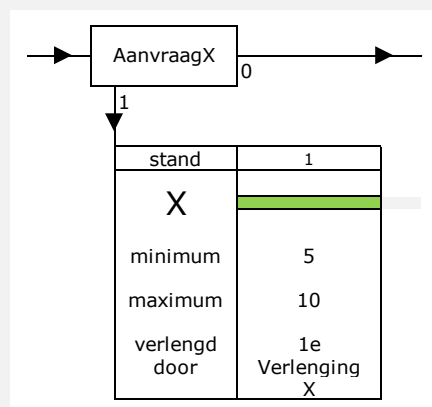
5.1.2.1 Aanvraag van groenfase door motorvoertuigen

In het werkingsdiagram van een voertuigafhankelijke verkeerslichtenregeling wordt op verschillende momenten de vraag gesteld of zich op één of meer rijstroken voertuigen bevinden die het nuttig maken om de betreffende groenfase te starten. Deze vraag wordt gesteld in de vorm van een logische bewering, samengesteld uit detectornamen en EN-, OF- en NIET-statements. Die bewering staat in een keuzebox. Wanneer de bewering op dat moment waar is ("1") wordt een andere route door het werkingsdiagram gevolgd dan wanneer de bewering op dat moment niet waar is ("0").

Vaak blijft de cyclus in een rusttoestand of in een wachtstand hangen tenzij/totdat er een aanvraag van een richting is die op dat moment nog rood heeft. En zo kort mogelijk voordat een nieuwe groenfase wordt gestart, wordt a.d.h.v. de geregistreerde aanvragen bepaald of deze dan wel een andere fase gestart moet worden. Hoe later de vraag wordt gesteld, hoe kleiner de kans dat een groenfase wordt overgeslagen terwijl er inmiddels wel behoefte aan was. Wanneer het nuttig is wordt zowel voor de overgangsfase als na de overgangsfase een vraag gesteld. Voor de overgang wordt de vraag gesteld of het nuttig/nodig is om een richting oranjegeel en rood te geven. Na de overgang wordt de vraag gesteld welke richtingen groen moeten krijgen. Dit is een concreet gevolg van de doelstelling 'Nooit voor niets voor rood'.

Voorbeeld werkingsdiagram

Het begin van het werkingsdiagram van seingroep X ziet er als volgt uit:



Bij elk werkingsdiagram hoort een definitie van de gebruikte variabelen zoals hieronder. 'Aanvraag met memorisatie' wordt in de volgende paragraaf toegelicht.

$AanvraagX = AanvraagLXa \text{ OF } AanvraagLXh \text{ OF } AanvraagLXs \text{ OF } DfX$

(Dus als minstens één van die drie aanvraagvariabelen actief is en/of als er openbaar vervoer nadert, dan is zeker dat X groen moet worden. De variabele 'AanvraagX' heeft dan de waarde 1. De actuele waarde bepaalt de verdere route door het werkingsdiagram.)

$AanvraagLXa = LXa$ (Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

$AanvraagLXh = LXh$ (Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

$AanvraagLXs = LXs$ (Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

(Dit betekent dat een aanvraagvariabele actief ('1') moet worden vanaf bezetting van de lus, maar weer inactief ('0') moet worden op het moment dat X rood wordt. Zo zorgen voertuigen die de stopstreep gepasseerd zijn niet meer voor een nieuwe aanvraag.)

DfX = fictieve detector die door inmelding van openbaar vervoer op selectieve lus S_iX actief wordt en die weer inactief wordt door uitmelding op S_uX of door het verstrijken van een time-out van 90 seconden.

$1eVerlengingX = LXs \Delta 2,0s$

(Deze variabele voor het eerste deel van de verlenging moet dus actief zijn indien de stopstreeplu in de afgelopen 2,0 seconden nog bezet is geweest. Conflicterend openbaar vervoer kan een groenfase dus niet afbreken in de eerste 10 s.)

a) Memorisatie van een aanvraag

In de context van aanvragen moet de verkeersregelaar onthouden ('memoriseren') of er een motorvoertuig in het detectiegebied is geweest sinds de vorige groenfase. Motorvoertuigen die nog in de vorige groen- of oranjegeelfase het kruispunt opgereden zijn moeten niet in rekening worden gebracht, maar motorvoertuigen die nog staan te wachten tot het groen wordt wel. Dus bij de beslissing of een seingroep groen moet worden gaat het niet over de vraag of een detector op dat moment wel of niet actief is, maar om de vraag of de detector (even) actief is geweest sinds de seingroep rood werd. Bij aanvragen wordt de memorisatie gereset bij begin rood van de bijbehorende seingroep. In het voorbeeld is dit als volgt vermeld: "AanvraagLXs = LXs(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)".

b) Zekerheid en volledigheid van een aanvraag

In principe worden alle aanwezige detectoren die verkeer op een bepaalde richting detecteren gebruikt om groen voor die richting aan te vragen:

- Zowel detectoren bij de stopstreep als op afstand (haatlussen en afstandslussen).
- Zowel detectoren die enkel verkeer op die richting detecteren ('zekere aanvraag') als detectoren die ook verkeer op andere richtingen detecteren ('onzekere aanvraag'). Zo kan die richting zo vroeg mogelijk groen krijgen en als er inderdaad een voertuig in die richting rijdt kan het zonder verliestijd doorrijden.

Enkel wanneer conflicterende richtingen op dat moment behoefte hebben aan groen, moet worden voorkomen dat er onnodig groen wordt gegeven door een valse aanvraag. Voor die momenten moeten er - op richtingen die zonder aanvraag rood kunnen blijven - detectoren zijn die samen elk motorvoertuig op de betreffende richting detecteren (volledigheid) en die geen enkel ander motorvoertuig detecteren (zekerheid).

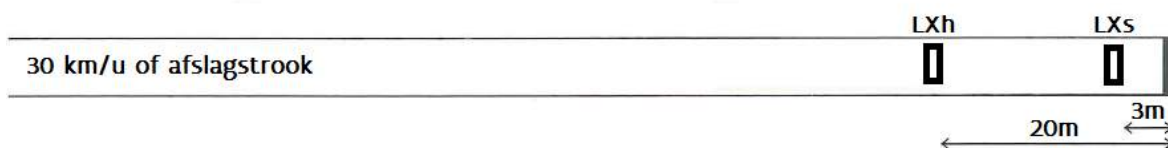
Voor het doel van zekere aanvragen zijn radars niet geschikt, omdat die soms valse aanvragen schijnen te genereren: vogels, bewegende deuren en takken in de wind kunnen niet altijd van naderend verkeer worden onderscheiden. Radars kunnen eventueel wel bijkomend een vroege, onzekere aanvraag genereren als er toch geen verkeer op conflicterende richting is.

Ook niet alle inductieve lussen zijn geschikt om voor zekere aanvragen te dienen. Het gaat dan om lussen die ook door verkeer in andere richtingen worden geactiveerd.

Lussen die weliswaar zekere aanvragen genereren maar die ver voor de stopstreep liggen worden vaak niet meer geactiveerd na start memorisatie, terwijl er wel een auto staat te wachten tussen de lus en de stopstreep. Hun activering zorgt dus wel voor een zekere aanvraag, maar er moet daarnaast ook een lus dicht bij de stopstreep liggen om zeker te zijn dat elk voertuig een aanvraag genereert.

5.1.2.2 Werkingsdiagram van seingroep X bij 30 km/h of afslagstrook

Voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie gebruikt (zonder afstandslussen):



Voorbeeld werkingsdiagram

stand	1	2	3	4
X	[Green bar]			
minimum	5	0	3	2
maximum	GroenX ≥ 9	GroenX ≥ MaxX	-	-
verlengd door	1e Verlenging X	2e Verlenging X	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

(In het verleden werd dit aangeduid door verwijzing naar een timer die herstart werd bij begin groen: "tot Tim01≥16".)

MaxX = De maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

AanvraagX = AanvraagLXh OF AanvraagLXs OF DfX

AanvraagLXh = LXh(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

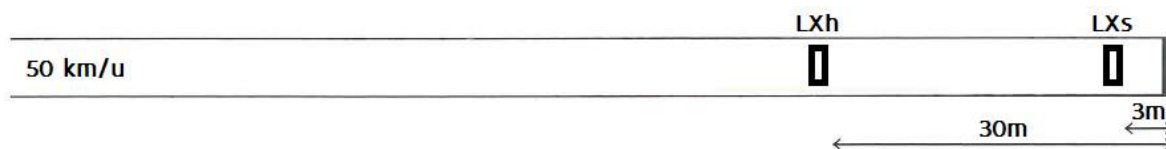
AanvraagLXs = LXs(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

1eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s]

2eVerlengingX = LXh[Δ 3,0s]

5.1.2.3 Werkingsdiagram van seingroep X bij 50 km/h

Voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie gebruikt (zonder afstandslussen):



De verschillen ten opzichte van het werkingsdiagram bij 30 km/h zijn vetgedrukt:

Voorbeeld werkingsdiagram

stand	1	2	3	4	5	6
X						
minimum	5	0	0	0	3	2
maximum	GroenX ≥ 10	GroenX ≥ 13	GroenX ≥ MaxX	-	-	-
verlengd door	1e Verlenging X	2e Verlenging X	3e Verlenging X	wachtstand tot AanvraagY OF NIET(3eVerlengingX)	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

MaxX = De maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

AanvraagX = AanvraagLXh OF AanvraagLXs OF DfX

AanvraagLXh = LXh(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

AanvraagLXs = LXs(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

1eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s]

2eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s] **EN NIET(DfY)**

3eVerlengingX = LXh[Δ 3,0s] **EN NIET(DfY)**

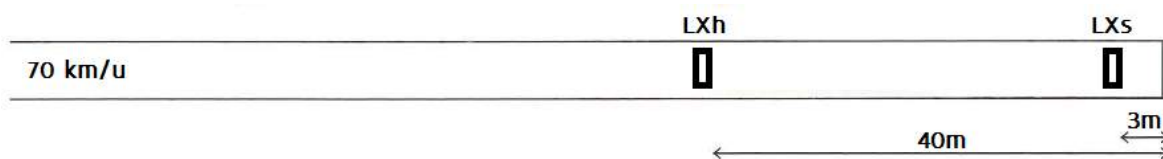
('NIET(DfY)', dus de afwezigheid van een conflicterende tram of bus, wordt ook vaak weergegeven als 'DfY' of 'nDfY'.

'OF' betekent altijd 'en/of' en wordt ook vaak met het symbool 'v' weergegeven. 'EN' wordt dan met het symbool '^' weergegeven.)

AanvraagY = een aanvraag voor één of meer conflicterende seingroepen.

5.1.2.4 Werkingsdiagram van seingroep X bij 70 km/h

Voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie gebruikt (zonder afstandslussen):



De verschillen ten opzichte van het werkingsdiagram bij 50 km/h zijn vetgedrukt:

Voorbeeld werkingsdiagram

stand	1	2	3	4	5	6	7
X							
minimum	5	0	0	0	0	4	2
maximum	GroenX ≥ 10	GroenX ≥ 17	GroenX ≥ MaxX	-	30	-	-
verlengd door	1e Verlenging X	2e Verlenging X	3e Verlenging X	wachtstand tot AanvraagY OF NIET(3eVerlengingX)	DfX	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

MaxX = De maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

AanvraagX = AanvraagLXh OF AanvraagLXs OF DfX

AanvraagLXh = LXh(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

AanvraagLXs = LXs(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

DfX = fictieve detector die door inmelding openbaar vervoer op selectieve lus SiX actief wordt en die weer inactief wordt door uitmelding op SuX of door het verstrijken van een time-out van 90 seconden.

1eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s]

2eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s] EN NIET(DfY)

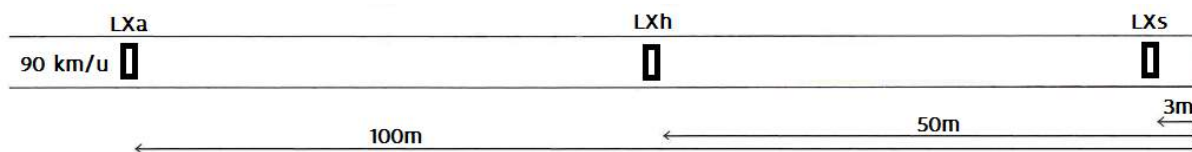
3eVerlengingX = LXh[Δ 3,0s] EN NIET(DfY)

Noot:

Een mogelijk risico van deze configuratie is dat de snelheid na de derde verlenging nog zodanig laag is dat het laatste voertuig van het peloton toch nog tot stilstand komt. Als zich dit af en toe voordoet is dit eigenlijk een goed teken: als men veruit de meeste groenfasen mooi op tijd afbreekt, dan zijn er door de variatie van snelheden altijd een paar groenfasen die iets te vroeg of iets te laat worden afgebroken. Waar dit zich echter zeer vaak blijkt voor te doen, dan kan dit opgelost worden door bij de vierde verlenging een hiaattijdgrenswaarde van 4 s i.p.v. 3 s in te stellen.

5.1.2.5 Werkingsdiagram van seingroep X bij 90 km/h

Voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie gebruikt met afstandslussen:



De verschillen ten opzichte van het werkingsdiagram bij 70 km/h zijn vetgedrukt:

Voorbeeld werkingsdiagram

stand	1	2	3	4	5	6	7	8
X								
minimum	5	0	0	0	0	0	5	2
maximum	GroenX ≥ 10	GroenX ≥ 22	GroenX ≥ 42	GroenX ≥ MaxX	-	30	-	-
verlengd door	1e Verlenging X	2e Verlenging X	3e Verlenging X	4e Verlenging X	wachtstand tot AanvraagY OF NIET(4e VerlengingX)	DfX	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

MaxX = De maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

AanvraagX = **AanvraagLXa** OF AanvraagLXh OF AanvraagLXs OF DfX

AanvraagLXa = LXa(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

AanvraagLXh = LXh(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

AanvraagLXs = LXs(Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood X)

DfX = fictieve detector die door inmelding openbaar vervoer op selectieve lus SiX actief wordt en die weer inactief wordt door uitmelding op SuX of door het verstrijken van een time-out van 90 seconden.

1eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s]

2eVerlengingX = LXs[Δ 2,0s] EN NIET(DfY)

3eVerlengingX = LXh[Δ 3,0s] EN NIET(DfY)

4eVerlengingX = LXa[Δ 3,0s] EN NIET(DfY)

AanvraagY = een aanvraag voor één of meer conflicterende seingroepen.

Noot:

Indien er onzekerheid bestaat over de hiaattijden van het verkeer tussen hiaatlus en afstandslus of stopstreeplu en hiaatlus (bv. bij vrachtverkeer dat grotere hiaten laat bij het vertrekproces), kan het in sommige situaties wenselijk zijn om op meerdere lussen te verlengen tijdens een bepaalde stand om een betrouwbaardere groenverlenging te bekomen.

5.1.3 Afwijken van de standaarddetectieconfiguratie

De hierboven beschreven configuratie is niet op elke rijstrook van elk Vlaams kruispunt toepasbaar. Veel afslagstroken zijn bijvoorbeeld te kort voor deze configuratie en hij is enkel bruikbaar op rijstroken met vrije afstroom. Om maatwerk te kunnen leveren moet de ontwerper begrijpen hoe de detectoren samenwerken om de groenfase aan te vragen en op een goed moment af te breken.

5.1.3.1 Korte rijstroken of bestaande lussen

Sommige voorsorteerstroken zijn te kort om bovenstaande lusafstanden op toe te kunnen passen. En zelfs als een afslagstrook bijvoorbeeld 25 m voor de stopstreep begint, dan is het meestal toch niet zinvol om een lus op 20 m voor de stopstreep te leggen: vaak is de afslagstrook daar nog te smal of rijden de meeste auto's er nog niet over het midden van de afslagstrook. Op de standaard-afstand kan zich ook bijvoorbeeld een brugdek bevinden, of verkeer voor meerdere seingroepen.

Daarom worden lussen soms beter op kleinere afstanden voor de stopstreep getekend. Dan dient de ontwerper zelf te berekenen hoe lang er op de lussen verlengd moet worden met de formules uit 5.1.1.5c):

$$\text{Verlengduur stopstreepluS: } VD_{sl} = (x_{hl} * 0,42) + 0,5$$

$$\text{Verlengduur hiaatluS: } VD_{hl} = VD_{sl} + (x_{al} * 0,42) + 0,5$$

(Beide formules worden vanaf ,4 afgerond naar boven)

Ook wanneer er al korte lussen liggen op een afstand die beperkt afwijkt van de standaarddetectieconfiguratie kan deze berekening worden toegepast.

5.1.3.2 Korte maximum-groentijden

Soms is de maximum-groentijd van een seingroep zelfs in de piekuren zodanig kort dat de standaard-verlengduur op de verste lus niet of nauwelijks wordt gehaald. Bijvoorbeeld bij een maximum-groentijd van 13 s in de ochtendspits en 16 s in de avondspits wordt beter al na zo'n 8 s (de helft van 16) niet meer op de stopstreepluS verlengd. Anders is de periode dat niet meer op de stopstreepluS verlengd hoeft te worden verwaarloosbaar kort. De lusafstanden worden in dergelijke gevallen berekend met de 'inverse' van dezelfde formules:

$$\text{Hiaatlusafstand: } x_{hl} = \frac{VD_{sl} - 0,5}{0,42}$$

$$\text{Hiaatlusafstand: } x_{al} = \frac{VD_{hl} - 0,5}{0,42}$$

(Beide formules worden vanaf ,4 afgerond naar boven)

In het voorbeeld met 8 s wordt de hiaatluS dus op een afstand van 18 m gelegd en wordt geen afstandsluS aangebracht.

5.1.3.3 Lus met verkeer voor meerdere seingroepen: (on)zekerheid

Vaak ligt een afstandslus voor het punt waar de bestuurders kunnen voorsorteren. Dan kan verkeer voor de linksaf-seingroep X1 bijvoorbeeld gebruik maken van de afstandslus LXa op de rijstrook waar ook rechtdoorgaand verkeer rijdt. Het is dan onzeker voor welke seingroep een detectie op zo'n lus een aanvraag vormt. Dat is echter geen reden om die detectie te negeren: als er geen verkeer is op een conflicterende richting Y, dan kan die onzekere aanvraag zowel X als X1 groen laten worden. In principe worden alle aanwezige detectoren die verkeer op een bepaalde richting detecteren gebruikt om groen voor die richting aan te vragen (zowel detectoren bij de stopstreep als op afstand). Zowel detectoren die enkel verkeer op die richting detecteren ('zekere aanvraag') als detectoren die ook verkeer op andere richtingen detecteren ('onzekere aanvraag'). Zo kan die richting zo vroeg mogelijk groen krijgen en als er inderdaad een voertuig in die richting rijdt kan het vrijwel zonder verliestijd doorrijden.

Enkel wanneer conflicterende richtingen op dat moment behoefte hebben aan groen, moet worden voorkomen dat die onnodig rood krijgen door een valse aanvraag.

5.1.3.4 Afwijkende lengte of breedte van stopstreeplussen en overspraak

Standaard heeft iedere lus een breedte van 2 m en een lengte van 1 m. Bij zeer brede rijstroken (zo'n 4 m of meer) kan een bredere lus getekend worden om te voorkomen dat motoren erlangs rijden zonder gedetecteerd te worden. We veronderstellen dat motorrijders (wanneer er geen ander verkeer is) niet uiterst links of rechts rijden.

De breedte moet echter soms juist gereduceerd worden om 'overspraak' te voorkomen. Met overspraak bedoelen we het fenomeen dat een groot voertuig zoals een vrachtwagen op de ene rijstrook soms een lus op de naastgelegen rijstrook activeert. Dit kan veroorzaakt worden door een te gevoelig ingestelde lus en/of een te kleine afstand tussen lus en rijstrookmarkering.

Als de rijstrook aan één zijde grenst aan een rijstrook met een andere verkeersstroom die niet gedetecteerd mag worden, dan wordt een afstand van 1 m tussen lus en rijstrookmarkering in acht genomen en aangeduid tussen de lus en de betreffende rijstrookzijde. Aan de andere zijde is er een afstand van 0,20 à 0,70 m, bijvoorbeeld zodanig dat de lusbreedte een veelvoud van 0,50 m is t.b.v. de eenvoud.

Soms komt het voor dat er aan weerszijden zulke rijstroken aanwezig zijn. Een apart geregelde linksafstrook bijvoorbeeld kan ingesloten liggen tussen een rechtdoorstrook en de strook voor tegemoetkomend verkeer. In dergelijke gevallen wordt de afstand van 0,75 m of 1 m aan beide zijden ongeveer gerespecteerd en wordt de lusbreedte gereduceerd, maar met een minimum lusbreedte van 1 m.

Een mogelijk nadeel van de beperkte luslengte van de standaard stopstreeplussen (1 m) is dat (landbouw)voertuigen met een hoog chassis een grotere kans hebben niet gedetecteerd te worden. Wanneer dat probleem op een bepaalde locatie veelvuldig blijkt voor te komen, dan kan overwogen worden om er een lus van 2 m lang te slijpen. Het is immers de kortste zijde van de rechthoek die bepaalt hoe hoog de metaalgevoelige zone reikt.

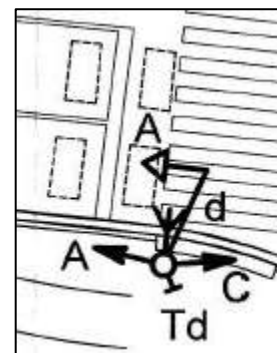
5.1.3.5 Meten van bezetting bij ontruimingspijlen

Bij het gebruik van ontruimingspijlen wordt bij voorkeur de bezetting van de rijstrook gemeten om te bepalen of de ontruimingspijl al dan niet moet opkomen.

De standaarddetectieconfiguratie voorziet echter enkel korte lussen van 1m, die niet geschikt zijn om bezetting te meten. Daarom kan in deze gevallen de stopstreeplussen gecombineerd worden met bv. een lange lus van bv. 5,0m x 2,0m, die op 5m van de stopstreep wordt geplaatst.

5.1.3.6 Stopstreeplussen en roodlichtcameralussen

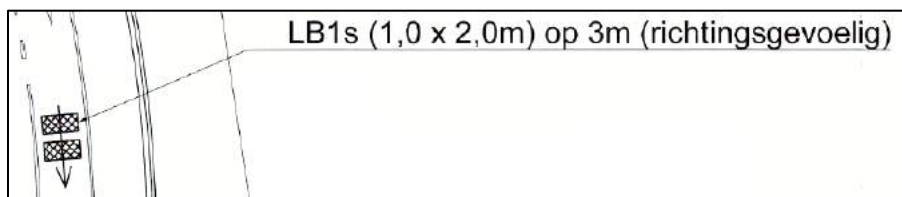
Inductieve lussen moeten een absolute minimum afstand van 1,00 m t.o.v. roodlichtcameralussen bewaren om interferentie te voorkomen. Wanneer toch een nieuwe stopstreep lus wordt aangebracht, dan wordt bij voorkeur een minimum afstand van 1,5 m t.o.v. de RLC-lussen aangehouden om in de toekomst wat speling te hebben. Ook wanneer er nog geen RLC-lussen aanwezig zijn wordt met het oog op toekomstige RLC-lussen een afstand van 3 m bewaard tussen stopstreep lus en stopstreep, al worden RLC-lussen tegenwoordig meestal net voorbij de stopstreep geplaatst. Als de afstand tussen lus en stopstreep veel groter dan 3 m wordt, wordt de kans groter dat een voertuig niet gedetecteerd wordt terwijl hij voor de stopstreep tot stilstand komt.



Standaard is de afstand tussen de stopstreep en de stopstreep lus dus 3 m, maar waar reeds roodlichtcameralussen (RLC-lussen) aanwezig zijn kan een iets grotere afstand tot de stopstreep nodig zijn. De opmeting van die RLC-lussen wordt zeker in die gevallen overgenomen op het V-plan. De minimale tussenafstand van 1,00 m à 1,5 m tussen stopstreep lus en RLC-lus wordt dan op het V-plan weergegeven met een pijltje en tekst.

5.1.3.7 Richtingsgevoelige lussen

Een richtingsgevoelige lus is soms nodig op smalle kruispunttakken om te voorkomen dat een voertuig dat het kruispunt verlaat onterecht een aanvraag doet op een (stopstreep)lus. In de praktijk liggen er dan eigenlijk twee lussen, waarvan de volgorde van bezetting wordt geregistreerd. Deze dienen ook als twee lussen getekend te worden met de vermelding 'richtingsgevoelige lus' en een lange pijl erdoor, gericht naar het kruisingsvlak. Toch wordt dat geheel als één lus beschouwd en krijgt het één naam.



Figuur 87 Voorbeeld van een richtingsgevoelige lus

In het verleden werd soms een andere oplossing voor dit probleem toegepast, namelijk het toekennen van een uitsteltijd aan een aanvraagdetector. Pas als de detector enkele seconden onafgebroken bezet was, werd dit als aanvraag geregistreerd. Deze oplossing heeft echter verkeerskundig als nadeel dat een voertuig later dan nodig een aanvraag doet (wat zijn verliestijd verhoogt) en zelfs juist een kans op groen kan missen waardoor hij een hele cyclus op groen moet wachten. Deze oplossing dient dus vermeden te worden.

5.1.3.8 Gehinderde afstroom

Tot hertoe werd verondersteld dat het verkeer op de betreffende rijstrook vrij kan afstromen wanneer het groen is. Maar er bestaan ook rijstroken waar de afstroom vaak gehinderd wordt. Bijvoorbeeld waar zich stroomafwaarts een tweede kruispunt of een flessenhals bevindt, of als een deelconflict voor vertraagd verkeer voor de stopstreep zorgt. De ontwerper van de lichtenregeling moet inschatten op welke rijstroken de afstroom vaak zodanig gehinderd wordt dat het verkeer voor de stopstreep tot stilstand komt tijdens groen. Die inschatting gebeurt op basis van waarnemingen of van grondplan en intensiteiten. Hij kan indien nodig gecontroleerd worden a.d.h.v. een simulatie.

In dergelijke gevallen van gehinderde afstroom moet er in de detectieconfiguratie en in het werkingsdiagram rekening mee worden gehouden dat het verkeer op een gegeven moment tijdens de groenfase weer tot stilstand komt en toch het groen moet blijven verlengen.

In het meest nadelige geval staat er op dat moment geen auto boven de stopstreepluss, maar wel één ervoor en één erna. De korte stopstreepluss volstaat dan niet om het groen te verlengen. In het verleden werden daarom lange stopstreeplussen gebruikt, maar die detecteren slecht motoren. Bovendien leveren ze geen betrouwbare telresultaten op omdat ze tegelijkertijd door twee voertuigen bezet kunnen worden.

Daarom kan bv. op deze stroken met gehinderde afstroom de hiaatluss veel dichter bij de stopstreep getekend worden dan bij vrije afstroom, zodat steeds ofwel de stopstreepluss, ofwel de hiaatluss bezet is en op deze manier het groen verlengd wordt. In de verlengvoorwaarden dient voorzien te worden dat op beide lussen tegelijk verlengd wordt.

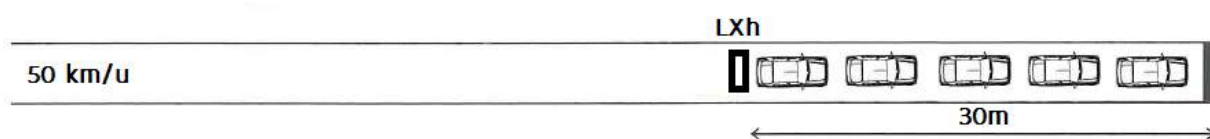
Voorlopig wordt er echter geen standaardoplossing voorzien om met deze situaties om te gaan. In de praktijk kan de ontwerper voor een specifieke situatie een aanpassing aan de standaarddetectieconfiguratie voorzien om met gehinderde afstroom om te gaan.

5.1.3.9 Rijstroken zonder stopstreeplussen: tijdelijke verkeerslichten

Op alle kruispunten worden standaard stopstreeplussen voorzien. Uitzonderingen op dat principe vormen tijdelijke verkeersregelininstallaties en sommige werfregelingen (en oude verkeerslichtenregelingen waarbij nog geen stopstreeplussen zijn voorzien).

Hierbij moet er gewaakt worden over de minimumgroentijd: deze moet voldoende lang zijn om de wachtrij tussen de stopstreep en het eerste detectieveld te verwerken.

Voor werfregelingen kan bv. volstaan worden met het aanbrengen van een radardetector en met een minimum-groentijd van 15 seconden, in plaats van het slijpen van lussen. Een voorwaarde is dat de betreffende richtingen elke cyclus zonder aanvraag groen moeten krijgen. En indien er sprake is van 'gehinderde afstroom' dan wordt op het V-plan vermeld dat de radardetector zodanig ingesteld moet worden dat hij gevoelig is voor lage snelheden.



Figuur 88 De vastgroentijd moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de stopstreep en het detectieveld te laten afrijden

5.1.3.10 Regelaars met ander takt dan 1,0-seconde-takt

Veruit de meeste verkeersregelaars van AWW kunnen elke 1,0 s opnieuw beslissen of er van kleur moet worden veranderd. Enkel op die momenten wordt gekeken hoe lang het geleden is dat een detector bezet was: de duur van het 'actueel lopende interval'. Als bijvoorbeeld is ingesteld dat het groen afgebroken wordt na een interval van 3,0 s, dan moet het interval in werkelijkheid ergens tussen de 3,0 en de 3,99 seconden hebben geduurd voordat er wordt afgebroken. Gemiddeld is dit dus 3,5 s.

Er werd afgesproken om geen afwijkende grenswaarde van de hiaattijd in te stellen bij nieuwe regelaars die elke 0,1 of 0,2 s van kleur kunnen doen veranderen.

5.2 Beïnvloeding door openbaar vervoer ('BOV')

In dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij de beïnvloeding van de lichtenregeling door openbaar vervoer. Het algemeen doel van de voorkeursbehandeling bij verkeerslichten voor openbaar vervoer is het verkorten van de rittijd voor de openbaar vervoerreizigers.

Verkeerslichten kunnen de snelheid en stiptheid van het openbaar vervoer positief beïnvloeden. Afgeleid doel van de voorkeursbehandeling is daarom het verhogen van de gemiddelde reissnelheid en het verbeteren van de stiptheid van trams en bussen. Een dergelijke verbetering kan een beperking van de exploitatiekosten van het vervoerbedrijf geven (minder voertuigen en chauffeurs nodig), maar kan ook de aantrekkelijkheid van het openbaar vervoer voor reizigers verhogen (een hogere frequentie voor hetzelfde aantal voertuigen).

Verkeerslichten voor het openbaar vervoer zijn niet de enige oorzaak van een langzame en/of niet-stipte rit. Ook verkeerscongesties, voorrangmaatregelen, spoorwegovergangen en halteringstijden spelen hierin een rol. Het oponthoud bij haltes wordt momenteel zoveel mogelijk beperkt door het stimuleren van het reizen met abonnementen, het vergroten van het aantal in- en uitstapdeuren en dergelijke. Deze maatregelen vallen echter buiten het kader van deze publicatie.

Hoewel een voorkeursbehandeling voor het openbaar vervoer het grootste effect heeft bij diensten met hoge frequentie, mag men ook het optimaliseren van laag frequente diensten niet uit het oog verliezen. In gebieden met laag frequente diensten is de stiptheid van de dienstverlening erg belangrijk voor de wachttijden van reizigers bij haltes en voor de kwaliteit van de overstapmogelijkheden.

Het verbeteren van de afwikkeling van het openbaar vervoer moet daarom nagegaan worden bij elke verkeerslichteninstallatie. De manier waarop deze afwikkeling kan geoptimaliseerd worden is afhankelijk van verschillende factoren: de verkeersdrukke (zowel op de weg waar de tram of de bus rijdt als de kruisende weg), het aantal rijstroken, de halteliggering en dergelijke.

Alles staat of valt met een zorgvuldige voorbereiding en een zorgvuldige uitvoering van de verkeerslichtenregeling. Hierbij moet uiteraard ook rekening worden gehouden met de belangen van de overige verkeersdeelnemers. Bij een onzorgvuldige voorbereiding kan het oponthoud voor zowel de openbaar vervoersreizigers als de andere verkeersdeelnemers toenemen.

Momenteel worden op verkeerslichtengeregelde kruispunten in Vlaanderen hoofdzakelijk twee regelprincipes toegepast met betrekking tot het beïnvloeden van verkeerslichten door het openbaar vervoer: conflicterende groentijd vervroegd afkappen en eigen groentijd extra verlengen. Slechts in uitzonderlijke gevallen worden deze principes niet toegepast.

Bij de opmaak van de lichtenregeling wordt er onderzocht wat de impact zal zijn op de andere weggebruikers. De (gecumuleerde) impact van deze technieken op andere weggebruikers kan namelijk groot zijn. Er wordt bekeken hoe vaak er zal worden verlengd en afgekapt (= functie van de OV-frequentie) en hoeveel de groentijdverdeling hierdoor van de betrokken richting wordt gewijzigd. Dit heeft namelijk een invloed op de verzadigingsgraad van het gemotoriseerd verkeer wat tot structurele file kan leiden. Indien de waarschijnlijkheid groot is dat de beïnvloeding van het OV op uurbasis leidt tot een verzadigingsgraad van >100%, op takken van het kruispunt die door file een onwenselijke verstoring veroorzaken verderop in het wegennetwerk, dan wordt de beïnvloeding geminderd om deze effecten te verminderen. Een eerste stap hierin is om de afkapping te verminderen aangezien deze de meeste negatieve effecten heeft.

Voorbeelden van onwenselijke verstoringen zijn:

- Blokkering van nabijgelegen (verkeerslichtengeregelde) kruispunten met een belangrijke doorstromingsfunctie
- Blokkering van nabijgelegen OV-infrastructuur (trambeddingen, busbanen etc.)
- Terugslag op op- en afrittencomplexen naar de snelweg

- Filevorming die aanleiding geeft tot een groot risico op kop-staart aanrijdingen (wegen met hoge toegestane snelheid)
- Overlopen van (te korte) linksafstroken die de algemene capaciteit van het kruispunt verlagen, etc.

Ook kan het zijn dat er op een lijn enkel belbussen zonder transponders rijden of dat De Lijn zegt dat verkeerslichtenbeïnvloeding niet nodig is.

5.2.1 Lijst van afkortingen

Vooraleer over te gaan naar de mogelijkheden om de verkeerslichtenregeling te laten beïnvloeden door het openbaar vervoer, worden hier enkele afkortingen verduidelijkt:

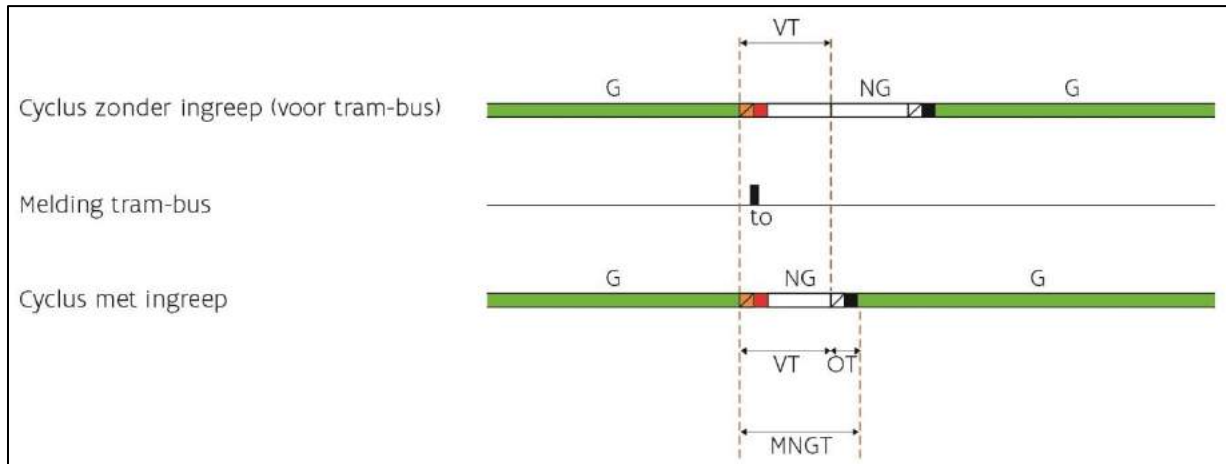
afkorting betekenis

DKT	Detector-kruispunt tijd: de gemiddelde tijd die een tram/bus nodig heeft om de afstand detector-kruispunt af te leggen. Deze tijd kan berekend worden aan de hand van de vermoedelijke gemiddelde snelheid.
MVTG	Maximale verlengingstijd van het groen van de tram – bus fase. Bij de vaststelling van deze tijd zorgt men ervoor dat de andere fase niet te lang onderbroken wordt. Om een optimaal gebruik van de groenfase van de tram–bus te garanderen, dient $MVTG \geq DKT$ te zijn.
G	Fase waarin het sein voor tram-bus groen is.
NG	Fase waarin het sein voor tram-bus niet groen is.
OGT	Overblijvende groentijd na detectie van de tram–bus.
NGT	Niet-groentijd voor de tram/bus. = tussengroentijd na tram/bus fase + variabele groen conflicterende fase + tussengroentijd na conflicterende fase.
MNGT	Minimum niet-groentijd voor de tram/bus als men aan de conflicterende fasen minimum groen geeft. = $VT + OT$ (Met andere woorden: de som van tussengroentijd na tram/bus fase, het minimumgroen van de conflicterende fase en de tussengroentijd na deze fase)
OT	Overgangstijd = oranje dwarsweg + integraal rood. Hier geldt: $3 \text{ s (oranje)} + 2 \text{ s (integraal rood)} = 5 \text{ s}$.
VT	Veiligheidstijd. Deze tijd is gelijk aan: tussengroentijd na tram/bus fase + minimum groen conflicterende fase. Hier geldt: $VT = 5 \text{ s} + 10 \text{ s} = 15 \text{ s}$ Hieruit volgt dat $MNGT = OT + VT$.
to	Ogenblik van melding van de tram/bus in de cyclus.

5.2.2 Aanvraag van vervroegde groenfase (“afkappen”)

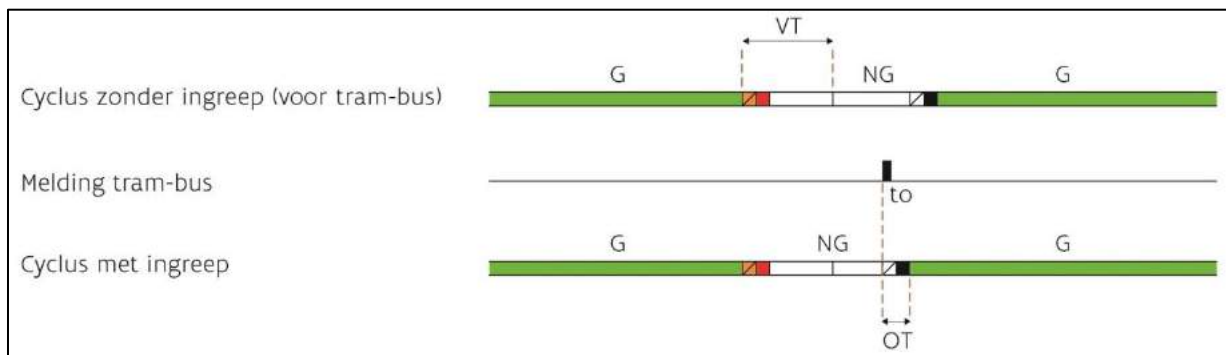
Wanneer het sein van de te volgen richting door het openbaar vervoer niet groen is op het moment dat de bus/tram gedetecteerd wordt, dient zo snel mogelijk overgegaan te worden naar de groenfase voor de bus/tram. Dit kan in een aantal mogelijke gevallen.

In het eerste geval wordt de tram/bus gedetecteerd in de veiligheidstijd. De overgang naar de dwarsrichting is dus al ingezet. In dat geval kan de conflicterende fase niet verlengen, om zo snel mogelijk weer naar de hoofdrichting over te gaan; zoals weergegeven in Figuur 89.



Figuur 89 Verkorting van een groenfase, eerste geval

In het tweede geval wordt de tram/bus gedetecteerd tussen de veiligheidstijd en de groentijd. De verlenging van de conflicterende fase wordt in dat geval afgekapt met vrijwaring van de tussengroentijd; zoals weergegeven in Figuur 90.



Figuur 90 Verkorting van een groenfase, tweede geval

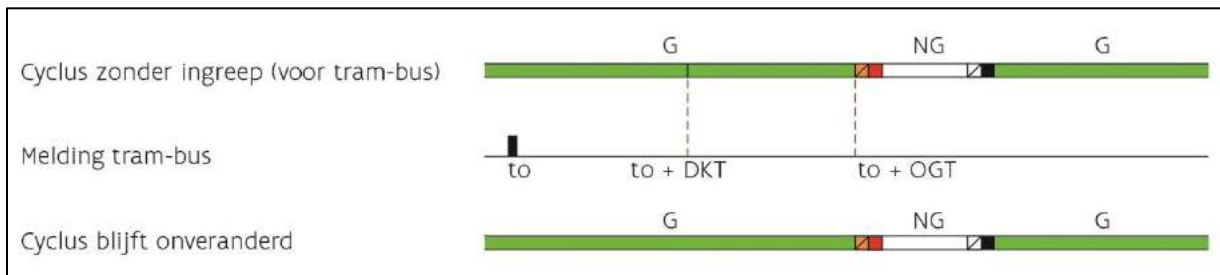
Een mogelijk derde geval doet zich voor wanneer de tram/bus wordt gedetecteerd tijdens de oranjegeeltijd en roodtijd van een conflicterende fase. Er moet in dat geval niet ingegrepen worden, het kan zelfs niet, omdat de cyclus per definitie zo snel mogelijk overgaat naar de hoofdrichting.

5.2.3 Extra verlenging van groenfase (“verlengen”)

Indien een bus/tram gedetecteerd wordt in de eigen groenfase, dient eventueel een extra verlenging van deze groenfase te worden voorzien.

- Eerste geval

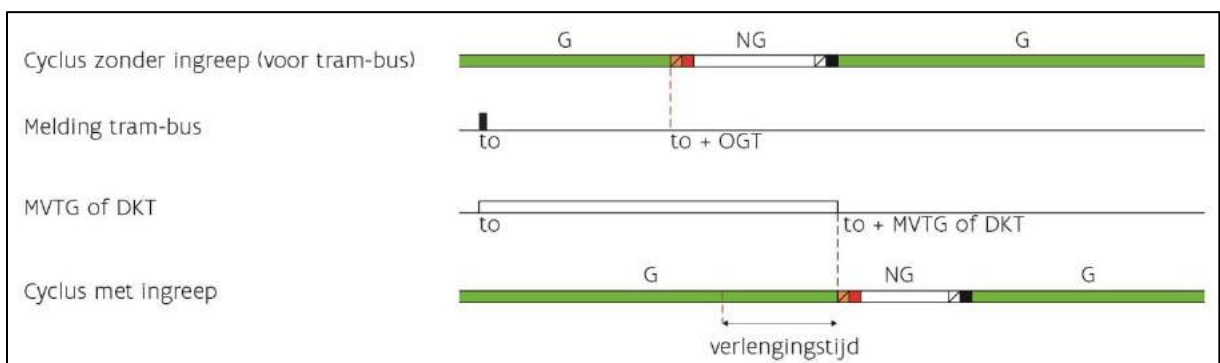
Het licht is groen op het ogenblik van detectie van de tram/bus en er blijft genoeg groen over om de tram door te laten: $OGT \geq DKT$. Dan wordt er niet ingegrepen in de cyclus; zoals weergegeven in Figuur 91.



Figuur 91 Verlenging groenfase, eerste geval

- Tweede geval

Het licht is groen op het ogenblik van detectie, maar er blijft niet genoeg groen meer over om de tram/bus door te laten: $G1T - t_o < DKT$ en $t_o > X$. In dit geval wordt de groenfase verlengd met DKT tot eventueel MVTG; zoals weergegeven in Figuur 92.



Figuur 92 Verlenging groenfase, tweede geval

Als het OV zich aanmeldt in de eigen groenfase moet het extra verlenggroen lang genoeg zijn om het kruispunt te passeren onder groen licht.

De maximumduur van de extra verlengstand in de cyclus is beter te lang dan te kort. Hij wordt berekend op basis van de *minimale* voertuigsnelheid en de inmeldafstand, zodanig dat de bus/tram gedurende de eerste seconde van de oranjegeel-tijd de stopstreep/het tramsein kan passeren. Als minimumsnelheid van bussen hanteren we standaard zo'n 75% van de maximum toegelaten snelheid. Voor trams hanteren we de volgende minimum- en maximum-snelheden:

Omgeving	Gemiddelde snelheid (km/h) [bron: De Lijn West-Vlaanderen 2016]	minimum snelheid (km/h)	maximum snelheid (km/h)
Buitengebied in eigen bedding	≥ 60	50	90
Woongebied in eigen bedding	40	30	50
Stedelijk gebied in gemengd verkeer	25 à 30	15	50

Tabel 18 Gehanteerde minimale, maximale en gemiddelde snelheden voor trams

Het verlenggroen MVTG, in geval er gewerkt wordt met selectieve lussen, kan eveneens berekend worden op basis van volgende formule:

$$\text{MVTG} = \frac{d(m) \times 3,6}{V_{\min}} + \text{eventueel reserve (s)}$$

Hierin is:

$d(m)$: afstand tussen de inmeldlus en de stopstreep (m)

$V_{\min} = k \times V_{\max}$ (km/h)

$k \leq 1$ ¹

Reserve (s) : reserve om wachtende voertuigen te evacueren

¹ Indien gekozen wordt voor 75% van de maximum toegelaten snelheid, dient de waarde voor k 0,75 te zijn.

Bij voorkeur ligt de halte uiteraard niet tussen de inmeldlus en de stopstreep. Indien dit toch het geval is om bepaalde redenen, kan er rekening gehouden worden met een halteringstijd. De inmelding kan dan uitgesteld worden met de minimale of gemiddelde halteringstijd. Er wordt dan gerekend met een minimale of gemiddelde halteringstijd die in principe moet worden opgegeven door De Lijn.

Als de frequentie van de doortocht van tram/bus groter wordt zodanig dat er zich twee of meer voertuigen vlak na elkaar op het kruispunt aanbieden, kan men een grotere MVTG voorzien (en veel groter dan DKT) m.b.v. een reservertijd. Zo zullen trams/bussen die zich bv. met een interval van 10 s aanmelden, het licht op groen blijven hebben tot het tweede voertuig gepasseerd is.

5.2.4 Detectieconfiguraties

Op de Vlaamse gewestwegen zijn er momenteel vier detectortypes in gebruik om bussen en trams te detecteren, zodat die hun groen kunnen aanvragen en verlengen:

- Inductieve lus
- Selectieve lus ('Buslus' / 'Tramlus')
- Virtuele detector ('Virtuele lus') met korte-afstandsradio ('KAR')
- Drukknop

5.2.4.1 Inductieve lus

Een inductieve lus is een koperdraad in het wegdek of tussen de spoorstaven. Hij detecteert ijzerhoudend metaal dat zich boven de lus bevindt. Dit detectortype kan dus geen onderscheid maken tussen bussen/trams en andere motorvoertuigen. Daarom wordt dit type slechts uitzonderlijk toegepast voor het detecteren van openbaar vervoer. Dit gebeurt enkel op beddingen waar gewone motorvoertuigen niet mogen rijden.

Bovendien ontvangt deze lus geen identificatiegegevens van het voertuig. Dus als er verschillende bussen/trams tegelijkertijd een verkeerslicht naderen, dan is het niet mogelijk om met zekerheid te bepalen op welk moment het laatste van die voertuigen het licht is gepasseerd. Ook kan geen onderscheid gemaakt worden tussen rechtdoorgaande en afslaande voertuigen. Inductieve lussen zijn wel goedkoper in aanleg en onderhoud dan selectieve lussen, die hierna worden besproken.

Als de afstand tussen een halte op een eigen bedding en het verkeerslicht kleiner dan 20 m is, en het maakt voor de lichtenregeling niet uit in welke richting de bus/tram zal rijden, dan kan voor het verkeerslicht een inductieve lus worden aangebracht. Wanneer deze lus bezet wordt, dan moet het verkeerslicht zo snel mogelijk groen worden.

5.2.4.2 Selectieve lus ('Buslus' / 'Tramlus')

In Vlaanderen worden vooral selectieve lussen gebruikt om voertuigen voor openbaar vervoer (OV) te detecteren. Concreet wordt er op voldoende afstand van de stopstreep een selectieve inmeldlus gebruikt om te detecteren dat een voertuig met een speciale antenne/transponder in aantocht is. Een bus of tram verzendt met deze transponder een 'telegram' naar deze lussen. Dat telegram bevat gegevens over het voertuig, zoals op welke buslijn of tramlijn het momenteel rijdt.

Die gegevens komen via een lange kabel aan in de verkeersregelaar. In de kast van de verkeersregelaar worden de gegevens van in- en uitmeldingen omgezet in een waarde die aan een 'fictieve detector' wordt toegekend. Als er zich een voertuig heeft ingemeld op selectieve inmeldlus A ('SiA') maar zich nog niet heeft uitgemeld op selectieve uitmeldlus A ('SuA') dan wordt de bijbehorende fictieve detector 'DfA' actief.

Een variabele in het programma van de regelaar, 'DfA' genoemd, krijgt op dat moment de waarde '1'. Op die manier kan dan de groenfase op die richting voldoende lang verlengd worden en kan de groenfase van conflicterende richtingen worden afgebroken. Wanneer het voertuig in kwestie de stopstreep of het verkeerslicht voorbij is, rijdt het voertuig over een selectieve uitmeldlus. Zodra het voertuig zich wel heeft uitgemeld, wordt DfA weer inactief en krijgt deze weer de waarde '0' en wordt een einde gemaakt aan de extra verlenging.

De transponder onder het voertuig verzendt bovendien het huidige vier- of vijfcijferige lijnnummer naar de selectieve lus. Zo kan de regelaar via de apparatuur weten of het een links afslaand (bijvoorbeeld DfX1), rechtdoorgaand (DfX2) of rechts afslaand (DfX3) voertuig is en kan de juiste fictieve detector geactiveerd worden.

Wanneer verschillende lijnen op eenzelfde inmeldlus verschillende signaalgroepen groen moeten maken (bijvoorbeeld zowel rechtdoorgaande bussen als links afslaande bussen met een apart verkeerslicht) of wanneer een deel van de buslijnen er geen prioriteit moeten krijgen (bijvoorbeeld bypass of lege bussen

van/naar stelplaats), dan wordt op het V-plan een tabel geplaatst met de betreffende inmeldlussen, lijnnummers, uitmeldlussen en fictieve detectoren.

Inmeldlus	Lijnnummer	Uitmeldlus	Fictieve detector
SiA	5021	SuA1	DfA
SiC	5022 / 5028	SuC3	DfC
SiD	5021	SuD3	DfD
SiD	5022 / 5028	SuD1	DfD

Tabel 19 Voorbeeld van een tabel met lijnnummers

Doordat ook het voertuignummer wordt verzonden, kan het ene voertuig het andere niet uitmelden. De ligging van de lussen is uitermate belangrijk voor de werking van de beïnvloeding.

De afstand tussen de inmeldlus en de stopstreep wordt berekend op basis van de *maximale* voertuigsnelheid en de maximale duur van de roodfase vanaf het moment van inmelding.

De theoretische minimumafstand d_{\min} (m) tussen inmeldlus en stopstreep wordt bepaald door :

$$d_{\min} = \frac{T_{r\min} \times V_{\max}}{3,6}$$

Hierin is:

d_{\min} : minimale afstand tussen de inmeldlus en de stopstreep (m)

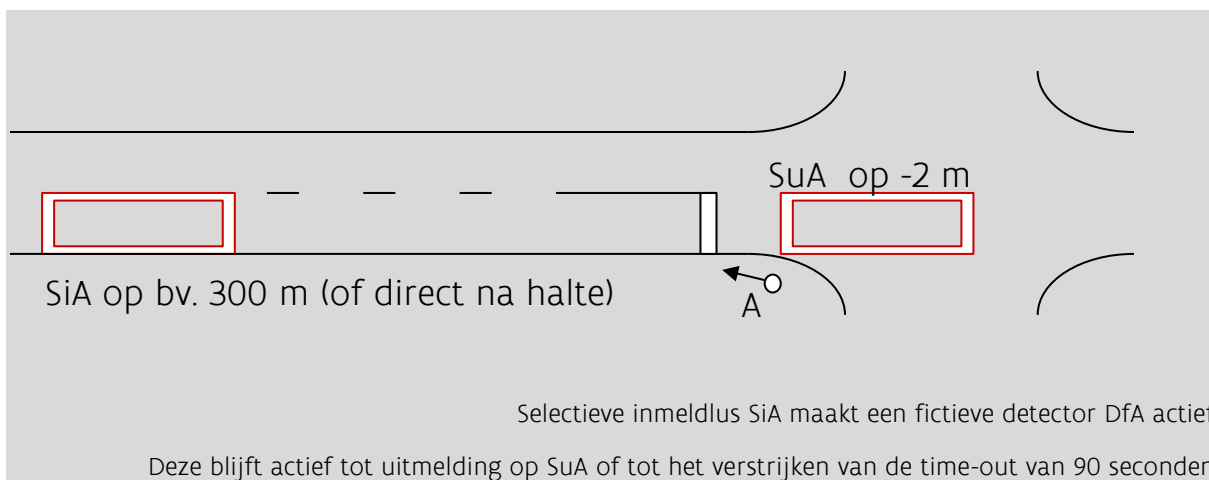
$T_{r\min}$: minimale roodtijd voor tram/bus op de beïnvloeden richting (s)

V_{\max} : toegelaten snelheid op de te beïnvloeden richting (km/h)

In deze formule wordt verondersteld dat de tram/bus de geldende maximale toegelaten snelheden respecteert, ook als hij in eigen bedding rijdt.

In de praktijk wordt echter een maximum van 350 à 400 m gehanteerd omdat bij langere kabellengtes het signaal te zwak kan worden. Bovendien ligt de inmeldlus bij voorkeur niet voor een bus/tramhalte, zebra-pad of kruispunt waar het voertuig vertraging kan oplopen: altijd er voorbij.

De lengte van in- en uitmeldlussen in meters bedraagt 1/10 van de maximum snelheid in km/h, bijvoorbeeld 7 m bij 70 km/h. Als enkel afslaande bussen gedetecteerd hoeven te worden, dan is de uitmeldlus 5 m lang. De lengte in meters wordt op het V-plan in de lus vermeld en de lus wordt op schaal getekend. Eigenlijk bestaat een selectieve lus uit twee lussen: een binnenste en een buitenste lus. Dit is de reden voor de weergave op het V-plan: een selectieve lus is een rechthoek met een dubbele lijn als omtrek.



Figuur 93 Voorbeeldweergave op het V-plan

Tramlussen zijn 30 à 50 cm breed en worden in het midden tussen de sporen gelegd. In bochten wordt de lus gedecentreerd volgens het mogelijk uitzwaaien van de antenne.

Vermits bij bussen de antenne rechts vooraan staat is het belangrijk de buslus op het V-plan en in werkelijkheid steeds rechts aan de kant van de rijbaan te laten aansluiten; niet meer dan 5 à 10 cm van de rand. Dit geldt nadrukkelijk ook voor uitmeldlussen waar bussen rechtsaf slaan: de lus moet dan de bocht volgen en hoeft geen rechthoekige vorm te hebben. Als het mogelijk is dat een bus soms een rijstrook opschuift om een trager voertuig in te halen, dan moet de lus bijvoorbeeld 6 m breed worden getekend. Vooral bij uitmeldlussen is het essentieel dat ieder voertuig wordt uitgemeld, dus dat de antenne zich over een afstand van 5/7/9 m boven de selectieve lus bevindt.

Wanneer op verschillende takken van het kruispunt selectieve detectie voorzien wordt kan er getracht worden om het aantal benodigde lussen tot een minimum te beperken door de uitmeldlussen voor verschillende richtingen te combineren. Dit gaat meestal wel ten koste van enkele seconden verliestijd.

Er zijn nog andere argumenten die een rol kunnen spelen bij het bepalen van de locatie van de uitmeldlus. Als een lus daar ligt waar veel bussen of vrachtwagens een bocht maken en horizontale kracht uitoefenen op het wegdek, dan is deze lus gevoeliger aan slijtage en is de kans op uitval dus groter. Als er roodlichtcameralussen aanwezig zijn of te verwachten zijn, dan moet de uitmeldlus er minstens 5,00 meter voorbij liggen. Bovendien begint de buitenste lus 30 cm eerder dan de dubbele lijn die op het V-plan wordt getekend. Daarom wordt op het V-plan een minimum-afstand van 5,5 m gerespecteerd tussen selectieve lussen en roodlichtcameralussen. Deze afstand wordt aangeduid met een dubbele pijl en een afstandsvermelding. Waar er voor zover bekend geen roodlichtcameralussen zijn maar misschien wel kunnen komen, wordt de uitmeldlus minstens 7 m voorbij de stopstreep getekend.

5.2.4.3 Virtuele detector ('Virtuele lus')

Naast de huidige technologie van fysieke selectieve lussen, bestaat er ook technologie om deze fysieke lus te vervangen door een 'virtuele lus'.

Een virtuele lus kan daarom gedefinieerd worden als "een ingestelde gps-locatie die het traject begrenst waarbinnen bussen of trams de verkeerslichten moeten beïnvloeden (als virtueel, draadloos alternatief voor selectieve lus)".

Virtuele lussen worden in Vlaanderen reeds gebruikt in de vorm van KAR. Voertuigen voor openbaar vervoer kunnen zo prioriteit krijgen zonder dat er fysieke lussen nodig zijn. Daardoor ondervindt het verkeer geen hinder van het aanbrengen of herstellen van zo'n detector. Virtuele inmelddetectoren kunnen op zeer grote afstand en op verschillende opeenvolgende afstanden worden aangebracht, zonder dure kabelwerken. Ook hulpdiensten zouden in principe met KAR uitgerust kunnen worden.

Een voertuig dat van het systeem gebruik wil maken heeft een boordcomputer nodig, een gps-ontvanger en een modem met de nodige software. Wanneer het voertuig bepaalde voorgeprogrammeerde punten bereikt, gedetecteerd dankzij de gps-module, zal het via KAR regelmatig een signaal met o.a. zijn locatie uitsturen naar de radio-ontvanger op de verkeersregelaar, die dan weet waar het voertuig zich bevindt. In principe kan dan zelfs voortdurend worden ingeschat over hoeveel seconden het voertuig het kruispunt zal bereiken. Deze geschatte tijd tot het kruispunt laat toe om een nauwkeuriger inschatting te maken wanneer de bus/tram daadwerkelijk groen moet krijgen. Met KAR kunnen er ook prioriteiten gemaakt worden tussen individuele bussen/trams onderling die elkaar kruisen.

Uit praktijkproeven blijkt echter dat de lokalisering met behulp van GPS niet altijd feilloos en vrij onnauwkeurig verloopt. Omdat de doorgegeven gps-locatie meer dan 10 m kan afwijken van de werkelijkheid, worden uitmelddetectoren 20 m voorbij de stopstreep of het tramsein gesitueerd en inmelddetectoren bijvoorbeeld 20 m voorbij haltes.

5.2.4.4 Drukknop

Indien een bus/tram zonder detectie niet elke cyclus vanzelf groen krijgt, dan wordt een detectielus of tramdrukknop (als redundantie bij defecten) bij de stopstreep, aan het tramsein of bij de halte aangebracht. Een tramdrukknop kan door de trambestuurder worden ingedrukt als hij veel langer dan normaal voor een 'rood' licht heeft moeten wachten, of vlak voordat hij vertrekt aan een halte die vlak voor een lichtengeregeld kruispunt ligt.

5.2.5 Werkingsdiagram

De beïnvloeding door het openbaar vervoer dient uiteraard weergegeven te worden in het werkingsdiagram. Een voorbeeld van een werkingsdiagram met beïnvloeding door openbaar vervoer is te zien in onderstaande Figuur 94.

stand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A													
B													
minimum	5	0	0	0	0	3	2	5	0	0	0	3	2
maximum	GroenA ≥ 10	GroenA ≥ 15	GroenA ≥ 30	-	25	-	-	GroenB ≥ 10	GroenB ≥ 15	GroenB ≥ 30	25	-	-
verlengd door [Δ]	1e Verlenging A	2e Verlenging A	3e Verlenging A	wachtstand tot DfW*	DfA [0,1]	-	-	1e Verlenging B	2e Verlenging B	3e Verlenging B	DfB [0,1]	-	-

DfW* = AanvraagB
 1eVerlengingA = LAs[2,5] 1eVerlengingB = LBs[2,5]
 2eVerlengingA = LAs[2,5] EN NIET(DfB) 2eVerlengingB = LBs[2,5] EN NIET(DfA)
 3eVerlengingA = LAh[3,0] EN NIET(DfB) 3eVerlengingB = LBh[3,0] EN NIET(DfA)

Figuur 94 Voorbeeld werkingsdiagram

Bij de aanvraag van de vervroegde groenfase door het openbaar vervoer wordt de verlenging van de conflicterende richting afgekapt. Deze afkapping gebeurt pas vanaf de elfde seconde groen voor die conflicterende richtingen. Concreet wordt er vanaf dan geen verlenging gegeven indien de fictieve detector(en) van bus/tram actief zijn. Er is gekozen om het groen niet af te kappen voor de elfde seconde, om de geloofwaardigheid van de regelingen niet in gedrang te brengen, en om de weggebruikers niet de indruk te geven dat het verkeerslicht defect is.

Daarnaast kan een bus/tram zijn eigen groenfase verlengen. Deze verlengstand wordt best ingebouwd net voor het oranjegeel worden van de betreffende richting. Dit verlenggroen wordt niet afgebroken door aankomend openbaar vervoer uit de dwarsrichting.

In het werkingsdiagram dient ook vermeld te worden wat de maximale activiteitsduur is van de fictieve detector die reageert op een bus/tram. Deze bij voorkeur ongeveer gelijk te stellen aan de maximale cyclusduur verminderd met de afkappingen van de dwarsrichtingen. Dit om te vermijden dat bij niet uitmelden het OV volledig de volgende cyclus zou beïnvloeden. Indien de tram/bus na 1 cyclus de stopstreep nog niet heeft voorbijgereden, is er duidelijk iets mis met de normale verkeersafwikkeling op het kruispunt. Dit kan gaan om filevorming, ongevallen, pech,... Het is duidelijk dat een langere file niet weg te werken is met een gewone busbeïnvloeding, maar dat andere maatregelen zich opdringen (bv. infrastructurele maatregelen bij hoge verkeersintensiteiten op het kruispunt).

Voor trams en BOB's is er een bijzonderheid in het werkingsdiagram: In deze gevallen gebruiken we openbaar-vervoerseinen met een vooraankondiging van 2 seconden voordat het sein 'groen' wordt: de middelste witte lamp ('oranjegeel') brandt in die 2 seconden terwijl de bovenste lamp ('rood') nog brandt. Dit geeft de bestuurder van de tram of bus het signaal dat het OV-sein weldra groen wordt en kan deze hierop anticiperen (door bv. reeds te beginnen met vertrekken).

Op basis van het prioriteitsniveau van de bussen kan er daarnaast bv. de keuze gemaakt worden om bussen met een hogere prioriteit het groen van andere bussen te laten afkappen.

5.2.6 Bijkomende optimalisaties

Naast de twee hierboven beschreven regelprincipes (“afkappen” en “verlengen”) kunnen er mogelijk nog optimalisaties worden toegevoegd om de verkeerslichtenbeïnvloeding te verbeteren. Niet alle optimalisaties zijn samen op dezelfde kruispunten toepasbaar, bijvoorbeeld fasen omwisselen zal een verkeerslichtenregeling in sommige vallen extreem complex maken.

Enkele optimalisaties worden enkel toegepast met behulp van virtuele detectoren. Deze optimalisaties zijn aangeduid met de volgende bemerking in de titel “(enkel met virtuele lussen)”.

5.2.6.1 Fasen omwisselen of tussenvoegen

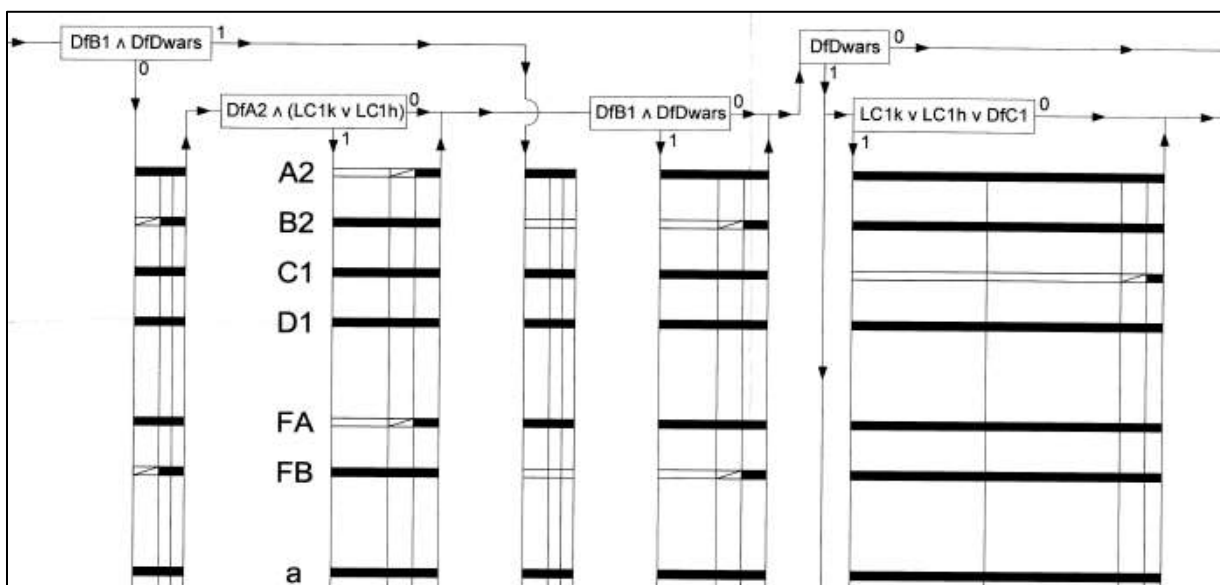
Bij verkeerslichtenregelingen met meer dan twee fasen, die in Vlaanderen in opmars zijn, is het meestal nodig om bij inmelding fasen om te wisselen of tussen te voegen. Dit gebeurt nog lang niet altijd. Bij het tussenvoegen van een fase kan ervoor gekozen worden om bijvoorbeeld de voetgangers die normaal mee realiseren geen groen te geven, om deze fase kort te houden en de groentijdverdeling minimaal te verstoren.

Voordeel: Na inmelding wordt geen nieuwe conflicterende fase meer gestart, dus kan de bus of tram veel vroeger groen krijgen.

Weergave op het V-plan:

Algemene structuur van een V-plan met fasenomwisseling; zie hoofdstuk 4.2.2.1.

Praktijkvoorbeeld:



Figuur 95 Fragment van een V-plan waar, in geval van DfA2, een fase wordt tussengevoegd waarin A2 kort groen is voor een passerende bus.

Nadelen: Andere weggebruikers kunnen het verwarrend vinden dat door de bus of tram van de normale fasenvolgorde wordt afgeweken, terwijl ze dachten als volgende aan de beurt te zullen zijn. Rood licht negeren kan misschien een gevolg zijn. Ook is het meer werk voor de ontwerpers van de verkeerslichtenregelingen. De kans op fouten wordt ook groter door de complexiteit.

Het tussenvoegen van een korte fase verhoogt de algemene verliestijd voor de verkeersdeelnemers doordat overgangsfasen elkaar vaker opvolgen. Hierdoor wordt er capaciteit weggenomen van het kruispunt.

Beperking: Door wettelijke beperkingen, door het voorkomen van nastarten en door coördinaties zijn niet alle denkbare fasenvolgorde mogelijk. Een groene bijkomende pijl moet bijvoorbeeld altijd worden gevolgd door groen voor al het verkeer op dezelfde kruispunttak.

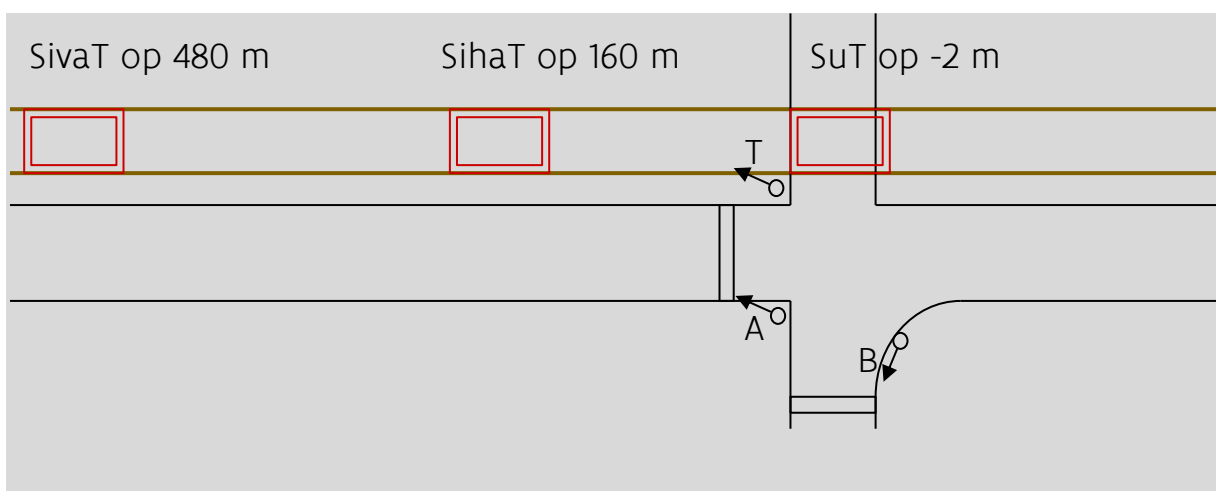
Richtlijn: Toepassen bij nieuwe lichtenregelingen wanneer dit zinvol is (bijvoorbeeld enkel bij meer dan twee fasen) en wanneer bovendien de structuur van de lichtenregeling deze optimalisatie toelaat (bijvoorbeeld meestal niet bij coördinaties met een vaste cyclustijd).

5.2.6.2 Tweede inmeldlus op vrije bedding (enkel met virtuele lussen)

Bij vrije beddingen zou een tweede fysieke selectieve inmeldlus een nuttige toevoeging kunnen zijn.

Voordeel: Het afbreken van conflicterende richtingen gebeurt niet vroeger dan nodig, dus er is minder verstoring van de doorstroming van het overige verkeer. Men staat nooit voor niets voor rood. De bus of tram krijgt groen (of zijn groen wordt aangekondigd) vlak voor het moment dat de chauffeur zou beginnen met afremmen.

Weergave op het V-plan:



- Selectieve inmeldlus voor vooraanmelding SivaT maakt een fictieve detector DfvaT actief.
- Selectieve inmeldlus voor hoofdaanmelding SihaT maakt een fictieve detector DfhaT actief.
- Beide blijven actief tot uitmelding op SuT of tot het verstrijken van de time-out van 90 seconden.

Verondersteld dat trams T naderen met ongeveer 72 km/h en voor rood zouden remmen met een remvertraging van 2 m/s², dan zouden ze op $20^2/(2*2) = 100$ m afstand beginnen te remmen als het rood zou blijven. Bij die positie moet de vooraankondiging dus uiterlijk starten. In de drie seconden oranjegeel die daaraan voorafgaan leggen ze 60 m af. Vandaar dat de selectieve inmeldlus voor hoofdaanmelding 'SihaT' op een afstand van 160 m voor het tramsein moet liggen.

De selectieve inmeldlus voor vooraanmelding 'SivaT' moet zodanig ver liggen dat, nadat de wachtstand verlaten wordt, extra verlengd wordt op DfvaT zodat de tram niet tot stilstand hoeft te komen. Bovenop de eerdergenoemde drie seconden oranjegeel moet 6+10 = 16 seconden (tussengroentijd + minimumgroentijd van een andere fase) overbrugd worden. Bij 72 km/h komt dat overeen met een afstand van 320 meter tussen SivaT en SihaT.

stand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A											
B											
T											
minimum	2	5	0	0	0	3	3	5	0	3	1
maximum	-	GroenA ≥ 15	GroenA ≥ 30	-	40	-	-	GroenB ≥ 15	GroenB ≥ 30	-	-
verlengd door [Δ]	-	1e Verlenging A	2e Verlenging A	wachtstand tot AanvraagB	Verlenging T	-	-	1e Verlenging B	2e Verlenging B	-	-

VerlengingT = DfvaT[0,1]
2eVerlengingB = LBh[3,0] EN NIET(DfhaT)

Figuur 96 Voorbeeld van een werkingsdiagram met vooraanmelding en hoofdaanmelding

Beperking: Er mag geen gemengd verkeer op de bedding voorkomen, dus het betreft een vrije bedding of BOB of eventueel een busstrook met nauwelijks hinderend verkeer. Een andere beperking is dat zich geen halte voor het verkeerslicht mag bevinden. En er moet een goede inschatting van de snelheid en de remvertraging beschikbaar zijn.

5.2.6.3 Maximale inmeldafstand vergroten (enkel met virtuele lussen)

De maximale inmeldafstand kan vergroot worden met virtuele lussen. Meestal wordt de afstand tussen inmeldlus en stopstreep beperkt tot 350 of 400 meter om technische (maximale kabellengte) of financiële redenen, terwijl verkeerskundig gezien eigenlijk een grotere afstand nodig is voor een ongehinderde doorgang. Het is mogelijk om de elektronische detectieapparatuur niet onder te brengen in de wegkantkast op het te beïnvloeden kruispunt, maar in de kasten van een stroomopwaarts gelegen kruispunt (wat nu al regelmatig gebeurt) of zelfs een geheel afzonderlijke kast. De detecties kunnen dan al dan niet draadloos doorgestuurd worden naar de verkeersregelaar.

Voordeel: De verkeersregelaar weet eerder dat er een bus of tram nadert, dus de kans dat zijn verkeerslicht tijdig groen wordt is groter. Dit geldt met name waar de maximum snelheden hoog zijn en/of de conflicterende voetgangersoversteekplaatsen lang zijn.

5.3 Beïnvloeding door voetgangers

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de werking van de verkeerslichten wordt beïnvloed door de aanwezigheid van voetgangers.

5.3.1 Aanvraag van groenfase

Veel kruispunten worden ook gebruikt door voetgangers. Zoals we in voorgaande hoofdstukken zagen, hebben deze weggebruikers een niet te onderschatten invloed op de werking van de lichten. Om andere weggebruikers zo weinig mogelijk voor niets voor rood te zetten, is het vaak aangewezen om de fasen waarbij voetgangers betrokken zijn op aanvraag te plaatsen (d.w.z. dat een voetganger steeds de drukknop moet gebruiken om groen te krijgen). Of, indien wenselijk, om tijdens die fasen de voetgangers niet mee op te laten komen. In veel gevallen hebben voetgangers immers tegelijk groen met het overige verkeer op dezelfde tak. Om die reden zijn de voetgangerslichten op de hoofdrij vaak niet op aanvraag, terwijl die van de zijtakken dat meestal wel zijn. Het is echter steeds aangewezen om een goede afweging te maken tussen het aantal voetgangers en de afwikkeling van het overige verkeer om te bepalen of de voetgangerslichten al dan niet op aanvraag zijn op bepaalde takken.

In ieder geval moet de aanwezigheid van voetgangers gedetecteerd kunnen worden vooraleer men de aanvraag kan uitvoeren. Dat kan technisch gezien op de volgende manieren:

- Drukknop: Aankomende voetgangers die de oversteek willen maken moeten op een aangegeven knop drukken. Deze knop geeft dan een vorm van feedback in de vorm van licht (en soms ook geluid) dat de aanvraag aanvaard is. Vanaf dan behandelt de VRI de actieve drukknop zoals ze een andere detectiemethode zou behandelen. Dit is de standaardoplossing in Vlaanderen, omwille van de betrouwbaarheid en beperkte risico op valse aanvragen.
- Radardetectie: Gezien de relatieve onbetrouwbaarheid van radars (valse positieven) is het niet opportuun om een radar te gebruiken om het groen voor voetgangers aan te vragen.
- Andere manieren van aanvragen is videodetectie: bv. infraroodcamera's of thermische camera's.

Analoog met de detectie voor voertuigen, kan er in overleg met de uitvoerende diensten gekozen worden voor de meest geschikte detectie voor iedere locatie.

5.3.2 Detectieconfiguraties

Bij het opmaken van de detectieconfiguratie is het belangrijk om enkele aandachtspunten in het achterhoofd te houden.

- De plaatsing van de drukknop voor voetgangers lijkt op het eerste zicht vrij evident. In vele gevallen is dat ook zo, maar toch moet er de nodige aandacht aan geschonken worden. De drukknop wordt best op een zichtbare en logische plek geplaatst. De paal waarop het sein van de overzijde is bevestigd is vaak een opportune plaats.
- Wanneer de oversteek verdeeld is in twee of meerdere delen, is het nodig om drukknoppen op de middenberm(en) te herhalen. In gebieden waar veel voetgangers zijn, maar de middenberm vrij klein is, is het aangewezen om steeds voldoende tijd te garanderen om de oversteek te vervolledigen. Het is echter nog steeds aangewezen om een drukknop te voorzien op de middenberm voor voetgangers die hier nood aan zouden hebben.



Figuur 97 Voorbeelden van drukknoppen voor voetgangers

- In bepaalde gevallen is het wenselijk om te kunnen verlengen specifiek op de voetgangers die aanwezig zijn. Dit kan het geval zijn in de buurt van winkelcentra, evenementen, scholen, rusthuizen,... Met behulp van radars of een ander detectortype kan dan het voetgangersgroen verlengd worden naargelang de noden ter plaatse. De radar wordt idealiter gericht op een plaats waar geen andere weggebruikers kunnen voorkomen.

5.3.3 Flexibiliteit

a) Voetgangerslichten op aanvraag

Aangezien voetgangers vaak veel groentijd en ontruimingstijd nodig hebben, is het een logische reflex om ze zo weinig mogelijk te laten opkomen en dat alleen op aanvraag te doen. Indien er geen voetgangers zijn, kan de cyclusduur (en dus wachttijd) vaak immers sterk beperkt worden.

b) Beperking van de minimumgroentijd van de voetgangers

Indien omwille van omstandigheden de voetgangers best altijd opkomen (of gewoonweg omdat er veel voetgangers zijn en dit als wenselijk wordt beschouwd) kan er nog een onderscheid gemaakt worden tussen een lange groentijd in geval van een aanvraag en een kortere groentijd in geval er geen aanvraag is. Vooral bij kruispunten met een middenberm kan dit de onnodige roodtijden voor de overige richtingen beperken. Concreet kunnen de voetgangerslichten zowel bij een aanvraag als zonder groen worden, maar zonder een aanvraag zal de groentijd slechts zo lang zijn om net voorbij of op de middenberm uit te komen. Er is altijd een drukknop voorzien op die middenberm, zodat voetgangers die niet aan de overkant geraakt zijn, opnieuw groen kunnen aanvragen.

Er kan nog een bijkomende maatregel genomen worden: het groen van de voetgangers kan eveneens verlengd worden met behulp van een radar indien er geen aanvraag gedetecteerd is. Op die manier wordt er altijd voldoende groentijd gegeven indien er een voetganger is die niet op de drukknop drukte of tijdens groen begint over te steken. Vooral in centra en andere kruispunten met veel voetgangersverkeer kan dit een mogelijke oplossing zijn. Hierbij wordt dan gebruik gemaakt van een voetgangersradar of wordt het voetgangersgroen zoveel mogelijk mee verlengd met het autoverkeer. Bij beide opties zijn er echter nadelen aan verbonden:

- Het verlengen van het groen met een voetgangersradar zorgt ervoor dat er mogelijks langer groen wordt gegeven dan door het gemotoriseerde verkeer nodig is (door 'valse' detecties);
- Het enkel verlengen van het groen van de voetgangers bij de detectie van voertuigen in dezelfde fase zorgt ervoor dat er bij weinig gemotoriseerd verkeer maar veel voetgangers, mogelijks meer groen had kunnen gegeven worden aan de voetgangers, omdat het groen voor voetgangers in die gevallen niet verlengd kan worden, terwijl er toch een voetganger aanwezig kan zijn.

In het geval van een oversteek met een middenberm, is het daarnaast ook standaard om de ontruimingstijd (dus tijdens rood) slechts tot aan de middenberm te voorzien in plaats van de gehele oversteek (zie 0).

c) Meerdere groenvensteren voor de voetgangerslichten

Daarnaast is het bij lange cycli, bij (gedeeltelijk) conflictvrije regelingen, mogelijk om niet één maar twee groenvensteren te voorzien. Dit laat toe dat een fase voor voetgangers (en eventueel andere weggebruikers indien deze samenvallen) op twee verschillende momenten in de cyclus kan voorkomen. Indien de cyclustijd te sterk zou toenemen als beide momenten gebruikt worden, kan ervoor gekozen worden om slechts één te gebruiken, afhankelijk van wanneer in de cyclus de aanvraag gebeurt. Op die manier wordt de wachttijd van voetgangers beperkt zonder daarbij te zwaar te wegen op de globale cyclustijd.

5.3.4 Geloofwaardigheid

Roodlichtnegatie bij voetgangers is een belangrijk probleem. Bij het negeren van een rood sein lopen meerdere weggebruikers het gevaar om betrokken te zijn bij een ongeval. Voor zwakke weggebruikers zoals voetgangers zijn die ongevallen vaak zwaarder van aard dan bij de meeste gemotoriseerde voertuigen. Roodlichtnegatie wordt sterk beïnvloed door de zogenaamde geloofwaardigheid van de regeling. Die geloofwaardigheid kan worden uitgedrukt als het 'begrip' dat de weggebruikers hebben omtrent de lichtenregeling.

De geloofwaardigheid van de regeling wordt in grote mate bepaald door de wachttijd. Weggebruikers wachten nu eenmaal niet graag. Zolang het wachten een schijnbaar nut heeft, is dat minder schadelijk. Een voetganger zal immers niet het rood licht negeren als er voertuigen hun rijweg dwarsen. Wanneer er schijnbaar voor niets gewacht wordt, kan het wachten echter ervaren worden als een verspilling van tijd en verliest de regeling aan geloofwaardigheid. Wanneer die geloofwaardigheid haar dieptepunt bereikt, zullen weggebruikers niet langer naar de regeling luisteren en zelf doen wat ze goed achten, met alle risico's van dien.

We bespreken kort enkele richtlijnen om een regeling zo geloofwaardig mogelijk te houden:

- Een flexibele regeling zoals reeds werd toegelicht is een uitstekend startpunt. De taak is dus om steeds de wachttijd te beperken en vooral de tijd waar weggebruikers voor niets voor rood staan.
- We haalden hierboven ook al het 2de groenvenster aan als extra optie om de geloofwaardigheid ten goede te komen.
- Bijkomstig is het belangrijk dat het duidelijk is voor weggebruikers dat ze een drukknop in moeten drukken als die aanwezig is. Het zichtbaar plaatsen van die drukknop is dus belangrijk. Daarom worden er best afzonderlijke drukknoppen voorzien voor fietsers en voetgangers, elk naar hun eigen gebruiker georiënteerd. Op die manier wordt vermeden dat een voetganger of een fietser aankomt en pas wanneer de geloofwaardigheid van de regeling haar "dieptepunt" bereikt (men ziet geen conflicterend verkeer en men krijgt geen groen gedurende lange tijd) realiseert dat men op een drukknop moest duwen.
- Een extra mogelijkheid bestaat erin om zogenaamde 'wachtverzachting' te gebruiken. Concreet gaat het om een display die overbrengt hoe lang men nog ongeveer zal moeten wachten tot men groen krijgt. Deze 'wachtverzachters', 'aftellichten' of 'wachttijdindicatoren' worden momenteel echter niet voorzien op installaties in het beheer van het AWW, aangezien er geen eenduidigheid bestaat over de positieve of negatieve effecten van deze seinen.

5.3.5 Lokgroen

We spraken reeds over roodlichtnegatie in de context van de geloofwaardigheid van de lichtenregeling. Daar gaan we ervan uit dat het rood licht bewust genegeerd wordt. Dat is echter niet altijd zo, zoals in het geval van lokgroen. Bij dit fenomeen worden weggebruikers mogelijk verward door seinen die

verderop geplaatst zijn, die op dat moment en die plaats niet voor hen bedoeld zijn. In die situatie kan een weggebruiker dus het eigen signaal negeren omdat ze denken dat ze wel groen hebben.

Het is vaak moeilijk om lokgroen op voorhand helemaal uit te kunnen sluiten. De voornaamste manier hiervoor is om alle voetgangerslichten tegelijk te laten schakelen tussen groen en rood. Op die manier kan niemand van het verkeerde signaal uitgaan. Aangezien lokgroen vooral voorkomt bij kruispunten waar meerdere (kortere) oversteken elkaar opvolgen, betekent dit echter dat niet alle mogelijke tijd gebruikt wordt om die oversteken groen te geven.

Indien men zoveel mogelijk groen wil geven, is het belangrijk dat voetgangerslichten over eenzelfde tak op één lijn staan. In dat geval zal het licht dat van toepassing is het zicht op andere lichten soms gedeeltelijk blokkeren, maar wordt vooral de aandacht naar dezelfde plek in het zichtveld getrokken. Los daarvan is er geen zekere manier om lokgroen te voorkomen bij voetgangers.

5.3.6 Voetgangersvoorzieningen bij OV in eigen bedding

In steden wordt er vaak gebruik gemaakt van openbaar vervoer dat in een eigen bedding rijdt. Dat is vooral voor trams zo, maar soms ook voor bussen die al dan niet op dezelfde plaats rijden. In Vlaanderen geldt dit vooral voor de grote steden en de kust. Wanneer dergelijke situatie zich voordoet bij een kruispunt zorgt deze situatie voor specifieke aandachtspunten voor de voetgangersvoorzieningen met een middenberm, waarbij de tram in het midden of aan één zijde van de rijbaan rijdt. Voetgangers dienen de bedding van de tram veilig te kunnen kruisen.

Om de voetgangers zo veilig mogelijk te laten oversteken is er gekozen om de oversteek van die eigen bedding altijd in de lichten op te nemen. Op die manier is het altijd duidelijk voor de voetganger wanneer er veilig overgestoken kan worden. Er zijn echter verschillende manieren om dat in de praktijk uit te voeren die elk voor- en nadelen omvatten. Concreet spelen drie factoren een belangrijke rol:

- de verliestijd voor de trams en het overige verkeer;
- niet voor niets voor rood;
- lokgroen.

Er wordt bewust gekozen voor de veiligste oplossing, die daarnaast ook de minste verliestijd voor tram en overig verkeer veroorzaakt: de oversteek over de bedding gelijk groen te geven met de aanleidende oversteken. Er zijn uitzonderlijke gevallen waardoor een voetganger hierdoor voor niets voor rood staat, maar dat kan alleen indien er een halte voor OV is vlakbij het kruispunt. In alle andere gevallen zou men namelijk voor de volgende aanleidende oversteek moeten wachten op groen. Ook wanneer de bedding zich niet in het midden van de weginfrastructuur bevindt, maar bijvoorbeeld rechts of links van de gewone rijbaan, is het aangewezen op deze manier de oversteek te beveiligen.

Bij het opstellen van de regeling moet er dus op toegezien worden dat er geen enkel conflict bestaat tussen een tram en een voetgangersoversteek, aangezien deze in de lichten dienen te worden opgenomen. Dat geldt ook voor trams die een links- of rechts afslaan beweging maken, om een misverstand in de voorrangsregels te vermijden (aangezien een tram steeds voorrang heeft). Daarnaast moeten de verschillende deeloversteken zoveel mogelijk tegelijk groen krijgen, om lokgroen te vermijden.

Het spreekt voor zich dat wanneer er voetgangerslichten voorzien worden die met de tram en OV-detectie werken, ook de fietsoversteken op die manier aangepakt moeten worden indien die aanwezig zijn.

5.3.7 Hulpsignalen voor voetgangers met een visuele beperking

Een VRI maakt in principe nooit “standaard” gebruik van geluidssignalen om de werking ervan toe te lichten. Voor mensen met een visuele beperking is dit een groot probleem. Zonder auditieve signalen kunnen ze uiteraard geen gebruik maken van de infrastructuur tenzij ze worden bijgestaan. Om de mobiliteit van mensen met een visuele beperking zoveel mogelijk te faciliteren kunnen zogenaamde hulpsignalen worden geplaatst. Deze auditieve hulpsignalen maken gebruik van geluid om over te brengen wanneer een voetgangerslicht groen is, maar ook wanneer het rood is.

a) Procedure plaatsing hulpsignalen

Voor kruispunten die heringericht worden of volledig nieuwe kruispunten kan reeds in het ontwerpproces beslist worden om hulpsignalen te plaatsen.

De plaatsing van hulpsignalen bij een bestaande installatie dient dit aangevraagd te worden door de desbetreffende gemeente.

Dit kan op twee manieren (volgens Dienstorder MOW/AWV/2015/12):

1) *Individuele aanvraag (één kruispunt)*

Dit betekent dat deze aanvragen steeds op de PCV behandeld dienen te worden. Voorwaarden voor goedkeuring zijn minstens:

- De aanvraag dient ondersteund te worden door een vereniging voor mensen met een visuele beperking;
- De gemeente dient eerst looplijnen aan te duiden en te voorzien vooraleer het kruispunt uitgerust wordt met voorzieningen voor voetgangers met een visuele beperking.

2) *Groepsaanvraag (meerdere kruispunten)*

Om in aanmerking te komen als groepsaanvraag dient de gemeente die de groepsaanvraag indient minstens ingedeeld te zijn als regionaal-stedelijk gebied volgens het Ruimtelijk Structuurplan (criterium van bestemming).

Indien de gemeente in aanmerking komt voor een groepsaanvraag, zal het AWV automatisch voorzieningen voor voetgangers met een visuele beperking plaatsen, maar enkel voor de kruispunten die gelegen zijn in de bebouwde kom of voor bepaalde delen van de bebouwde kom. De gemeente die de groepsaanvraag indient, dient eerst looplijnen aan te duiden en te voorzien vooraleer de desbetreffende kruispunten uitgerust worden met voorzieningen voor voetgangers met een visuele beperking.

b) Eigenschappen en richtlijnen hulpsignalisatie

Dienstorder 155.310/RTE.012.036 d.d. 20/06/1991 bepaalt het volgende:

De hulpsignalisatie wordt gegeven door middel van een geluidssignaal en tactiel signaal :

- het geluidssignaal werkt enkel overdag. Het geluidssignaal wordt uitgeschakeld tussen 22h en 7h;
- het tactiel signaal blijft steeds in werking ;
- het geluidssignaal dient verschillend te zijn tijdens de roodfase voetgangers van het geluidssignaal tijdens de groenfase voetgangers ;
- het geluidssignaal mag niet bestaan uit hoge, scherpe tonen om geen verwarring te scheppen met andere quasi dezelfde geluidssignalen (bv. richtingsaanwijzer van bromfiets) ; het is van het type rateltikker ;
- de signalen werken gelijktijdig aan beide zijden van de weg;
- de signalen zijn onderworpen aan de bepalingen van het M.B. van 11 oktober 1976 waarbij de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens worden bepaald.
- Om de voetgangers met een visuele beperking toe te laten een aanvraag te doen, ingeval de installatie werkt met aanvraag, wordt een bedieningskastje gebruikt dat wordt bevestigd aan de

steun voor voetgangerslichten van de betrokken oversteekplaats op een hoogte van 1,2 m.

Er wordt nog al eens opgeworpen dat de zogenaamde “rateltickers” vervelend zijn voor de omwonenden; omwille van het geluid dat ze produceren.

Tegenwoordig maken we echter geen gebruik meer van de klassieke “rateltickers”, maar geluidsignalen waarvan standaard de geluidsterkte (automatisch en permanent) wordt aangepast aan de sterkte van het achtergrondgeluid.

Via de verkeersregelaar kan daarnaast ook 's nachts het signaal nog verder gedimd worden, of in het uiterste geval uitgeschakeld worden.

Bij de inrichting van kruispunten met driekleurige verkeerslichten voorzien van een hulpsignalisatie voor voetgangers met een visuele beperking zijn volgende aandachtspunten van belang:

- de palen met de voetgangerslichten waaraan het bedieningskastje voor de hulpsignalisatie wordt bevestigd, worden aan de rand van het voetpad geplaatst;
- waarschuwingsmarkeringen dienen uitgevoerd te worden in noppentegels, 30 cm x 30 cm (beton, natuursteen, ...). Noppentegels zijn waarschuwingsmarkeringen die voetgangers met een visuele beperking attent maken op een oversteek. Ze dienen herkenbaar te zijn met de voet en de witte stok. Voor slechtziende personen is het belangrijk dat de tegels contrasteren met de omgeving. De noppentegels worden in twee rijen (60 cm) aangebracht over de volledige breedte van de oversteek, met een minimumbreedte van 120 cm;
- wanneer de paal zich bevindt aan de zijkant van de oversteekplaats, wordt het bedieningskastje geplaatst aan de zijde van de oversteekplaats, met zijn voorzijde evenwijdig met de oversteekrichting. Wanneer de steun zich in het midden van de oversteekplaats bevindt, wordt het kastje geplaatst aan de zijde van het voetpad en met zijn voorzijde loodrecht op de oversteekrichting.



Figuur 98 Druknop voor voetgangers met een visuele beperking

5.3.8 Werkingsdiagram

Indien op een verkeerslichtengeregeld kruispunt drukknoppen worden geplaatst, worden deze gebruikt om een aanvraag te doen.

Om onnodig lange groentijd voor voetgangers te vermijden wordt de oversteektijd meestal beperkt tot de tijd die nodig is voor één voetganger om de andere zijde te bereiken voor het rood wordt. De roodtijd dient voldoende lang te zijn voor een voetganger om het kruispunt te ontruimen aan een snelheid van 1,2 m/s vooraleer conflicterende weggebruikers het conflictvlak kunnen bereiken.

Bij kruispunten waar grotere groepen voetgangers zich kunnen voordoen, kan er geopteerd worden om de groentijd voor voetgangers te verlengen. Dit kan door middel van een radar die de volledige oversteek als detectiegebied ziet. Indien we een radar gebruiken voor voetgangers wordt als hiaattijd 1,0s gekozen. Mogelijke locaties waar dit nodig kan zijn is in de buurt van scholen waar groepen kinderen of klassen oversteken, maar ook in meer verstedelijkte gebieden waarbij voetgangerszones doorkruist worden of waar grote aantrekkingspolen gelegen zijn.

Deze principes worden geduid aan de hand van Figuur 99, in de vorm van een voetgangersoversteek met verkeerslichten:

- Het groen voor voetgangerssignaal 'b' wordt aangevraagd m.b.v. drukknop 'Tb' (stand 3).
- Er is een minimumgroentijd voorzien voor voetgangers (stand 6)
- Er is de mogelijkheid om de groentijd voor voetgangers te verlengen m.b.v. radar 'Rb' (stand 7) (standaard hiaattijd is 1,0s voor radars voor voetgangers)

stand	1	2	3	4	5	6	7
A							
b							
minimum	5	0	0	4	1	7	8
maximum	GroenA ≥ 17	GroenA ≥ MaxA	-	-	-	Groen(b) ≥ Max(b)	-
verlengd door	1e Verlenging A	2e Verlenging A	wachtstand tot DfW*	-	-	1e Verlenging (b)	-

*DfW = Tb
 1eVerlengingA = LAs[2,0]
 2eVerlengingA = LAh[3,0]
 1eVerlenging(b) = Rb[1,0]
 MaxA = 30
 Max(b) = 13

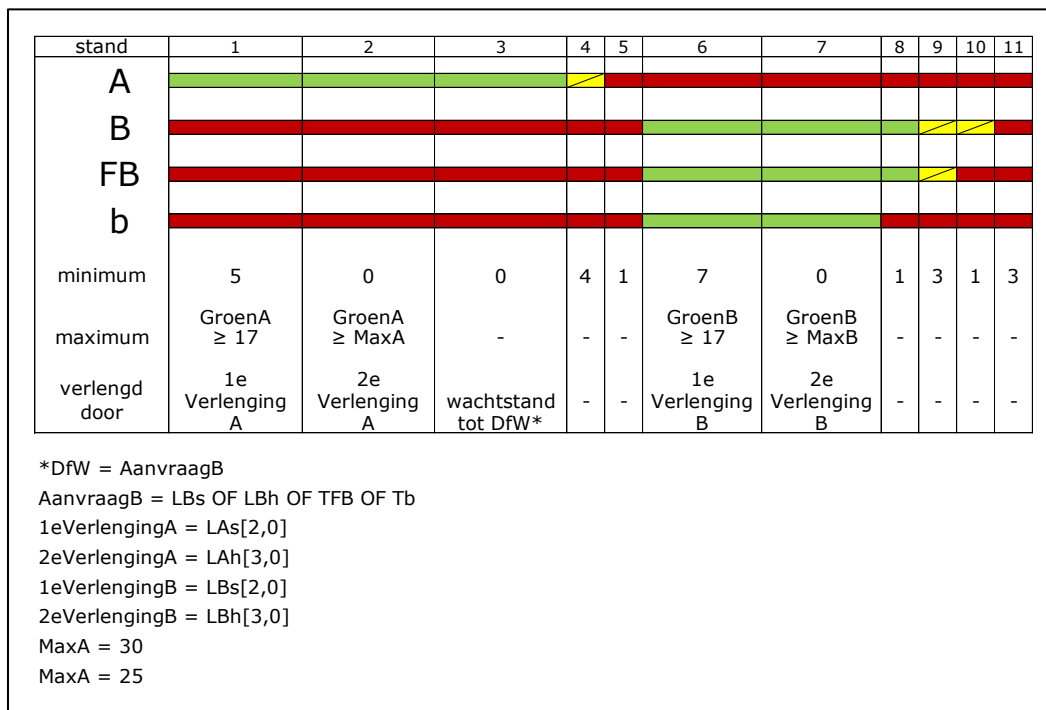
Figuur 99 Voorbeeld van een werkingsdiagram van een voetgangersoversteekplaats

Indien de ontruimingstijd van voetgangers beperkt is, kan geopteerd worden om voetgangers mee te laten verlengen met het gemotoriseerde verkeer. Indien de voetgangersoversteken echter lang zijn en daardoor lange ontruimingstijden vereisen, is het vaak beter om de ontruimingstijden reeds gedeeltelijk te doorlopen, om daarna het groen nog te verlengen voor voertuigen om zo het groen op het meest ideale moment af te breken. Als richtlijn bepalen we dat er maximaal 1 s vastgroen op het einde van de groenfase mag geplaatst worden om de ontruimingstijd van de voetgangers te respecteren.

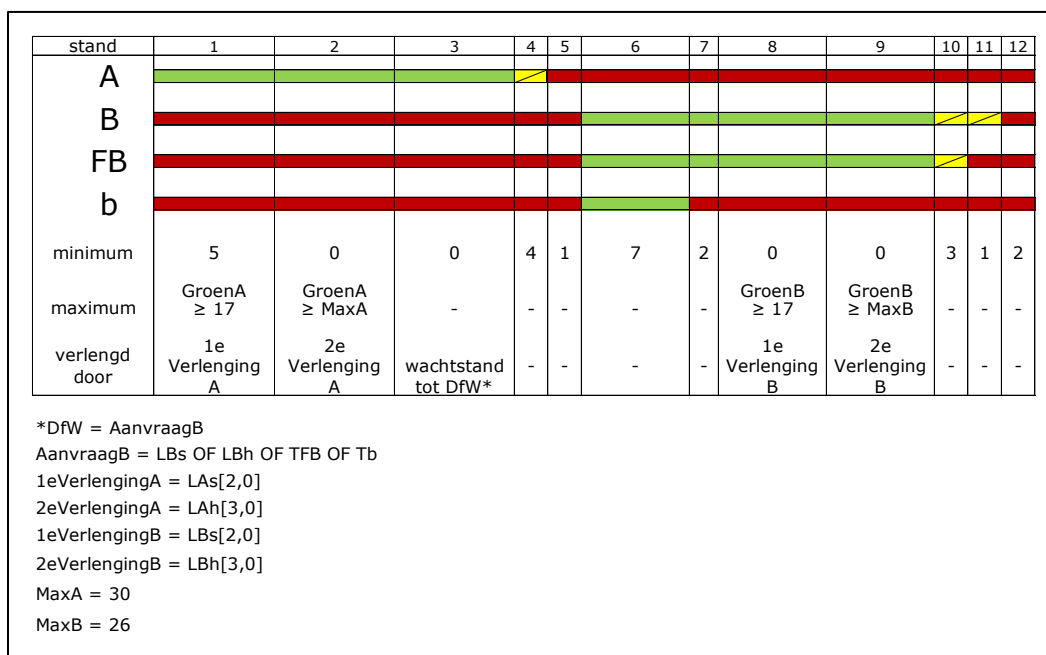
Bij veel verkeerslichtenregelingen bestaat de mogelijkheid om naar verschillende fasen te springen in de regeling naar gelang het verkeersaanbod. In deze gevallen is het mogelijk dat de ontruimingstijd voor voetgangers bij voorkeur meegenomen wordt in de overgangen tussen de verschillende fasen; aangezien pas bij de overgang bekend is naar welke fase in de regeling men gaat. Als algemene aanbeveling geldt hier dat de overgangen niet nodeloos lang worden door de toevoeging van de ontruimingstijd voor voetgangers, om te vermijden dat de regeling een te star karakter krijgt.

Dit principe wordt geduid aan de hand van Figuur 100 en Figuur 101:

- De minimumgroentijd voor b is 7 seconden
- De tussengroentijd tussen A en b is 8 seconden
- In Figuur 100 is de tussengroentijd tussen A en B 7 seconden; hierdoor kan de ontruimingstijd van 1s op het einde van de fase geplaatst worden
- In Figuur 101 is de tussengroentijd tussen A en B 6 seconden; hierbij kan best eerst de ontruimingstijd van de voetgangers doorlopen worden, daarna kan het groen verder worden verlengd.



Figuur 100 Werkingsdiagram voetgangers waarbij ontruimingstijd aan het einde van de groenfase wordt gerespecteerd



Figuur 101 Werkingsdiagram voetgangers waarbij ontruimingstijd na de minimumgroentijd wordt gerespecteerd

5.4 Beïnvloeding door fietsers

Naast voetgangers is het ook belangrijk om extra aandacht te hebben voor fietsers, die ook als “zwakke weggebruiker” bestempeld worden. Er zijn veel raakvlakken tussen de aandachtspunten voor voetgangers en die voor fietsers, maar toch ook enkele verschillen. De grootste hebben te maken met de hogere snelheid van fietsers en de plaatsing van hun apart fietserslicht. Bovendien zorgt de wisselwerking tussen voetgangers en fietsers ook voor wat bijkomende aandachtspunten.

5.4.1 Aanvraag van groenfase

De nood voor beïnvloeding door fietsers is sterk afhankelijk van de ligging van een bepaald kruispunt. Een kruispunt in een schoolomgeving, bijvoorbeeld, zal tijdens de ochtend en avondspits veel fietsverkeer met zich meebrengen. Afhankelijk daarvan is het al dan niet opportuun om de fietsers niet standaard mee te laten opkomen in de cyclus.

Wanneer de fietsers niet standaard mee opkomen is het uiteraard nodig om de nodige aanvragen te detecteren. Hiervoor zijn een aantal methoden beschikbaar, elk met hun voor en nadelen.

- Drukknop: veruit de meest eenvoudige en meest betrouwbare vorm van detectie en volledig naar analogie van de voetgangers gelden hier dezelfde opmerkingen. Er moet voor specifieke fietsersdrukknoppen wel rekening gehouden worden met hun plaatsing. Een fietser kan immers niet aan eender welke drukknoop geraken. Wanneer de originele paal van het verkeerslicht te dicht aan de rijweg staat, is het allicht nodig om een extra paaltje te plaatsen voor de drukknoop, om te vermijden dat de fietser met hun voorwiel op de rijweg komt.
- Inductieve lus: zoals bij gewone personervoertuigen kan een lus gebruikt worden om de aanwezigheid van een fietser te detecteren. Het grote voordeel is dat dit automatisch gebeurt, en dus niet afhankelijk is van de aandacht van de weggebruiker. Het grote nadeel is dat deze lussen problemen hebben om carbonfietsen te detecteren. Om dan zeker te zijn van een detectie, wordt er best nog een drukknoop geplaatst, anders wordt het licht voor bepaalde fietsers mogelijk nooit groen. Om die reden is een detectielus plaatsen dus eerder een bijkomende maatregel. Wanneer er geen apart fietspad is, kan de inductieve lus van het ‘gewone’ verkeer ook zo afgesteld worden dat ze fietsers detecteren.
- Radardetectie: Gezien de relatieve onbetrouwbaarheid van radars (valse positieven) is het niet opportuun om een radar te gebruiken om een groenaanvraag te doen door fietsers, maar het is wel mogelijk. In ieder geval moet het fietspad in dat geval vrijliggend zijn, om detectie van andere weggebruikers te voorkomen. Ook moet voorkomen worden dat de groenfase aangevraagd wordt door andere weggebruikers dan de bedoelde fietsers. Gezien deze praktische bezwaren wordt radardetectie voor een aanvraag te genereren slechts bij uitzondering gebruikt in Vlaanderen.

Analoog met de detectie voor voertuigen en voetgangers, kan er in overleg met de uitvoerende diensten gekozen worden voor de meest geschikte detectie voor iedere locatie.

5.4.2 Detectieconfiguraties

Bij het opmaken van de detectieconfiguratie gelden dezelfde principes als voor voetgangers (zie 5.4.1). Voor fietsers zijn er echter nog enkele specifieke aandachtspunten:

- Vooreerst is de plaatsing van de drukknoop belangrijk. Een fietser kan immers niet zo gemakkelijk als een voetganger aan eender welke drukknoop. Wanneer de paal van het fietserslicht dicht bij de rijweg staat, wat doorgaans het geval is, kan er een gevaarlijke situatie gecreëerd worden waarbij de fietser gedeeltelijk op de rijweg komt te staan (typisch met het voorwiel). Dat is uiteraard niet wenselijk. Om dat te voorkomen wordt best een apart paaltje voorzien waarop de drukknoop bevestigd wordt, wanneer de ruimte er is liefst op 1,5 à 2m van het fietserslicht. Hier kan de fietser dan ook op leunen na het drukken. Dit wordt vaak als comfortabel ervaren door de fietser, aangezien deze dan vaak

gewoon in het zadel kan blijven zitten en niet hoeft af te stappen. Wanneer een fietsersdrukknop en een voetgangersdrukknop dicht bij elkaar geplaatst worden, is het nodig om duidelijk aan te geven welke weggebruiker welke drukknop moet gebruiken, en wordt ze best naar die weggebruiker gericht.

- Het is niet altijd opportuun om de VRI anders te laten reageren op een impuls van een fietsersdrukknop dan van een voetgangersdrukknop. Dit omdat voetgangers niet altijd enkel op hun drukknop duwen, maar doorgaans de eerste die ze zien (desondanks alle drukknoppen met een symbool voorzien worden dat duidelijk maakt voor welke weggebruiker ze is). In dat geval zal de VRI verkeerdelijk aannemen dat het om een fietsers gaat en een te korte groen- en ontruimingstijd toekennen.
- De plaatsing van de inductielus voor fietsers is ook een belangrijk aandachtspunt. Aangezien fietsen in vergelijking met andere motorvoertuigen veel minder metaal bevatten, moet de lus erg gevoelig afgesteld worden. Om die reden is het belangrijk om overspraak te voorkomen. Er wordt dus best geen lus geplaatst waar ander (gemotoriseerd) verkeer de werking ervan kan beïnvloeden.
- Voor de verlenging van de fietsersfase kan ook een radar gebruikt worden. Ook blijft de opmerking bij de aanvraag met radar belangrijk: het fietspad dient best vrijliggend zijn en er is bij voorkeur geen ander verkeer dat onnodig een verlenging van het groen veroorzaakt.

5.4.3 Flexibiliteit

De verlenging van de groenfase voor fietsers is niet bij alle kruispunten of fietsoversteken nodig. Er moet zoals altijd een afweging gemaakt worden tussen de hoeveelheid fietsverkeer en de invloed ervan op de algemene cyclus. Vooral wanneer de fietsers conflictvrij kunnen oversteken is dat het geval. Het voldoende snel opkomen van het fietsersgroen is een belangrijk aandachtspunt.

Vooraf wanneer er een aparte fase wordt voorzien voor fietsers, die vaak langere cycli veroorzaken, is het nuttig om een 2^{de} groenvenster te voorzien, zodat de wachttijd beperkt wordt. Concreet kan er dan op twee momenten in de cyclus de fietsersfase geactiveerd worden, afhankelijk van wanneer de aanvraag gebeurt. Deze flexibiliteit is belangrijk, omdat deze de geloofwaardigheid van de regeling kan ondersteunen. Indien het voorzien van beide fasen te negatief is voor de overige verkeersstromen, kan ervoor geopteerd worden om in één volledige cyclus maximaal één van de twee fasen te geven. Dit behoudt de flexibiliteit, maar beperkt de impact op de doorstroming van het volledige kruispunt.

5.4.4 Geloofwaardigheid

Ook voor fietsers is de geloofwaardigheid van een regeling belangrijk om roodlichtnegatie tegen te gaan. In het algemeen gelden alle opmerkingen die reeds in hoofdstuk 5.3 over voetgangers worden gegeven ook voor fietsers: de wachttijd wordt best beperkt, vooral een wachttijd die onnuttig lijkt, zeker wanneer de drukknoppen ingedrukt werd.

5.4.5 Lokgroen

Voor fietsers is het net zo belangrijk als voor voetgangers dat lokgroen vermeden wordt. Omdat voetgangerslichten aan de overzijde van de oversteek worden geplaatst en fietslichten niet, bestaat er voor fietsers het gevaar dat een volgende voetgangersoversteek fietsers het verkeerde idee geeft dat zij ook groen hebben. Vooral wanneer hun eigen fietserslicht niet goed zichtbaar is vanaf de stopstreep, kan een fietser uitgaan van het voetgangerslicht. Om dit te vermijden kan er uiteraard gekozen worden om fietsers en voetgangers alleen samen te laten opkomen, zodat het voetgangerslicht een waarheidsgetrouwe 'vervanger' is van het fietserslicht. Een andere optie is om een herhalingslicht te hangen op ooghoogte, of om de drukknop (indien van toepassing) op het hiervoor vermelde aparte paaltje te voorzien om het zicht op het fietserslicht te verbeteren. Het is volgens de huidige plaatsingsvoorwaarden niet toegestaan om een herhalingslicht voor fietsers aan de overzijde van de oversteek te plaatsen.

5.4.6 Werkingsdiagram

Wat fietsers betreft wordt er gerekend met een snelheid van 5 m/s. Dit levert meestal vrij korte minimumgroentijden op. Toch wordt er voor gekozen om de groentijd nooit lager in te stellen dan 5 s. Wanneer een fietsoversteek niet gecombineerd wordt met een voetgangersoversteek, zou het kunnen dat deze toch occasioneel door voetgangers wordt gebruikt. 7 seconden geeft dan iets meer veiligheid voor de overstekende voetgangers.

Uit het "Onderzoeksrapport naar de opstelcapaciteit en afrijcapaciteit van fietspaden bij geregelde kruispunten." (CROW, 2016) blijkt dat het optrekverlies, de tijd die verloren gaat omdat fietsers bij het verkeerslicht eerst op gang moeten komen, ongeveer 3 seconden bedraagt. Er moet dus rekening gehouden worden met het feit dat vaak de eerste 3 seconden van het groene licht slechts één fietser het verkeerslicht kan passeren.

Dezelfde bedenkingen qua defecten bij drukknoppen als bij voetgangers gelden ook voor drukknoppen voor fietsers.

stand	1	2	3	4	5	6	7	8
A								
FB								
minimum	5	0	0	4	1	5	3	2
maximum	GroenA ≥ 17	GroenA ≥ MaxA	-	-	-	GroenFB ≥ MaxFB	-	-
verlengd door	1e Verlenging A	2e Verlenging A	wachtstand tot DfW*	-	-	1e Verlenging FB	-	-

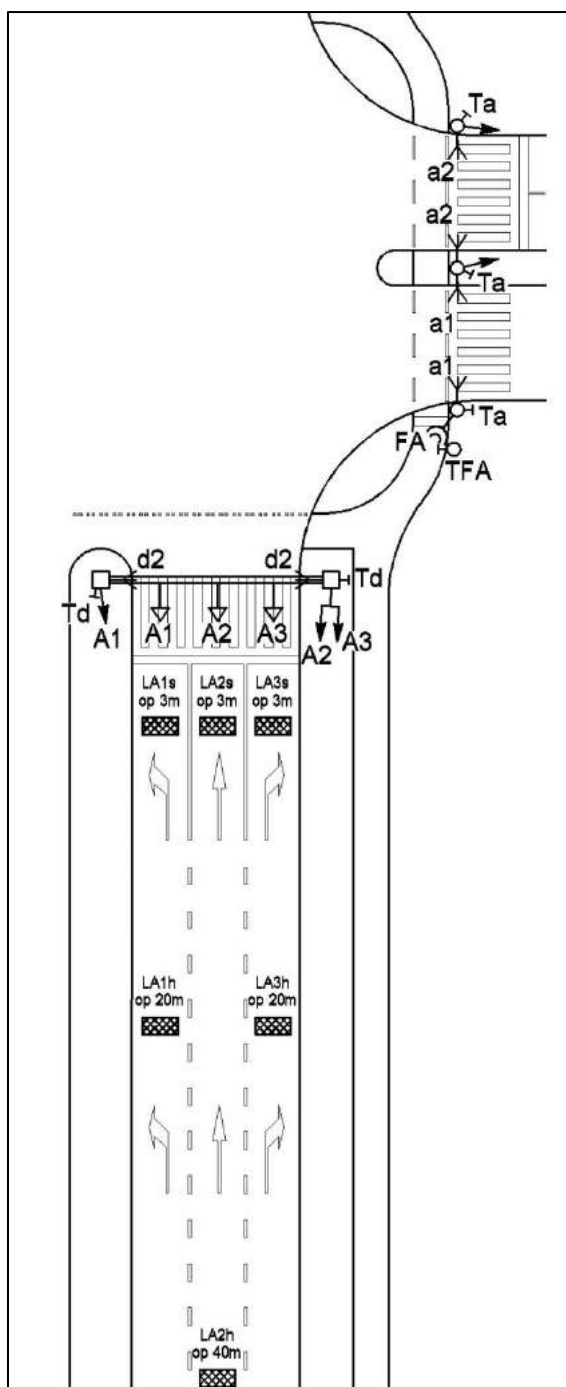
*DfW = AanvraagFB
 AanvraagFB = TFB
 1eVerlengingA = LAs[2,0]
 2eVerlengingA = LAh[3,0]
 1eVerlengingFB = LFB[3,0] OF RFB[1,0]
 MaxA = 30
 MaxFB = 12

Figuur 102 Werkingsdiagram van een fietsoversteek, waarbij het groen kan verlengd worden met een lus of een radar

5.5 Samenvattende figuur

In onderstaande figuur worden enkele zaken samengenomen uit de voorgaande hoofdstukken om tot een voorbeeld van een tak van een verkeerslichtengeregeld kruispunt te komen. Zo zien we op onderstaande figuur:

- De configuratie van de seinen
- De benaming van de seinen
- Het voorzien van drukknoppen voor fietsers (met behulp van een laag paaltje) en voor voetgangers;
- Een detectieconfiguratie op basis van de standaarddetectieconfiguratie (in dit geval voor een tak waar de toegelaten snelheid 70 km/h is);
- De benaming van alle detectiemogelijkheden.



Figuur 103 Voorbeeld volledige uitrusting van tak A

6 Afstemming met nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten

6.1 Voordelen en nadelen

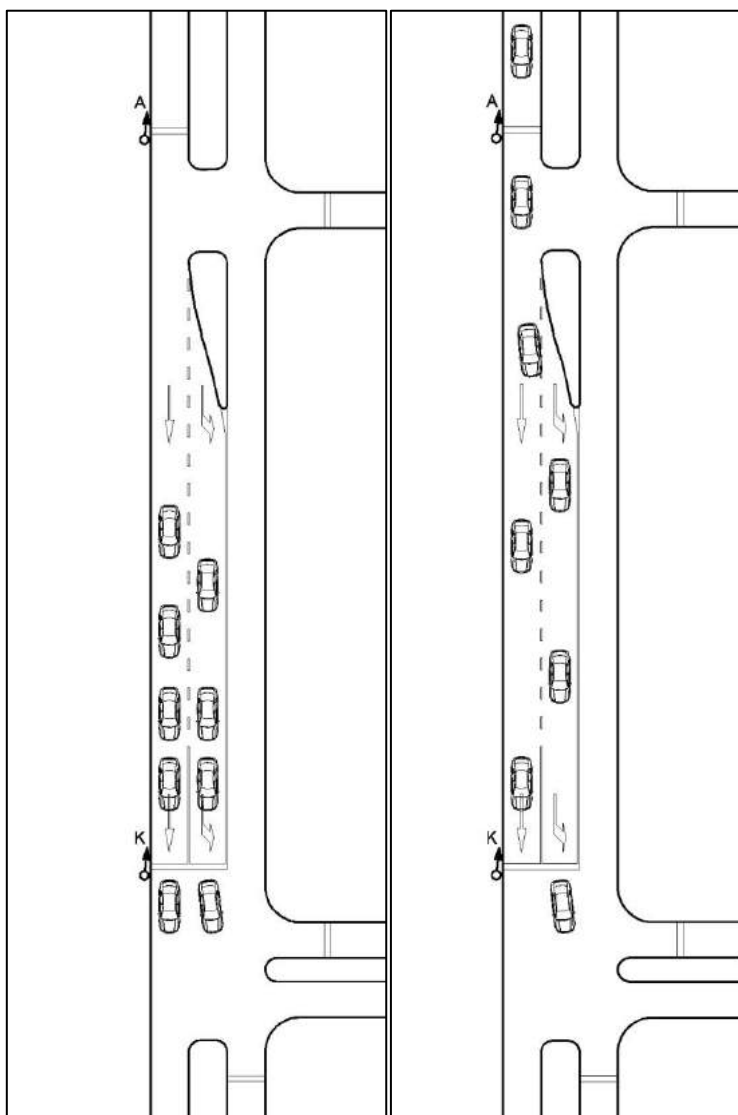
Wanneer twee of meer lichtengeregelde kruispunten minder dan 750 m van elkaar liggen, dan is het soms wenselijk om hun regelingen op elkaar af te stemmen. Zo'n afstemming of 'coördinatie' kan, afhankelijk van de lokale omstandigheden, zowel voordelen als nadelen hebben. Over het algemeen wegen de voordelen zwaarder naarmate de tussenafstand kleiner is. Een microsimulatie kan behulpzaam zijn bij het maken van de afweging.

Mogelijke voordelen van een afstemming:

- Automobilisten die een bepaalde route volgen worden langer tegengehouden voor het eerste verkeerslicht. Daardoor hebben ze een kleinere kans om bij de tweede en volgende verkeerslichten voor rood te moeten remmen, wat voordelig is voor hun comfort, brandstofverbruik, emissies en vaak ook voor hun verliestijd.
- Wanneer twee (deel)kruispunten zeer dicht bij elkaar liggen, zou het niet afstemmen er soms voor kunnen zorgen dat een wachtrij voor het tweede kruispunt zich opbouwt tot op het kruisingsvlak van het eerste kruispunt.

Mogelijke nadelen van een afstemming:

- Veel automobilisten die een andere route volgen dan die waarvoor de verkeerslichten zijn afgestemd, ondervinden juist nadeel van die afstemming. Ze hebben een grotere kans om voor rood te moeten stoppen, ook wanneer er geen conflicterend verkeer op het kruispunt te zien is.
- Afstemmingen beogen meestal dat enkel voor het eerste verkeerslicht gestopt moet worden. Aangezien één rijstrook op het eerste kruispunt vaak meerdere rijstroken op het tweede kruispunt voedt (bijvoorbeeld ook een linksafstrook), wordt de groentijd op het tweede kruispunt door een afstemming onderbenut. Daar zit relatief veel tijd tussen achtereenvolgende auto's op een rijstrook, waardoor de benodigde groentijd langer is en de kans op filevorming er groter is dan zonder zo'n afstemming (zie Figuur 104).
- Ook wanneer het aantal rijstroken gelijk blijft maakt een afstemming de verkeersafwikkeling inefficiënt door het verschijnsel 'pelotondiffusie' of uitwaaiing. Niet elke automobilist rijdt even snel, dus er ontstaan grote hiaten binnen een peloton. Als bij een eerste verkeerslicht bijvoorbeeld 30 seconden groentijd voldoende was om 15 auto's te laten passeren, dan zal een paar honderd meter verderop een verkeerslicht veel langer dan 30 seconden groen moeten blijven om diezelfde 15 auto's ongehinderd te laten passeren. Dit wordt nog eens versterkt doordat 'ongehinderd' veronderstelt dat dat tweede licht al groen wordt voordat het voorste voertuig begint te remmen.
- Fietsers ondervinden over het algemeen nadeel (meer verliestijd en vaker stoppen) van afstemmingen voor auto's doordat ze andere snelheden hebben.
- Ook openbaar vervoer ondervindt vaker nadeel dan voordeel van een afstemming. Zonder afstemming kan een naderende bus of tram vrijwel direct een conflicterende groenfase afkappen, de fasenvolgorde omdraaien om als eerste aan de beurt te komen en de eigen groenfase tientallen seconden verlengen om zonder stoppen elk verkeerslicht te passeren (tenzij er tegelijk een andere bus of tram nadert en tenzij er een halte vlak voor het kruispunt ligt). Bij een afstemming met een vaste cyclustijd of een vaste fasenvolgorde is de flexibiliteit echter veel kleiner, waardoor het verkeerslicht vaak al rood wordt voordat de bus of tram gepasseerd is.



Figuur 104 Illustratie van het tweede nadeel van een afstemming (de groentijd van K wordt onderbenut omdat er een grotere afstand ontstaat tussen de afrijdende voertuigen)

Bovenstaande Figuur 104 illustreert het tweede nadeel van een afstemming. Links werd A al groen zodra daar geen conflicterend verkeer meer was, dus was er geen afstemming met K. Rechts is A zodanig op K afgestemd dat de 10 auto's bij K direct kunnen doorrijden, doordat A pas groen werd toen K ook bijna groen kon worden. Deze afstemming heeft als nadeel dat K langer groen moet blijven om hetzelfde aantal auto's te verwerken. Daardoor is de kans op filevorming groter met deze afstemming.



Figuur 105 Voorbeeld van twee afgestemde kruispunten

6.2 Mate van afstemming

Als de afstand tussen de opeenvolgende stopstrepen kleiner is dan circa 150 meter¹ en er geen belangrijke dwarsstromen zijn, dan is een 'strakke' afstemming meestal aangewezen. Zo'n strakke afstemming wordt uitgewerkt in hoofdstuk 6.2.1.

Als de tussenafstand tussen de 150 meter en de 500 m (binnen de bebouwde kom) à 750 m (buiten de bebouwde kom) ligt en er geen belangrijke dwarsstromen zijn, dan kan meestal hoogstens een 'losse' afstemming overwogen worden² (zie hoofdstuk 6.2.2). Bij deze grote afstanden is een afstemming enkel aangewezen als een simulatie heeft aangetoond dat de afstemming nauwelijks ten koste gaat van de totale gewogen verliestijd, tenzij het beleid heeft bepaald dat het auto- of fietsverkeer dat een bepaalde route volgt een hogere prioriteit moet krijgen dan al het overige verkeer.

In andere gevallen is de algehele doorstroming van het verkeer meestal meer gebaat bij voertuigafhankelijke regelingen die niet op elkaar hoeven te wachten maar een groenfase direct mogen afbreken zodra er een hiaat in de verkeersstroom valt.

6.2.1 Strakke afstemming bij kleine tussenafstand

Bij een strakke afstemming tussen kruispunten met een tussenafstand van minder dan 150 meter worden de verkeerslichtenregelingen ontworpen als één regeling met enkele deelkruispunten. Hieronder wordt steeds over een 'tweede' kruispunt gesproken, maar hetzelfde geldt telkens voor een derde, vierde, ... kruispunt. En wanneer er ook voor een hoofdstroom in tegenrichting wordt afgestemd, dan is het laatste kruispunt van een streng eigenlijk ook het eerste kruispunt van de omgekeerde beweging.

Een peloton kan ongehinderd doorrijden bij het tweede kruispunt als aan drie voorwaarden is voldaan:

1. het licht voor het tweede kruispunt is groen op het moment dat het voorste voertuig zich op remafstand daarvoor bevindt
2. én dat eerste voertuig wordt niet gehinderd door stilstaand/afrijdend verkeer afkomstig uit andere richtingen
3. én dat tweede licht blijft minstens groen tot het achterste voertuig van het peloton zich op remafstand voor dat licht bevindt.

Voldoen aan de eerste en derde voorwaarde

Voordat de regeling voertuigafhankelijk wordt gemaakt kan als tussenstap eerst een starre regeling worden ontworpen om de maximumtijden in de spitsen te bepalen. Eigenlijk wordt zo'n starre regeling ontworpen alsof het tweede licht niet bestaat. Het eerste licht moet immers voorkomen dat er op het tweede kruispunt dwarsconflicten ontstaan. Maar daarbij wordt dan wel gerekend met een 'normale' oprijversnelling en ontruimingsnelheid, dus niet met uiterst snelle of trage voertuigen: die worden indien nodig *wel* tegengehouden door het tweede licht.

Bij het voertuigafhankelijk verlengbaar maken van de groenfasen van een strak afgestemde regeling blijft het principe 'nooit voor niets voor rood' van toepassing. Mensen kunnen weliswaar voor rood komen te staan zonder dat ze conflicterend verkeer op het kruispunt zien omdat dat noodzakelijk is voor de instandhouding van de groene golf, maar afgezien daarvan wordt de regeling zo flexibel mogelijk ontworpen. Het begin van de groenfase van het eerste licht wordt tegengehouden totdat zeker is dat het

¹ CROW, Handboek verkeerslichtenregelingen 2014, p.341

² AWW-EVT, Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2010, p.48

tweede licht over x seconden groen zal zijn. Die waarde van x wordt mede bepaald o.b.v. de oprijtijd van het eerste tot aan de remafstand voor het tweede licht.

Voldoen aan de tweede voorwaarde

Maar die waarde van x wordt eveneens deels bepaald o.b.v. het aantal pae dat zich normaal gesproken al tussen het eerste en tweede kruispunt kan bevinden op het moment dat het eerste licht groen wordt. Bovendien doet een voertuig, dat voor het eerste licht gedetecteerd wordt, indien nodig een groenaanvraag bij het eerste én het tweede licht.

Bijkomende pijl

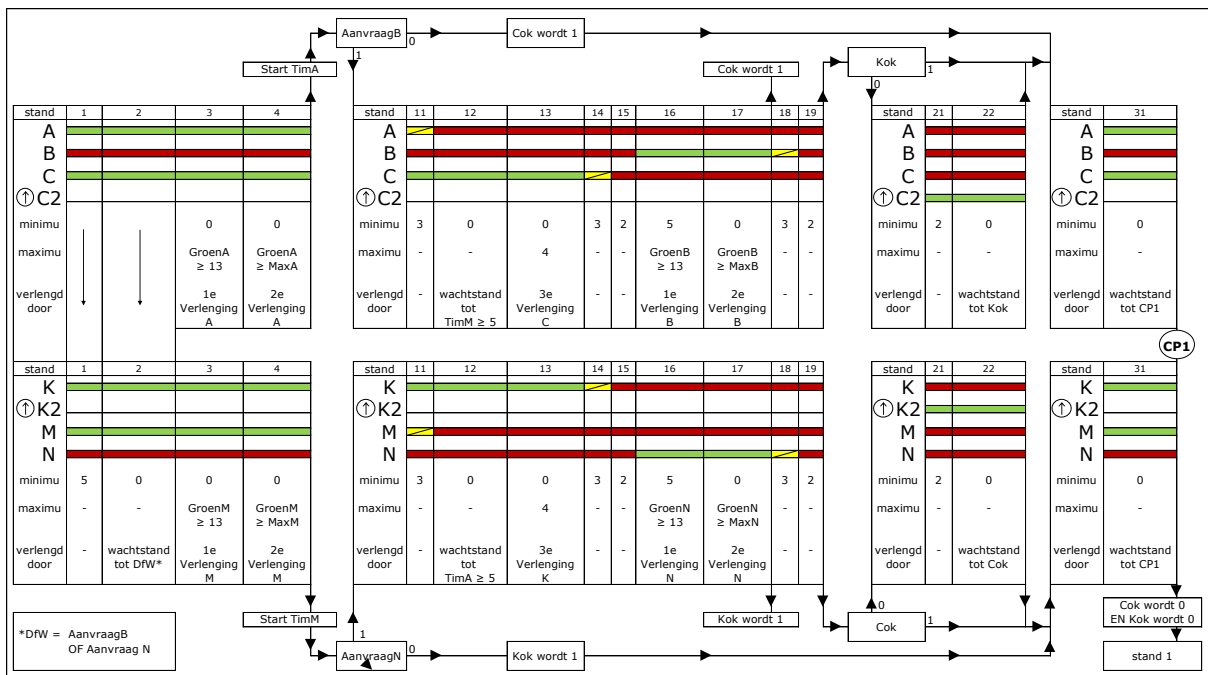
Ook verkeer dat een andere route volgt dan die waarvoor de verkeerslichten zijn afgestemd, mag niet voor niets voor rood komen te staan. Daartoe kan onder het tweede licht een bijkomende pijl rechtdoor aangebracht worden die ontbrandt wanneer dat tweede kruispunt veilig opgereden kan worden maar het eerste licht nog rood is. De bijkomende pijl brandt steeds samen met de rode volle lens erboven. De bijkomende lichten kunnen hier drie veiligheidsfuncties hebben:

1. Ze verkleinen de kans op lokgroen: de voorste automobilist voor het eerste licht zou bij het groen worden van het tweede licht kunnen denken dat hij het eerste kruispunt al op mag rijden. Daarom blijft de rode volle lens van het tweede licht minstens branden totdat ook het eerste kruispunt veilig opgereden kan worden (ook al wordt het eerste licht nog niet groen).
2. Ze voorkomen dat rechtdoorgaand, voorrangsgerechtigd verkeer een nastart krijgt ten opzichte van tegemoetkomend links afslaand, voorrangsplichtig verkeer. Door enkel een bijkomende pijl rechtdoor (en eventueel rechtsaf) te laten ontbranden en niet één linksaf, worden de linksaffers immers tegengehouden totdat ook het tegemoetkomend verkeer groen krijgt. Deze functie is niet van toepassing bij conflictvrij linksaf op het tweede kruispunt.
3. Soms hebben ze ook een waarschuwende functie omdat het eropvolgende kruispunt nog niet opgereden zal mogen worden.



Voorbeeld van strakke afstemming

Op de volgende pagina wordt een voorbeeld van een regeling met een strakke afstemming afgebeeld en toegelicht. Het is een vereenvoudigd voorbeeld aangezien er geen voetgangers- of fietserslichten zijn, er geen bussen passeren, de detectoren niet getekend zijn en de regeling waarschijnlijk niet maximaal conflictvrij is gemaakt.



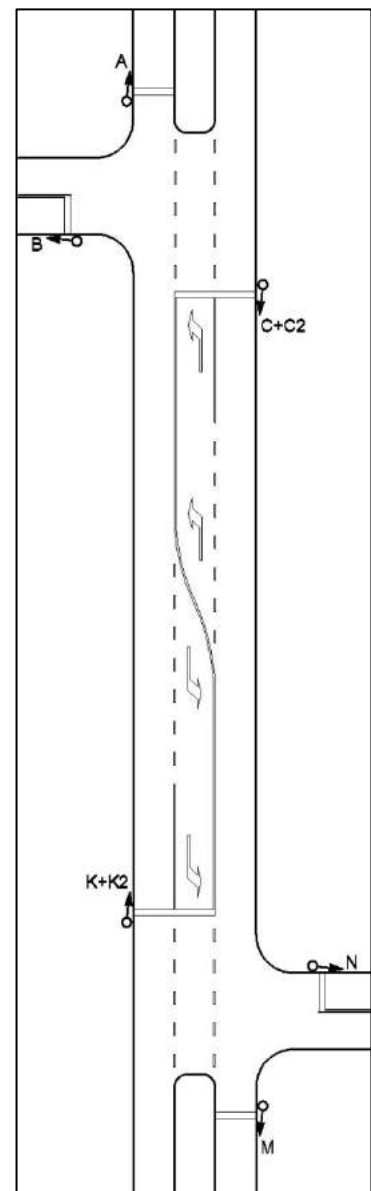
Figuur 106 Voorbeeld van een V-plan met strakke afstemming

Veronderstel dat de afstand tussen A en K 100 m bedraagt en de hoogste intensiteiten op A, C, K en M gemeten zijn. Dan lijkt een strakke afstemming wenselijk. De maximum-snelheid is 50 km/h, maar er wordt een iets lagere 'coördinatie-snelheid' van 45 km/h aangenomen. Gemiddeld rijdt men immers trager dan het maximum en wie toch vooraan 50 rijdt zal wat moeten afremmen, waardoor pelotondiffusie wordt verminderd. De remafstand bij $v = 12,5 \text{ m/s}$ en $a = 2 \text{ m/s}^2$ bedraagt $v^2/2a = 39 \text{ m}$. Het voorste voertuig moet dus uiterlijk na het afleggen van 61 m het tweede licht (C of K) groen zien worden. Bij een optrekversnelling van 2 m/s^2 en een perceptie-reactietijd van 2 s komt die maximumafstand van 61 m overeen met een maximumtijd van $2 + 39/6,25 + 22/12,5 = 10$ seconden.

De regeling voldoet dus aan de eerste voorwaarde, want de tijd tussen het groen worden van bijvoorbeeld A en dat van K bedraagt maximaal 5 seconden. Aan het eind van de groenfase van N krijgt de variabele 'Kok' de waarde '1'. Dit betekent dat het OK is voor K om binnen 5 seconden (de tussengroentijd) groening te worden, dus dat het wat K betreft OK is als A nu groen wordt.

Dit wil niet zeggen dat K daadwerkelijk binnen 5 seconden groen wordt. Want als na die tussengroentijd geldt Cok = 0 (dus wat C betreft is het nog niet OK dat M al groen wordt en ook K mag niet groen worden om een nastart te voorkomen), dan zal eerst gedurende minstens 2 seconden enkel de bijkomende pijl K5 groen oplichten. Zo worden de rechts afslaan auto's vanuit B alvast doorgelaten. Waarschijnlijk, maar afhankelijk van de intensiteiten, wordt zodoende ook aan de tweede voorwaarde voldaan. Het eerste voertuig vanuit A zal immers niet meer worden gehinderd door de rechtsaffers vanuit B.

Tot slot impliceert de derde voorwaarde dat K minstens groen moet blijven tot het laatste peloton-voertuig dat door A wordt doorgelaten 61



meter heeft afgelegd. Die afstand wordt afgelegd in $61/12,5 = 5$ seconden. Aan het eind van de groenverlenging van A wordt een timer 'TimA' gestart. Als intussen M rood is geworden, dan blijft K groen in een wachtstand tot er 5 seconden zijn verstreken sinds TimA gestart werd. Een belangrijk detail is dat die timer tijdens de groenverlenging van A niet door mag lopen maar op 0 wordt gepauzeerd.

Wanneer de 5 seconden zijn verstreken, dan is het nog niet zeker dat het laatste voertuig zijn 61 meter heeft afgelegd: het kan de stopstreep van A tijdens oranjegeel zijn gepasseerd of trager dan 45 km/h hebben gereden. Daarom wordt tot slot maximaal 4 seconden verlengd op de hiaatlus of radar van K.

Deze regelingstructuur kent een strakke afstemming in die zin dat beide deekruispunten altijd tegelijk de rusttoestand in- en uitgaan en ze in hun cyclus elk in drie wachtstanden op het andere deekruispunt kunnen moeten wachten. Toch is getracht om – binnen de drie randvoorwaarden – maximale flexibiliteit te bieden en niemand voor niets voor rood te laten staan. De gezamenlijke cyclustijd is variabel, afhankelijk van de hoeveelheid verkeer op het moment zelf. De minimumtijden zijn kort. Vlak voordat A of M oranjegeel dreigt te worden, wordt gecontroleerd of dat wel nodig is. Als er op één deekruispunt geen dwarsverkeer is, dan blijft de hoofdrichting daar groen houden door direct naar de wachtstand voor het correlatiepunt 'CPT' te springen.

6.2.2 Losse afstemming bij grote tussenafstand

Bij een tussenafstand van meer dan circa 150 meter kan een losse afstemming overwogen worden. Zo'n afstemming zorgt wel voor een vrij grote kans dat het bij aankomst aan het tweede kruispunt groen is, maar biedt geen zekerheid. Het is bij het eerste kruispunt namelijk pas te laat bekend wanneer het tweede licht zeker groen zal worden om het begin-groen van het eerste licht daarop te laten wachten.

De eenvoudigste vorm van een losse afstemming, waarmee in Vlaanderen al de meeste ervaring is opgedaan, is een klassieke 'coördinatie' met aparte, halfstarre regelingen. 'Halfstar' wil zeggen dat de regelingen per periode een vaste cyclustijd hebben, maar daarbinnen wel in beperkte mate voertuigafhankelijk kunnen verlengen of fasen kunnen overslaan, onafhankelijk van wat er op het andere kruispunt gebeurt. Door die vaste cyclustijd kan elke cyclus gestart worden door de klok, dus ook zonder permanente verbinding tussen de regelcomputers van beide kruispunten en zonder centrale aansturing blijven ze gelijke tred houden.

Deze halfstarre regelingen staan echter haaks op de huidige doelstellingen om niemand voor niets voor rood te laten wachten, om de verkeerslichten flexibel te laten reageren op het actuele verkeer en om openbaar vervoer ongehinderd doorgang te verlenen. Afstemming is geen doel op zich, maar een middel om andere doelen te bereiken. Vandaar dat bij tussenafstanden groter dan 150 meter een afstemming enkel is aangewezen als een microsimulatie heeft aangetoond dat die afstemming niet ten koste gaat van de totale gewogen verliestijd, of dat de toename van die verliestijd in redelijke verhouding staat tot de vermindering van het aantal stops. Uitzonderingen op deze regel zijn mogelijk indien het beleid heeft bepaald dat het fietsverkeer of het autoverkeer dat een bepaalde route volgt een hogere prioriteit moet krijgen dan al het overige verkeer. Er spelen veel versturende factoren bij een afstemming over grote afstand, zoals pelotondiffusie. Het enige goede hulpmiddel om de kwaliteit van een afstemming tijdens het ontwerpproces te beoordelen is een simulatie waarbij rekening wordt gehouden met dergelijke factoren (Handboek Verkeerslichtenregelingen 2014, CROW 343, p. 357).

Het ontwerp van een halfstarre regeling gebeurt in drie stappen.

Stap 1: Starre regeling

Eerst worden de afgestemde regelingen volledig star ontworpen. Met behulp van een computerprogramma zoals Vistro of Transyt wordt bepaald wat (gezien de intensiteiten, tussenafstanden en snelheden) de optimale cyclustijd is. Ook wordt bepaald wat de optimale 'groenverschuiving' of 'offset' per kruispunt is. Dit is het aantal seconden verschil tussen het starten van de cyclus van het eerste kruispunt en die van het tweede kruispunt. Dat begrip 'groenverschuiving' wordt toegelicht in het onderstaande voorbeeld.

Stap 2: Halfstarre regeling

Vervolgens worden er voertuigafhankelijke elementen in de starre regelingen aangebracht. Er wordt verlengd, fasen kunnen worden overgeslagen als er geen verkeer is en er wordt beïnvloeding door openbaar vervoer toegevoegd. Dit is een evenwichtsoefening: hoe flexibeler de regeling is hoe minder men enerzijds voor niets voor rood staat, maar ook hoe minder men anderzijds de voordelen van de afstemming ondervindt. Wanneer er bijvoorbeeld op het eerste kruispunt al 20 seconden voor het verstrijken van de maximum-groentijd geen verkeer meer uit de dwarsstraten komt, dan kan de hoofdrichting al groen krijgen, maar daardoor kunnen de eerste auto's 20 seconden te vroeg bij het tweede kruispunt arriveren en daar opnieuw voor rood moeten stoppen.

Daarom worden in principe enkel voertuigafhankelijke elementen toegevoegd die de afstemming niet slechter maken. Op het eerste kruispunt mag het groen bijvoorbeeld niet vroeger beginnen maar wel later beginnen en/of vroeger eindigen. Op het laatste kruispunt mag het groen in principe wel vroeger maar niet later beginnen.

Voor de daluren worden aparte regelingen met kortere cyclustijden en kortere maximum-groentijden ontworpen.

Stap 3: Vergelijking van voertuigafhankelijke met halfstarre regeling

De derde stap is het simuleren van de ontworpen halfstarre regelingen met een micro-simulatiemodel. Zo kan voor elke periode geëvalueerd worden of de regeling met afstemming wel minder verliestijd en stops veroorzaakt dan de regeling zonder afstemming.

Voorbeeld van een losse afstemming

De regeling van een losse afstemming wordt over het algemeen weergegeven op meerdere V-plannen: één gezamenlijk 'coördinatieplan' en per kruispunt een V-plan. Hieronder staan de ingrediënten van een coördinatieplan:

- de V-plannummers, locaties en tussenafstanden van de kruispunten,
- wanneer welk programma met welke cyclusduur moet worden ingeschakeld,
- per programma wat de groenverschuivingstijd van elk kruispunt is,
- en eventueel per programma een grafische weergave van de groenperiodes en 'groene golven' die zouden ontstaan als de kruispunten volledig star zouden draaien.

Coördinatie N16 te Bornem

1) Gecoördineerde kruispunten

K5 : N16 - Lodderstraat V.16.195/i
 K6 : N16 - Klein Mechelen V.16.196/i

2) Seinplannen

A - Niet-gecoördineerde werking
 dit programma wordt geschakeld indien:

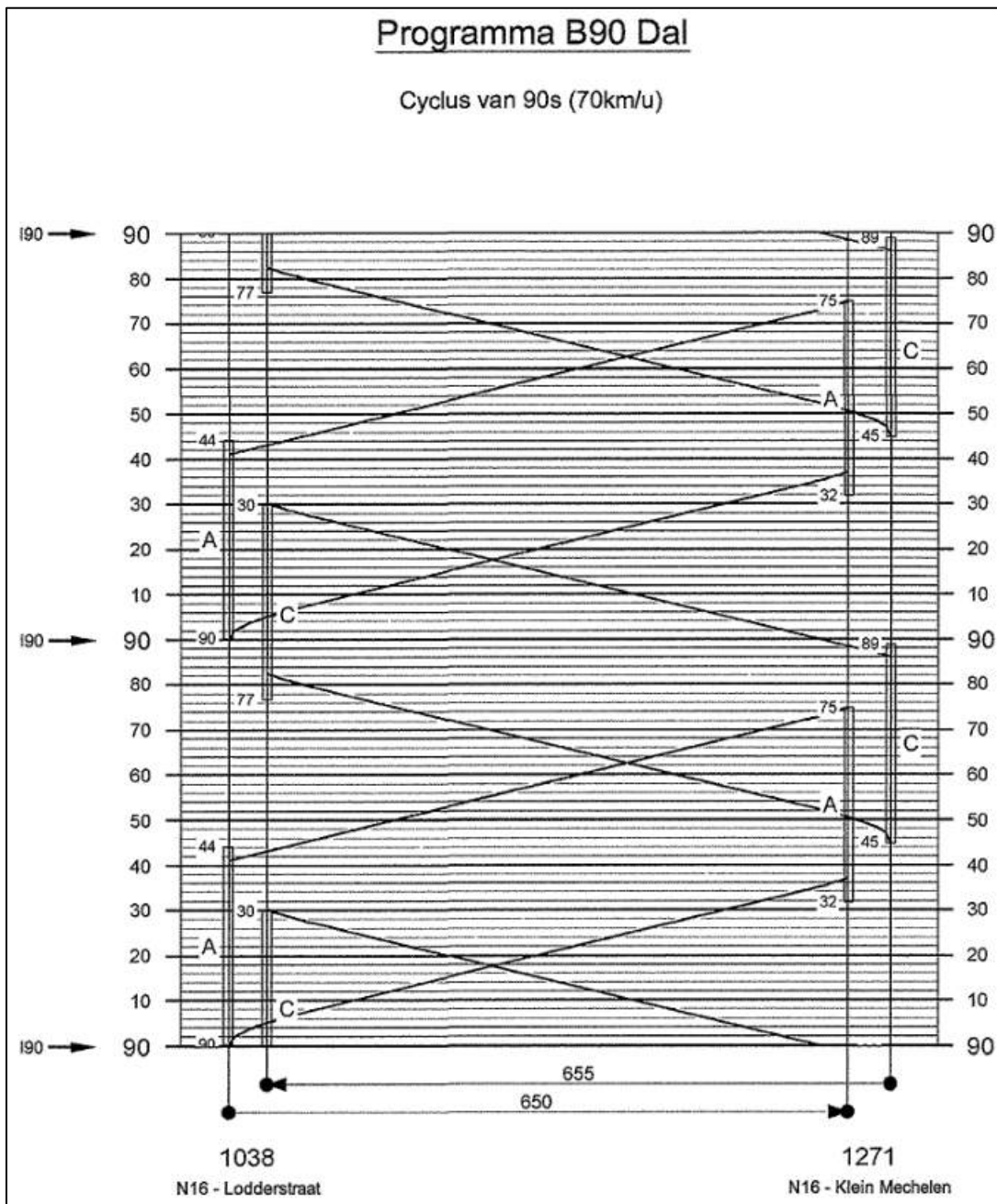
K5	K6
190	190
110	110
K6 -> KnO	K5 -> KnO
K6 gedoofd	K5 gedoofd

B - Gecoördineerde werking

Programma	Cyclusduur (s)	Groenverschuiving (GV)	
		K5	K6
B90D	90	0	45
B110M	110	0	56
B110A	110	0	56

uur \ dag	ma	di	wo	do	vr	za	zo
00h00 - 06h30	A	A	A	A	A	A	A
06h30 - 11h00	B110M	B110M	B110M	B110M	B110M	B90D	B90D
11h00 - 15h30	B90D	B90D	B110A	B90D	B90D	B90D	B90D
15h30 - 19h30	B110A	B110A	B110A	B110A	B110A	B90D	B90D
19h30 - 24h00	A	A	A	A	A	A	A

Figuur 107 Voorbeeld van een coördinatie tussen twee kruispunten – algemene informatie

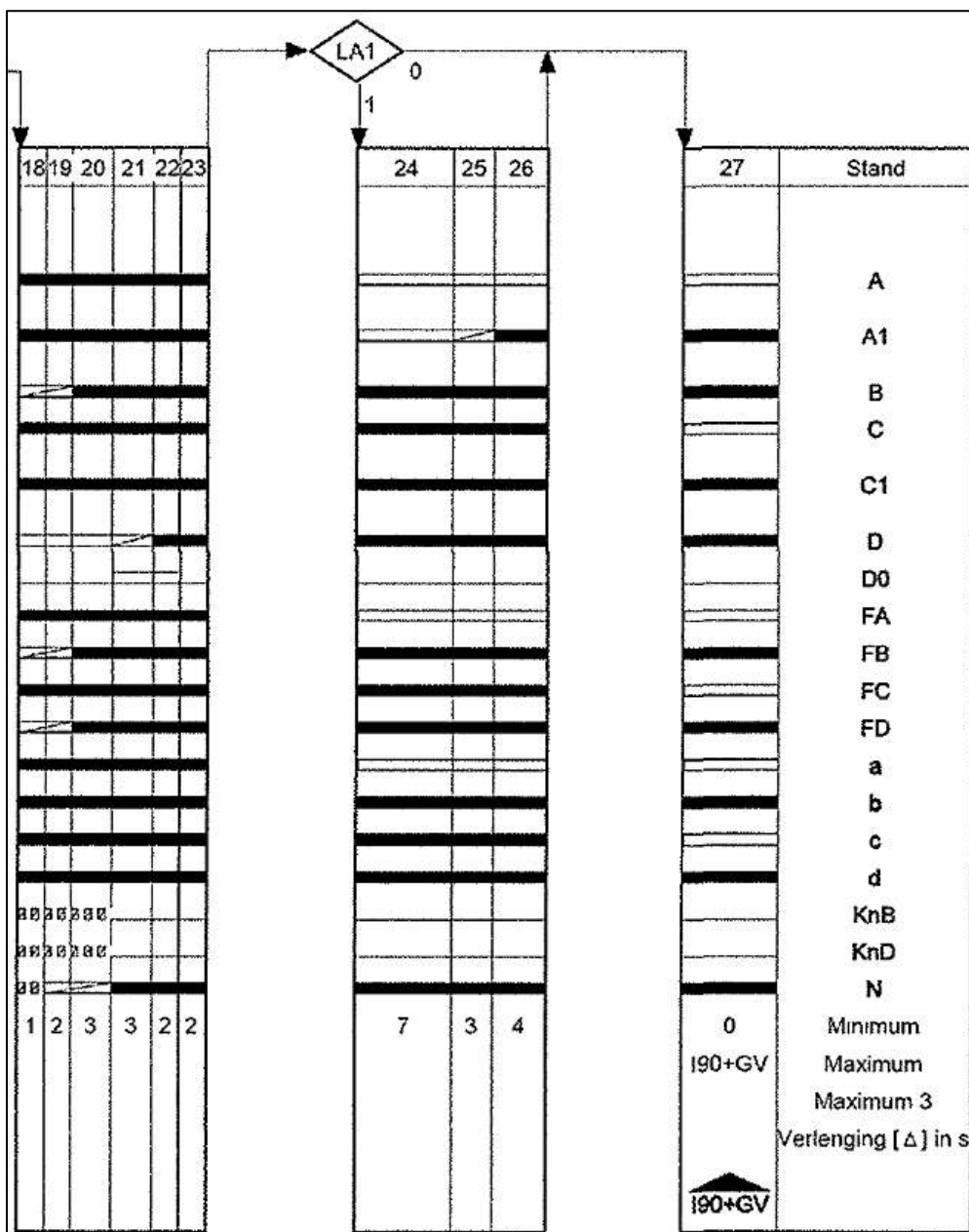


Figuur 108 Voorbeeld van een Coördinatie tussen twee kruispunten - Tijd-weg diagram

Hieronder staat een fragment van het V-plan van N16 x Klein Mechelen, namelijk het einde van de cyclus van het programma 'B90 Dal'. Als het programma volledig star zou werken (en daar gaat het bovenstaande schema van uit), dan zou A elke cyclus $7 + 3 + 4 = 14$ seconden vroeger groen worden dan C. Dat komt ongeveer overeen met het bovenstaande schema, want $45 - 32 = 13$ seconden.

De laatste stand 27 is een wachtstand tot met de volgende cyclus begonnen mag worden. Dit gebeurt iedere 90 seconden, maar een bepaald aantal seconden later dan op het andere kruispunt. Dat aantal seconden wordt de groenverschuiving genoemd, afgekort als GV. '190 + GV' betekent dus 'GV' seconden later dan een gebeurtenis die met een interval van 90 seconden gelijktijdig op elk kruispunt plaatsvindt. In dit geval heeft 'GV' een waarde van 45 seconden. Dat blijkt uit de tweede tabel van dit voorbeeld: bij programma B90D heeft dit kruispunt K6 een groenverschuiving van 45 seconden.

In het bovenstaande schema is met balkjes aangegeven wanneer de vier seingroepen A en C bij een starre werking groen zouden zijn en op schaal wat hun tussenafstanden zijn. De diagonale lijnen zijn het tijd-weg-diagram van het begin en eind van een peloton dat in theorie bij het eerste en het tweede kruispunt groen zou hebben, en dit voor beide rijrichtingen.



Figuur 109 Fragment van het V-plan van N16 x Klein Mechelen

6.3 Aandachtspunten bij afstemmingen

6.3.1 Niet permanent afstemmen

Dat voor een reeks kruispunten afgestemde regelingen zijn ontworpen, wil niet zeggen dat die kruispunten permanent op elkaar afgestemd moeten worden. Het V-plan moet ook de 'lokale' werking per kruispunt specificeren voor de periodes waarin de kruispunten niet op elkaar worden afgestemd.

- Wanneer één (deel)kruispunt door een defect oranjegeel knippert of als een noodzakelijke verbinding is weggevallen, dan moeten afstemmingen worden uitgeschakeld en valt elk (deel)kruispunt terug op zijn lokale werking.
- In oververzadigde periodes zijn de snelheden van het verkeer zodanig laag en onvoorspelbaar dat de doelstelling om auto's maar één keer tot stilstand te laten komen over het algemeen niet haalbaar is. Een afstemming kan dan nog enkel nuttig zijn om te voorkomen dat een kruispuntvlak geblokkeerd raakt.
- 's Nachts laten nadelen van een afstemming zich extra voelen. Omdat er dan nauwelijks conflicterend verkeer is, staat men langer voor niets voor rood door de starheid van een afgestemde regeling. Om die reden zou men bijvoorbeeld van 22u tot 6u voor de lokale werking kunnen kiezen. Dat kan echter tot gevolg hebben dat iemand die gewend is bij het tweede licht altijd groen te krijgen, daar door rood rijdt als hij er op een ander tijdstip rijdt dan normaal.

6.3.2 Geen volledige groene golf

Onder een 'volledige groene golf' verstaan we een afstemming waarbij iedere auto die het eerste verkeerslicht passeert, gegarandeerd niet hoeft te stoppen bij de volgende verkeerslichten als hij rechtdoor rijdt. Om eerdergenoemde redenen is dit meestal niet mogelijk of wenselijk.

Wanneer bij het afstemmen geen volledige groene golf gegarandeerd kan worden, dan is het belangrijker om het startgroen af te stemmen dan om het eindgroen af te stemmen. Immers het afstemmen van startgroen voorkomt dat wie al voor het eerste licht heeft moeten wachten nogmaals moet stoppen. Aan het einde van de groenfase ziet men vooral automobilisten die nog niet hebben moeten stoppen en die bovendien niet met de verzadigingsintensiteit maar met een minder efficiënte intensiteit over het eerste kruispunt rijden.

Bij een kleine tussenaafstand kan het afstemmen van het eindgroen daarentegen wel belangrijk zijn om het sas leeg te maken als opstelruimte voor ander verkeer.

6.3.3 Wederzijdse afstemming versus 'master-slave'

In de voorbeelden van dit hoofdstuk werden steeds gelijkwaardige kruispunten wederzijds op elkaar afgestemd. Als slechts één van de kruispunten de bottleneck kan vormen (het 'meester-kruispunt') en de andere kruispunten ruime restcapaciteit hebben, dan moeten die laatstgenoemde kruispunten slaafs volgen wat het meester-kruispunt hen opdraagt: een afstemming volgens het master-slave systeem.

Een eenvoudige verschijningsvorm van dit systeem is het steunlicht (zie hoofdstuk 7.2). Dit is een licht voor een zijstraat, enkele tientallen meters voorafgaand aan het meester-kruispunt. Het steunlicht moet ervoor zorgen dat het verkeer op de hoofdrichting regelmatig wordt tegengehouden zodat verkeer uit de zijstraat de gewestweg op kan rijden.

7 Bijzondere verkeerslichtenregelingen

7.1 Voetgangersoversteekplaatsen (VOP) of Fietsoversteekplaatsen (FOP)

In bepaalde gevallen is het aangewezen om bepaalde voetgangersoversteekplaatsen of fietsoversteekplaatsen te beveiligen met een VRI. Op die manier zal de oversteek conflictvrij verlopen, wat uiteraard veiliger is. Om de doorstroming niet onnodig te hinderen wordt er in dat geval altijd gebruik gemaakt van drukknoppen, en soms een coördinatie voorzien met nabijgelegen kruispunten.

De plaatsing van verkeerslichten is gerechtvaardigd, wanneer is voldaan aan bepaalde voorwaarden (voor de specifieke voorwaarden, zie dienstorder MOW/AWV/2011/6):

- Het volume van de voertuigen en/of voetgangers;
- De snelheid van de voertuigen;
- Het zicht;
- De soort en het aantal ongevallen;
- De moeilijkheden die bij het oversteken worden ondervonden ten gevolge van druk (auto)verkeer;
- De plaatsgesteldheid of de verkeersvoorwaarden.

Een typische plek om dergelijke VOP's aan te leggen is in de buurt van scholen. Daar wordt dan vaak een grotere groentijd voorzien dan de tijd die nodig is voor één voetganger om over te steken, omdat het dikwijls over grote pelotons gaat. Daarnaast wordt er idealiter ook een voldoende minimumgroentijd voorzien voor het overige verkeer, zodat ze niet na een paar seconden weer onderbroken wordt. Zoals bij andere VRI's kan gebruik gemaakt worden van verlengingen aan de hand van detectie en zelfs beïnvloeding door het openbaar vervoer. Wat ook mogelijk is, is verlenging van de groentijd voor de overstekende voetgangers en/of fietsers aan de hand van radardetectie.

Voor een voorbeeld van een werkingsdiagram, zie Figuur 99 of Figuur 102.

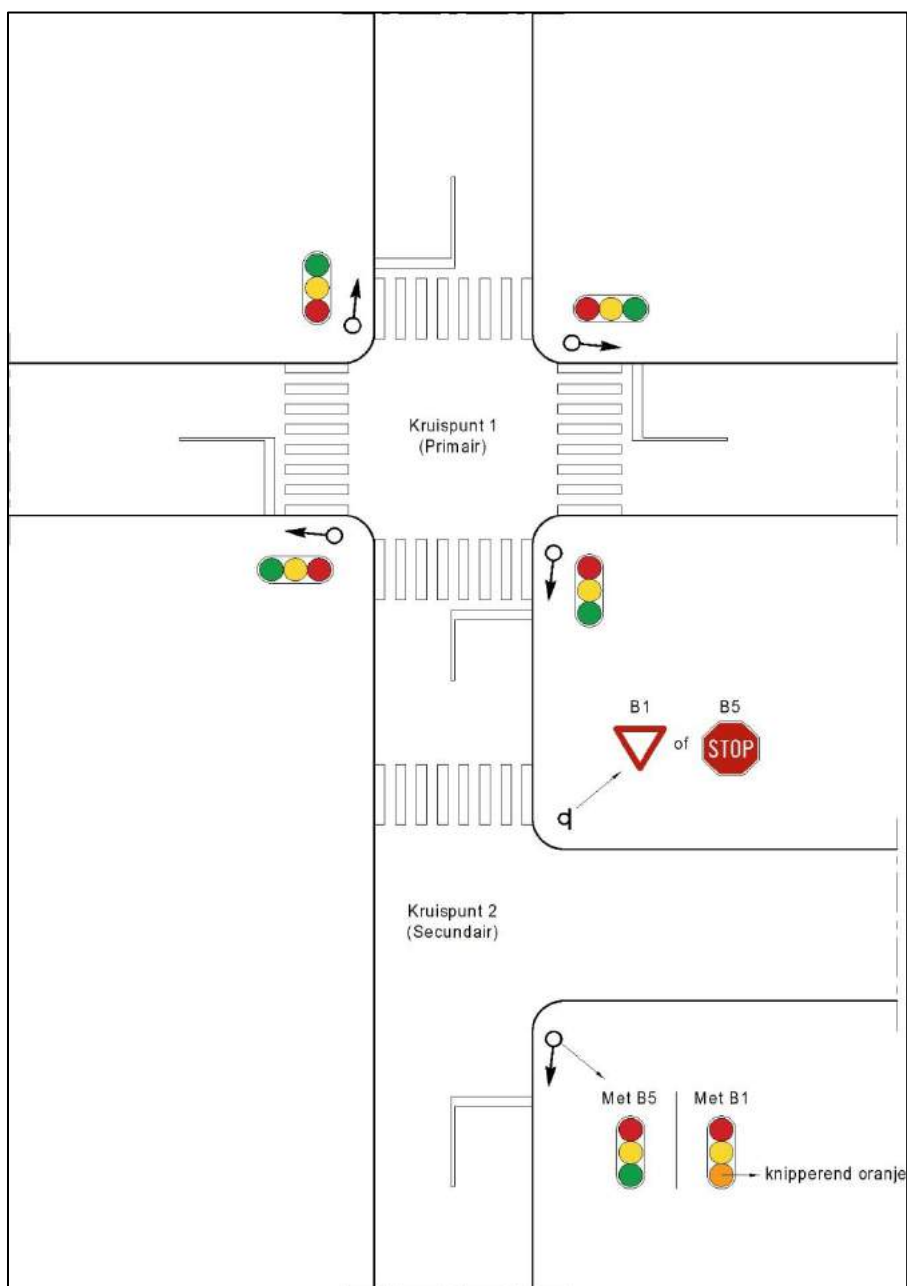
7.2 Steunlichten

Wanneer een tweede (secundair) T-kruispunt dicht bij een (primaire) kruispunt is gelegen dat volledig is uitgerust met een driekleurige signalisatie, is het meestal nuttig een zogenaamd "steunlicht" te voorzien op de secundaire tak (van het T-kruispunt) in de rijrichting naar het primaire kruispunt toe.

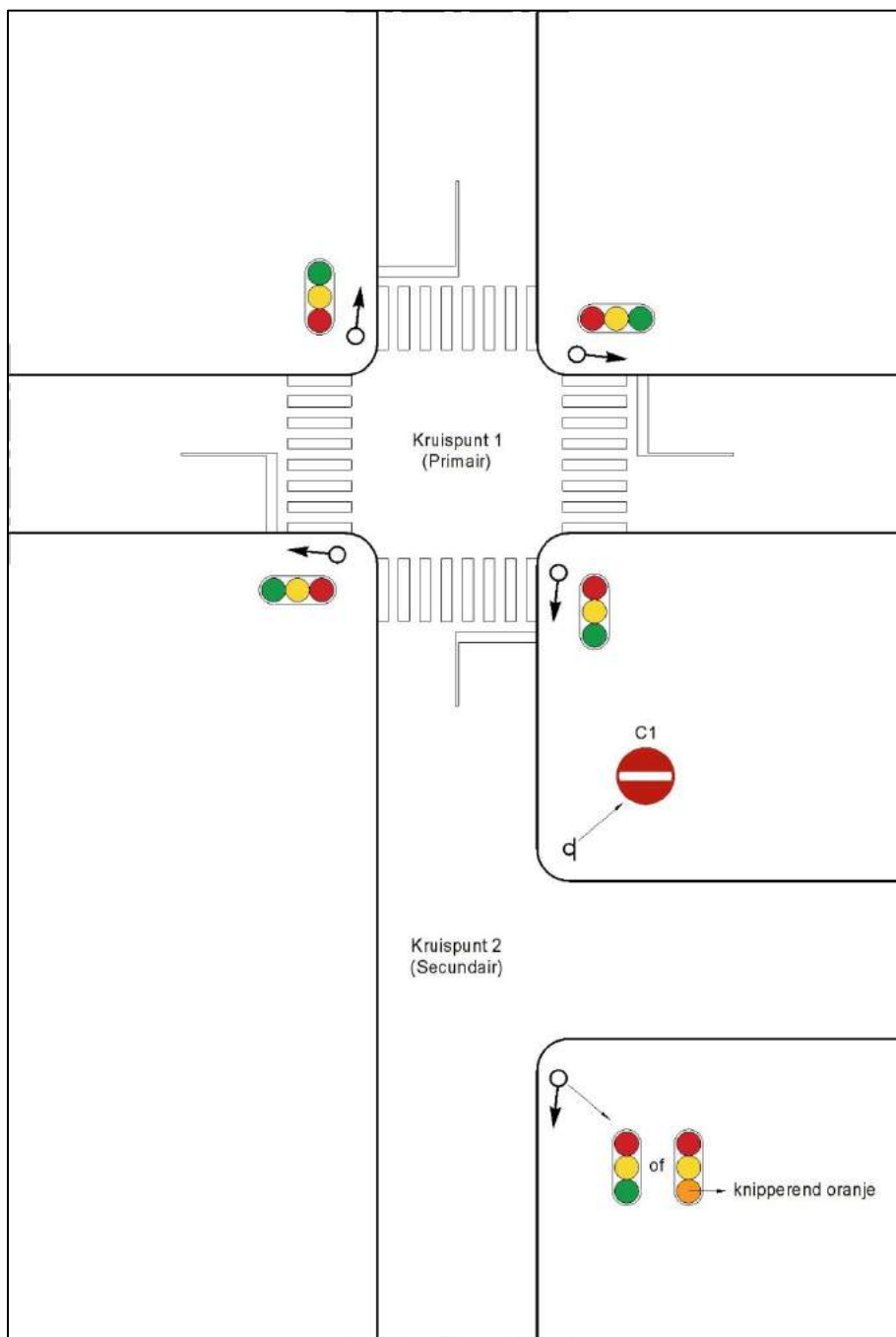
Deze regeling kan gebruikt worden om bv. het links afslaand verkeer vanaf het primaire kruispunt richting secundaire tak gemakkelijk te laten verlopen en zodoende te verhinderen dat het primaire kruispunt blokkeert. Een andere reden kan ook zijn om het verkeer vanaf de secundaire tak toe te laten de weg op te rijden naar het primaire kruispunt.

In de praktijk kan men een steunlicht plaatsen (zowel met als zonder een VOP) zoals in Figuur 110 en Figuur 111. De toegelaten afstand tussen de kruispunten is niet gespecificeerd in het verkeersreglement.

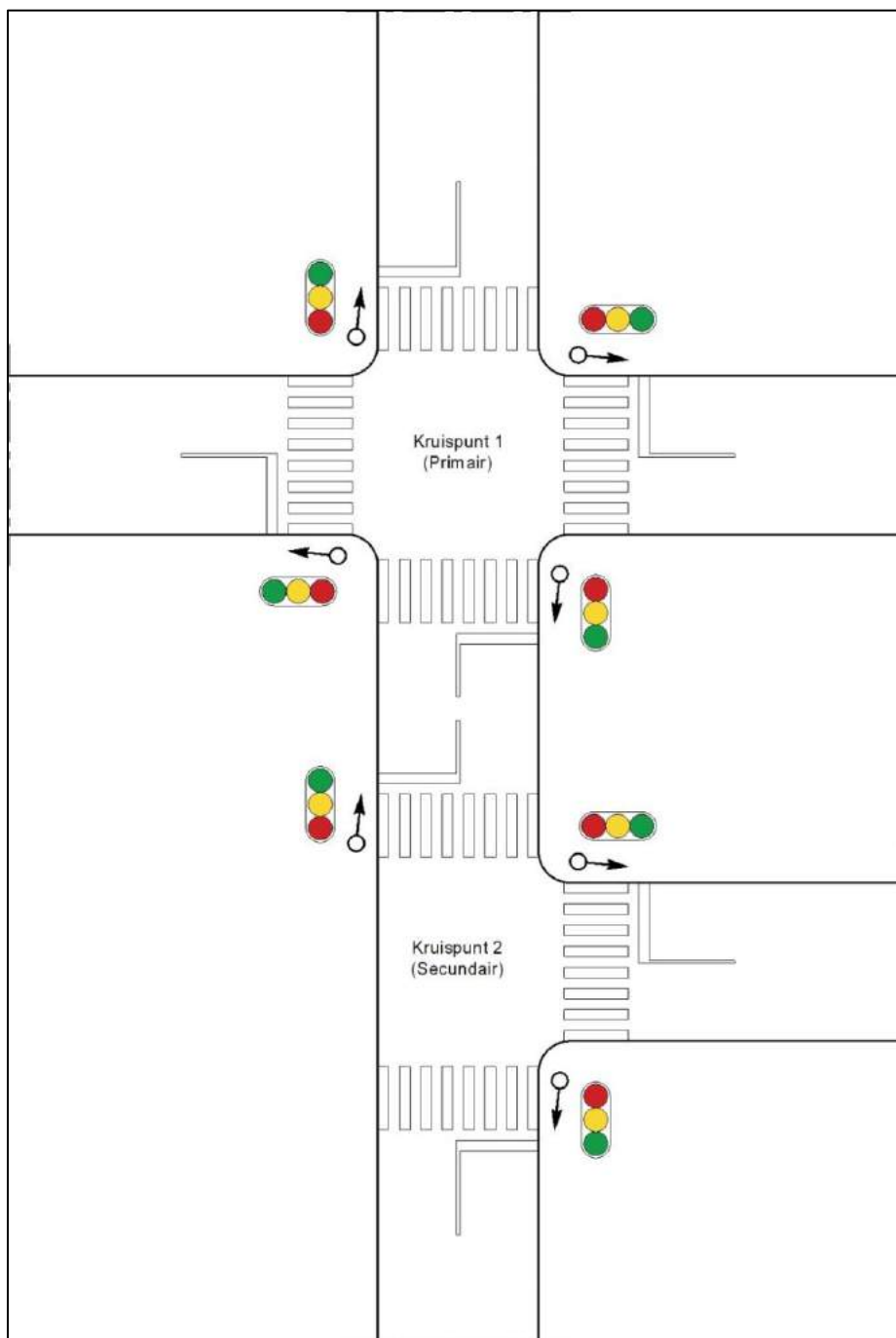
Uiteraard is het altijd mogelijk het nabijgelegen kruispunt volledig uit te rusten zoals in Figuur 112.



Figuur 110 Plaatsen van een steunlicht aan de secundaire tak (van het T-kruispunt) in de rijrichting Naar het primaire kruispunt toe. Er kan een eventuele oversteekplaats worden voorzien ter hoogte van het verkeersbord B1 of B5.



Figuur 111 Plaatsen van een steunlicht aan de secundaire tak (van het T-kruispunt) in de rijrichting naar het primaire kruispunt toe. In dit voorbeeld is er éénrichtingsverkeer in de zijtak, er kan dus enkel verkeer de zijtak inrijden. Er is geen oversteekplaats voorzien ter hoogte van het verkeersbord C1, maar dit is in de praktijk wel mogelijk (indien noodzakelijk).



Figuur 112 Het primaire en secundaire kruispunt zijn volledig uitgerust met driekleurige verkeerslichten

7.3 Oranjegeel verkeersknipperlicht

Volgens artikel 64.1.3° van het verkeersreglement kan het groene licht in een driekleurig systeem vervangen worden door een oranjegeel verkeersknipperlicht.

In artikel 5.2. van het Reglement voor de wegbeheerder wordt dit als volgt verder verduidelijkt:

Het verkeerslicht bepaald in artikel 64.1.3° van het algemeen reglement op de politie van het wegverkeer bevat van boven naar onder :

- een rood licht;
- een vast oranjegeel licht;
- een oranjegeel knipperlicht.

Het vaste oranjegele licht dat volgt op het oranjegele knipperlicht moet gedurende ongeveer 5 tot 7 seconden branden.

Dit verkeerslicht mag slechts gebruikt worden wanneer de driekleurige verkeerslichten niet passen.

Deze lichten kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt:

- Wanneer twee takken van een kruispunt niet recht tegen over elkaar liggen met als gevolg dat links afslaande voertuigen weinig zicht hebben op het tegemoetkomend verkeer;
- Ter hoogte van een VOP of FOP in de nabijheid van een dwarsende weg om de bestuurders attent te maken dat ze na de VOP of FOP kunnen geconfronteerd worden met oprijdend verkeer.
- Bij steunlichten (zie hoofdstuk 7.2)

In geval van een installatie waarin een dergelijk licht defect is, moet de installatie gedoofd worden, om te vermijden dat de weggebruikers misleid zouden worden.

7.4 Spoorwegovergangen en bruggen

7.4.1 Spoorwegovergangen

Hoewel de meeste kruispunten niet in de buurt liggen van een spoorweg, komt het toch voor dat bepaalde kruispunten in de buurt liggen van een spoorwegovergang. Het spreekt voor zich dat deze spoorwegovergang een sterke invloed uitoefent op het nabijgelegen kruispunt. Zo kan de toevoer van een tak volledig afsnijden, alsook de ontruiming van een tak onmogelijk maken. Daarom wordt vaak gebruik gemaakt van een fictieve detector, die actief wordt indien de spoorwegovergang zich sluit. Op die manier kunnen andere rijvakken van het kruispunt afgewikkeld worden totdat de spoorwegovergang weer open is. Om de overgang van de "gebruikelijke" cyclus naar de specifieke cyclus zo snel mogelijk te laten verlopen wordt vaak het niet-actief zijn van de fictieve detector gebruikt om verlengingen toe te staan, of bepaalde signaalgroepen groen te geven. Indien dit alles niet wordt uitgewerkt, zal het kruispunt wellicht niet naar behoren werken tot de overweg weer open is. In bepaalde gevallen kan dat minstens een volledige cyclus duren.

Deze beïnvloeding door de spoorwegovergang is uiteraard eenrichtingsverkeer, de werking van het kruispunt beïnvloedt nooit de werking van de spoorweg.

Enkele aanbevelingen:

- De minimumgroentijd van 5 s of de minimumgroentijd van voetgangers dient altijd gerespecteerd te worden;
- De effectieve trajecttijd van de inmelding van de trein kan opgevraagd worden bij Infrabel.

7.4.2 Bruggen

Een VRI die gelegen is in de buurt van een brug die de doorgang van het verkeer kan verhinderen (ophaalbrug, draaibrug, basculebrug,...) functioneert op veel vlakken op dezelfde manier als een VRI bij een spoorwegovergang. Het belangrijkste verschil is echter dat er geen wachtrij mag vormen op het brugwegdek. Om dit te verzekeren wordt gebruik gemaakt van slagbomen. In het geval dat de brug geopend moet worden, zal eerst een fictieve detector actief worden gemaakt, die het kruispunt en het brugwegdek zal ontruimen. Pas dan wordt de opening van de ophaalbrug gestart.

7.5 Beurtelingse doorgang van het verkeer over 1 rijstrook

In bijzondere situaties is het nuttig om met verkeerslichten een beurtelingse doorgang te regelen van één rijstrook. Dit kan het geval zijn, bijvoorbeeld ter hoogte van wegenwerken, maar ook permanent, bijvoorbeeld bij een brug met slechts één rijstrook.

Bij de Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica bestaat er een fiche die de opmaak van deze regeling beschrijft, met onder meer het berekenen van de ontruimingstijden, optimale cyclusduur en groenverdeling aan de hand van de verkeersintensiteiten.

8 Bijlagen

8.1 Referentielijst

- Webster, F.V. (1958), Traffic Signal Settings, Technical Paper No. 39. London, Road Research Laboratory.
- K.B. van 1 DECEMBER 1975. - Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg. ("het verkeersreglement").
- M.B. van 11 OKTOBER 1976. - Ministerieel besluit houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens. ("het Reglement voor de wegbeheerder").
- Akçelik, R. (1981), Traffic Signals, Capacity and Timing Analysis, ARRB Research report 123.
- Ministerie van Openbare Werken en Verkeer (1990), Ministeriële omzendbrief "Voetgangerslichten" (20-09-1990).
- Adviesgroep voor verkeersveiligheid op Vlaamse gewestwegen (AVVG) (1991), Verkeerslichten op gewestwegen (24/6/1991), ook opgenomen in dienstorder A/266.
- Vlaamse Overheid (1996), Nota voetgangerssnelheden, afdeling Verkeerskunde.
- Schotanus, T., Willems, J. (2000), LHOVRA: toverwoord voor veilige verkeerslichten ?, Verkeersspecialist, oktober 2000.
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (2002), Interne nota dienst Verkeerskunde AWW.
- IVER (2002), Detectieconfiguratie – Signaalgroepafwikkeling, IVER stuk 02-01.
- Misdorn, L., Van Der Burgt, G. (2009), Groen Op Maat, tijdschrift Verkeerskunde, juni 2009.
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (2009), Vademecum Veilige Wegen en Kruispunten.
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (2010), Ontwerp verkeerslichtenregelingen, EVT, Brussel.
- CROW (2012), ASVV 2012 - Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom (publicatie 723).
- CROW (2013), Handboek wegontwerp 2013 - Gebiedsontsluitingswegen 2013 (publicatie 330).
- Wilson A. (2014), Handboek verkeerslichtenregelingen 2014 (CROW publicatie 343).
- Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) (2017), Geïllustreerd reglement voor de wegbeheerder, Versie 30/01/2017.
- Dienstorders AWW:
- Dienstorder A/266 (1991): Richtwaarden voor de plaatsing van verkeerslichten;
 - Dienstorder 155.310/RTE.012.036 (1991) - Gewestwegen : Installaties met driekleurige verkeerslichten - Hulpsignalisatie voor visueel gehandicapten - Afhandeling van aanvragen en karakteristieken;
 - Dienstorder MOW/AWV/2008/26: Aanleg en zichtbaarheid van verhoogde verkeerseilanden en rotondes;
 - Dienstorder MOW/AWV/2012/4: Richtlijnen verhardingsbreedtes op gewestwegen;
 - Dienstorder MOW/AWV/2015/12 - Procedure voor aanvragen van voorzieningen voor blinden en slechthorenden;
 - Dienstorder MOW/AWV/2017/6 - Gekleurde wegoppervlakken voor fietsvoorzieningen - fietsgeleiding op kruispunten.

8.2 Lijst van afkortingen

afkorting	betekenis
AFTG	Alle fietsers tegelijk groen
AVVG	Adviesgroep voor Verkeersveiligheid op Vlaamse gewestwegen
AWV	Agentschap Wegen en Verkeer
BOB	Bijzonder Overrijdbare Bedding
BOV	Beïnvloeding Openbaar Vervoer
CROW	Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek (Nederland)
FOP	Fietsoversteekplaats
KAR	korte afstandsradio
KB	Koninklijk Besluit
MB	Ministerieel Besluit
MOW	Departement Mobiliteit en Openbare Werken
OFOS	Opgeblazen fietsopstelstrook
OV	Openbaar Vervoer
pae	personenauto-equivalent
PCV	Provinciale Commissie Verkeersveiligheid
TASS	Traffic Actuated Signal plan Selection
VLCC	verkeerslichten coördinatie centrale
VOP	Voetgangersoversteekplaats
VRI	verkeersreginstallatie
VWT	afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica van het AWV

8.3 Lijst met figuren

Figuur 1 Schematische voorstelling van boven- en ondergrens intensiteit bij kruispuntkeuze (Bron: Vademecum veilige wegen en kruispunten, 2010)	9
Figuur 2 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling.....	13
Figuur 3 Intensiteitsverloop van het autoverkeer tijdens een gemiddelde werkdag (Bron: Meting door AWV (2018)).....	20
Figuur 4 Voorbeeld van een kruispunttelling per kwartier.....	21
Figuur 5 Voorbeeld van een wachrijmeting	22
Figuur 6 Voorbeeld van een stroomdiagram	23
Figuur 7 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 2).....	27
Figuur 8 Ontwerp van twee tegenover elkaar liggende linksafslagbewegingen die tegelijkertijd groen kunnen hebben ("Indonesisch kruisen").....	29
Figuur 9 Ontwerp van twee tegenover elkaar liggende linksafslagbewegingen die niet tegelijkertijd groen kunnen hebben.....	29
Figuur 10 Voorbeeld van een rijstrookverbreding na de aansluiting van een bypass	34
Figuur 11 Typevoorbeelden bypass met fietsoversteek (bron: Vademecum Fietsvoorzieningen, 2017)	35
Figuur 12 Fietsgeleiding op lichtengeregelde kruispunten (bron: Dienstorder MOW/AWV/2017/6)	38
Figuur 13 Fietsgeleiding op kruispunten bij dubbelrichtingsfietspaden (bron: Dienstorder MOW/AWV/2017/6).....	39
Figuur 14 Busweg naar het kruispunt	40
Figuur 15 Busstrook voorbehouden voor bussen. Rechts afslaande voertuigen mogen tevens deze busstrook gebruiken.....	41
Figuur 16 Aanloopstrook voor bussen.....	42
Figuur 17 Verlenging busstrook tot aan het kruispunt	43
Figuur 18 Verlenging busstrook tot aan het kruispunt.....	44
Figuur 19 Set-back voor bussen.....	45
Figuur 20 Bypass bij een T-kruispunt	46
Figuur 21 Licht voor gemotoriseerd verkeer of gemengd verkeer ("Volle lens").....	48
Figuur 22 Fietzerslicht.....	48
Figuur 23 Voetgangerslicht	48
Figuur 24 Verkeerslicht voor openbaar vervoer	48
Figuur 25 Driekleurige pijllichten.....	49
Figuur 26 Volle lens in combinatie met een driekleurige pijllicht linksaf.....	49
Figuur 27 Bijkomende pijl rechtsaf.....	50
Figuur 28 Bijkomende pijl rechtdoor.....	50
Figuur 29 Ontruimingspijl.....	50
Figuur 30 Verkeersbord A33.....	53
Figuur 31 Herhalingslicht op ooghoogte voor fietsers.....	54
Figuur 32 Huidige legenda van een V-plan	55
Figuur 33 Standaard-naamgeving bij een kruispunt zonder driekleurige pijllichten.....	57
Figuur 34 Standaard-naamgeving bij een kruispunt met driekleurige pijllichten.....	58
Figuur 35 Iteratief proces van de opmaak van de basisregeling.....	59
Figuur 36 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 3).....	61
Figuur 37 Primaire (snijdende) conflicten.....	62
Figuur 38 Voorbeelden van secundaire conflicten	62
Figuur 39 Voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix.....	63
Figuur 40 Voorbeeld van de tussengroentijd tussen seingroep A en seingroep B.....	64
Figuur 41 Grondplan met aanduiding van de verschillende elementen in de berekening van de maximale afrijtijd en minimale oprijtijd	67
Figuur 42 Afrijafstand en oprijafstand bij kruisende verkeersstromen.....	69

Figuur 43 Afrijafstand en oprijafstand bij samenvoegende verkeersstromen	69
Figuur 44 Voorbeeld van een tussengroentijdmatrix	73
Figuur 45 Voorlopige inschatting van de afrijcapaciteit voor een strook met links afslaand verkeer dat niet exclusief wordt geregeld (Bron: CROW 343)	77
Figuur 46 Aantal pae's dat in een cyclus een linksafstrook kan oprijden (Bron: CROW 343)	77
Figuur 47 Voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix (idem Figuur 39)	80
Figuur 48 Voorbeeld van een conflictvrije regeling op een T-kruispunt	83
Figuur 49 Voorbeeld van een gedeeltelijk conflictvrije regeling op een T-kruispunt	84
Figuur 50 Voorbeeld van een niet-conflictvrije regeling	85
Figuur 51 Voorbeeld linksafslagbewegingen die samen groen hebben	86
Figuur 52 Voorbeeld van linksafslagbewegingen die tegelijk met het rechtdoorgaand verkeer van dezelfde tak geregeld worden	87
Figuur 53 Voorbeeld van een tak-voor-tak regeling	88
Figuur 54 Voorbeeld van een "vierkant groen"-verkeerslicht	89
Figuur 55 Voorbeeld van een aparte fase (Fase 3)	91
Figuur 56 Gemiddelde verliestijd per voertuig (s): voor kruispunten met 4 takken en 2 fasen, met gelijke duur van het groene licht en verloren tijd L van 10 seconden per cyclus (Bron: Webster)	92
Figuur 57 Interne verliestijd tussen twee groenfasen	93
Figuur 58 Voorbeeld verliestijden in een 3-fasenregeling	94
Figuur 59 Proces Kruispuntanalyse	98
Figuur 60 Stappenplan afwegingskader deelconflicten	108
Figuur 61 Bij deelconflicten is het aangewezen om fietsers- en voetgangerslichten gelijktijdig groen en rood te laten worden	111
Figuur 62 Fasediagram basisregeling	114
Figuur 63 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 5)	115
Figuur 64 Groenverlenging - basisconcept	116
Figuur 65 Voorbeeld fasediagram met timerwerking	117
Figuur 66 Voorbeeld van een fase met correlatiepunten	121
Figuur 67 Voorbeeldkruispunt met tussengroentijdmatrix en basisregeling met Drie fasen	123
Figuur 68 Fasediagram Driefasenregeling met mogelijkheid tot het overslaan van fasen	124
Figuur 69 Voorbeeldregeling van een Driefasenregeling met mogelijkheid tot het overslaan van fasen	125
Figuur 70 Voorbeeld van een keuzestructuur die het mogelijk maakt om fasen om te wisselen	126
Figuur 71 Fasediagram driefasenregeling met mogelijkheid tot het omwisselen van fasen	127
Figuur 72 Voorbeeld van een driefasenregeling met mogelijkheid tot het omwisselen van fasen	128
Figuur 73 Voorbeeldkruispunt met vier takken	129
Figuur 74 Fasediagram driefasenregeling met een extra fase voor fietsers (Fase 4) die ingepast dient te worden in de regeling	130
Figuur 75 Fasediagram driefasenregeling met de mogelijkheid tot het tussenvoegen van een extra fase (Fase 4)	130
Figuur 76 Voorbeeld van een schakellogica voor het overschakelen van programma A100D naar B90M	133
Figuur 77 Voorbeeld van de weergave van macrolussen op een V-plan	134
Figuur 78 Voorbeeld van een "KnO"-programma	134
Figuur 79 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 5)	135
Figuur 80 Opbouw detectornaam	138
Figuur 81 Voorbeeld van stopstreeplussen en hun benaming	138
Figuur 82 Voorbeelden van de standaarddetectieconfiguraties	139
Figuur 83 Voorbeelden van de standaarddetectieconfiguraties met optionele afstandslussen	140
Figuur 84 Hiaattijden gemotoriseerd verkeer aan de stopstreep van een rechtdoorgaande rijstrook (Proefproject Dendermonde, 2014)	143
Figuur 85 De verlengduur op de stopstreepluss moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de stopstreep en de hiaatlus te laten afrijden	144

Figuur 86 De verlengduur op de hiaatlus moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de hiaatlus en de afstandslus te laten afrijden	145
Figuur 87 Voorbeeld van een richtingsgevoelige lus	155
Figuur 88 De vastgroentijd moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de stopstreep en het detectievelde te laten afrijden.....	156
Figuur 89 Verkorting van een groenfase, eerste geval	159
Figuur 90 Verkorting van een groenfase, tweede geval	159
Figuur 91 Verlenging groenfase, eerste geval.....	160
Figuur 92 Verlenging groenfase, tweede geval.....	160
Figuur 93 Voorbeeldweergave op het V-plan	163
Figuur 94 Voorbeeld werkingsdiagram.....	165
Figuur 95 Fragment van een V-plan waar, in geval van DfA2, een fase wordt tussengevoegd waarin A2 kort groen is voor een passerende bus.	166
Figuur 96 Voorbeeld van een werkingsdiagram met vooraanmelding en hoofdaanmelding.....	168
Figuur 97 Voorbeelden van drukknoppen voor voetgangers.....	170
Figuur 98 Drukknop voor voetgangers met een visuele beperking.....	174
Figuur 99 Voorbeeld van een werkingsdiagram van een voetgangersoversteekplaats.....	175
Figuur 100 Werkingsdiagram voetgangers waarbij ontruimingstijd aan het einde van de groenfase wordt gerespecteerd	176
Figuur 101 Werkingsdiagram voetgangers waarbij ontruimingstijd na de minimumgroentijd wordt gerespecteerd	176
Figuur 102 Werkingsdiagram van een fietsoversteek, waarbij het groen kan verlengd worden met een lus of een radar	179
Figuur 103 Voorbeeld volledige uitrusting van tak A	180
Figuur 104 Illustratie van het tweede nadeel van een afstemming (de groentijd van K wordt onderbenut omdat er een grotere afstand ontstaat tussen de afrijdende voertuigen)	182
Figuur 105 Voorbeeld van twee afgestemde kruispunten.....	182
Figuur 106 Voorbeeld van een V-plan met strakke afstemming.....	185
Figuur 107 Voorbeeld van een coördinatie tussen twee kruispunten – algemene informatie.....	188
Figuur 108 Voorbeeld van een Coördinatie tussen twee kruispunten - Tijd-weg diagram.....	189
Figuur 109 Fragment van het V-plan van N16 x Klein Mechelen	190
Figuur 110 Plaatsen van een steunlicht aan de secundaire tak (van het T-kruispunt) in de rijrichting Naar het primaire kruispunt toe. Er kan een eventuele oversteekplaats worden voorzien ter hoogte van het verkeersbord B1 of B5.	193
Figuur 111 Plaatsen van een steunlicht aan de secundaire tak (van het T-kruispunt) in de rijrichting naar het primaire kruispunt toe. In dit voorbeeld is er éénrichtingsverkeer in de zijtak, er kan dus enkel verkeer de zijtak inrijden. Er is geen oversteekplaats voorzien ter hoogte van het verkeersbord C1, maar dit is in de praktijk wel mogelijk (indien noodzakelijk).....	194
Figuur 112 Het primaire en secundaire kruispunt zijn volledig uitgerust met driekleurige verkeerslichten	195

8.4 Lijst met tabellen

Tabel 1 Kruispunttypes (Bron: Vademecum veilige wegen en kruispunten, 2010).....	8
Tabel 2 Minimumbreedtes voor verkeerseilanden (bron: Dienstorder MOW/AWV 2008/26).....	32
Tabel 3 Oranjegeeltijden.....	65
Tabel 4 Minimale afrijshnelheden (of ontruimingssnelheden).....	71
Tabel 5 Oprijversnelling en afremvertraging.....	72
Tabel 6 Maximumsnelheden ter berekening van de kritische oprijafstand.....	72
Tabel 7 Verzadigingsintensiteiten in functie van de breedte van de rijbaan (Bron: Webster).....	74
Tabel 8 Afrijcapaciteit van fietsstroken en voetgangersoversteekplaatsen (Overgenomen uit Wilson 2014, p.150 tabel 7-9).....	95
Tabel 9 Beschrijving verzadigingsgraden.....	99
Tabel 10 Maximum wachttijden voor zwakke weggebruikers.....	106
Tabel 11 Voorbeeld voor het gebruik van timers.....	117
Tabel 12 Benodigde detectieafstand tijdens rusttoestand groen.....	119
Tabel 13 Einde van de dilemmazone voor de verschillende snelheidsregimes.....	142
Tabel 14 Bepaling afstand afstandsbus tot stopstreep.....	142
Tabel 15 Verlengduren stopstreeplus.....	145
Tabel 16 Verlengduren voor de hiaatbus.....	146
Tabel 17 Samenvattende tabel.....	146
Tabel 18 Gehanteerde minimale, maximale en gemiddelde snelheden voor trams.....	161
Tabel 19 Voorbeeld van een tabel met lijnummers.....	163

AGENTSCHAP WEGEN EN VERKEER
AFDELING VERKEER, WEGSYSTEMEN EN TELEMATICA

Graaf de Ferrarisgebouw
Koning Albert II-Laan 20 bus 4 - 1000 Brussel
Tel. 02/553 78 02
www.wegenenverkeer.be - verkeer.wegsystemen.telematica@mow.vlaanderen.be