



**Vlaanderen**  
is wegen en verkeer

# Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2026

AGENTSCHAP  
WEGEN & VERKEER

# Colofon

<b>Uitgegeven door</b>	Agentschap Wegen en Verkeer (AWV)
<b>Meer informatie</b>	Expertisecentrum Agentschap Wegen en Verkeer <a href="http://wegenenverkeer.be/verkeerslichtenregeling">wegenenverkeer.be/verkeerslichtenregeling</a> <a href="mailto:ec@mow.vlaanderen.be">ec@mow.vlaanderen.be</a>
<b>Datum</b>	23 juni 2026
<b>Depotnummer</b>	D/2026/3241/225
<b>Versienummer</b>	2026-1
<b>Redactie</b>	Intervisie V-plannen (AWV)
<b>Eindredactie</b>	Michiel van 't Hof, Winfried Casters (Expertisecentrum, AWV)
<b>Tekeningen</b>	AWV

# Voorwoord

Het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) beheert ongeveer 1.750 van de verkeerslichtengeregelde kruispunten in Vlaanderen. Voor elk van deze kruispunten zijn een verkeerslichtenregeling en grondplan opgemaakt en gebundeld in een 'V-plan'.

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.

Lang niet alle illustraties zijn opgemaakt conform de meest actuele 'Instructiebundel voor opmaak en aanlevering van technische documentatie': die is eveneens van toepassing op V-plannen en is op [wegenverkeer.be/documenten](https://wegenverkeer.be/documenten) beschikbaar.

Dit is de tweede, gedeeltelijk herziene editie van dit handboek. De volgende richtlijnen die sinds de editie daterend van 2020 van kracht zijn geworden, zijn in deze tweede editie verwerkt:

- Afwegingskader voor conflictvrij regelen in Vlaanderen
- Toepassingscriteria voor vierkant groen
- Berekeningswijze tussengroentijden
- Benaming van drukknoppen
- Vergevingsgezinde opstelling van steunen
- Detectietabel met werking bij defecte detectoren en met aansturing terugmeldingslichtjes
- Hulpsignalen voor personen met een visuele beperking
- Verlengen op meerdere lussen tegelijk en hiaattijdgrenswaarden
- Automatische detectie voor fietsers
- Beïnvloeding door openbaar vervoer en hulpdienstvoertuigen
- Verkeerslichten bij een overweg
- ITS-applicaties die iVRI's aansturen
- Programma oranjegeel knipperen
- Het tellen van rechts afslaande fietsers
- Rechtsaf/rechtdoor door rood
- Verkeerslichten op een bypass
- Vorm van OFOS (opgeblazen fietsopstelstrook)
- Basisprincipes inrichting robuust wegennet
- Afspraken Basisbereikbaarheid met De Lijn
- Richtlijn regelen conform 'Nooit voor niets voor rood'

In de toekomst zullen er, wanneer noodzakelijk, opnieuw updates gepubliceerd worden. Opmerkingen en vragen kunnen in de tussentijd via mail bezorgd worden aan het Expertisecentrum van het Agentschap Wegen en Verkeer.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1	Wanneer kiezen voor een lichtengeregeld kruispunt?	9
1.1.1	Wegcategorieën	9
1.1.2	Veiligheid	9
1.1.3	Capaciteit	10
1.1.4	Andere redenen om (niet) voor verkeerslichten te kiezen	11
1.2	Typen verkeerslichtenregelingen	11
1.2.1	Starre regeling	11
1.2.2	Voertuigafhankelijke regeling	12
1.2.3	Verkeersafhankelijke regeling	12
1.2.4	Verkeersafhankelijke programmaselectie	12
1.2.5	Optimaliserende verkeersafhankelijke regeling	12
1.2.6	ITS-applicatie voor iVRI	13
1.2.7	Op elkaar afgestemde regelingen voor meerdere kruispunten	13
1.3	Opbouw van het handboek	14
<b>2</b>	<b>Input voor opmaak van een verkeerslichtenregeling</b>	<b>17</b>
2.1	Wettelijke voorschriften, benaming V-plannen en benodigde gegevens	17
2.1.1	Wettelijke bepalingen betreffende verkeerslichtenregelingen	17
2.1.2	Naamgeving aan V-plannen	17
2.1.3	Benodigde gegevens voor een V-plan	18
2.2	Tellingen	18
2.2.1	Kruispunttellingen	19
2.2.1.1	Algemene beschrijving	19
2.2.1.2	File- en wachtrijmeting	20
2.2.1.3	Stroomdiagram	22
2.2.1.4	Kruispunttelling met gegevens uit de verkeersregelaar	22
2.2.2	Doorsnedetellingen	23
2.2.3	Prognoses	23
2.3	Overige informatie	23
2.3.1	Maximale snelheden	23
2.3.2	Informatie over bus/tramlijnen	24
2.4	Kruispuntontwerp	24
2.4.1	Rijstrookindeling	26
2.4.1.1	Lengte afslagstrook	26
2.4.1.2	Linksafstroken	26
2.4.1.3	Rechtsafstroken	28
2.4.1.4	Rijstrookvermindering na een kruispunt	28
2.4.2	Verkeerseilanden	29
2.4.3	Boogstralen	29
2.4.4	Asverschuiving	30
2.4.5	Bypass	30
2.4.6	Fietsers- en voetgangersvoorzieningen	34
2.4.6.1	Plaatsing van de verkeerslichten	34
2.4.6.2	Opstelruimtes voor het verkeerslicht en ruimte op een middenberm	36
2.4.6.3	Boogstralen van de fietsvoorzieningen	37
2.4.6.4	Directheid van de fietsers- en voetgangersvoorzieningen	37
2.4.6.5	Ruimte tussen rijbaan en fietspad	37
2.4.6.6	Markering van fietsoversteekplaatsen	37
2.4.6.7	Afstand tussen stopstreep en fiets-/voetgangersoversteekplaats	39
2.4.7	Voorzieningen voor het openbaar vervoer	39

2.4.7.1	Busweg.....	41
2.4.7.2	Busstrook.....	42
2.4.7.3	Aanloopstrook.....	44
2.4.7.4	Set-back.....	47
2.4.7.5	Bypass of overbrugging.....	48
2.4.8	Uitzonderlijk vervoer.....	49
2.4.9	Voorrangsregeling bij niet-werkende verkeerslichten.....	49
2.5	Plaatsing van de elementen van de verkeersregelininstallatie.....	50
2.5.1	Configuratie van de lantaarns en steunen.....	50
2.5.1.1	Seinen.....	50
2.5.1.2	Pijllichten en bijkomende pijlen.....	51
2.5.1.3	Steunen.....	53
2.5.1.4	Zichtbaarheid en afstand tot stopstreep.....	55
2.5.1.5	Herhalingslichten.....	56
2.5.1.6	Symbolen.....	57
2.5.2	Naamgeving aan takken en signaalgroepen op een V-plan.....	59
2.5.2.1	Naamgeving aan kruispunttakken.....	59
2.5.2.2	Naamgeving aan signaalgroepen.....	59
2.5.2.3	Naamgeving aan detectoren.....	61
<b>3</b>	<b>Het ontwerp van de basisregeling en de kruispuntanalyse: een iteratief proces.....</b>	<b>62</b>
3.1	De basisregeling: de eerste iteratie.....	65
3.1.1	Conflictmatrix.....	65
3.1.2	Tussengroentijdmatrix.....	67
3.1.2.1	Berekening van de tussengroentijd.....	67
3.1.2.2	Oranjegeeltijd ( $t_{gr}$ ).....	68
3.1.2.3	Bepaling maximale afrijtijd ( $t_{an}$ ).....	70
3.1.2.4	Bepaling minimale oprijtijd ( $t_{op}$ ).....	74
3.1.2.5	Automatische berekening van tussengroentijden.....	75
3.1.2.6	Ophoging tussengroentijden.....	77
3.1.2.7	Tussengroentijdmatrix.....	77
3.1.3	Verzadigingsintensiteiten.....	78
3.1.3.1	Invloed van de verkeerssamenstelling.....	79
3.1.3.2	Invloed van het langsprofiel.....	79
3.1.3.3	Invloed van links afslaande voertuigen.....	80
3.1.3.4	Invloed van rechts afslaande voertuigen.....	82
3.1.3.5	Zichtbaarheid van het verkeerslicht en overzichtelijkheid van het kruispunt.....	82
3.1.4	Bepaling van de conflictbelasting, het aantal fasen en de fasenvolgorde.....	82
3.1.5	Fase-indeling "Maximaal conflictvrije" regelingen.....	85
3.1.5.1	Aspecten die invloed hebben op de mogelijkheden tot conflictvrij regelen.....	85
3.1.5.2	De drie categorieën regelingen.....	86
3.1.5.3	Algemene aandachtspunten bij het opmaken van de fase-indeling.....	90
3.1.5.4	Aparte fasen voor actieve weggebruikers.....	92
3.1.6	Cyclusduur.....	94
3.1.6.1	Totale interne verliestijd (L).....	96
3.1.6.2	Minimumgroentijden van fietsers en voetgangers.....	97
3.1.7	Groentijdverdeling.....	99
3.2	Kruispuntanalyse: iteratie(s) van analyse en maatregelen.....	100
3.2.1	Analytische evaluatie.....	101
3.2.1.1	Verzadigingsgraad.....	101
3.2.1.2	Gemiddelde wachttijd voor voetgangers.....	102
3.2.1.3	Gemiddelde verliestijd.....	103
3.2.1.4	Lengte van de afslagstroken.....	104
3.2.2	Analyse o.b.v. microsimulatie.....	105
3.2.2.1	Varianten.....	105
3.2.2.2	Output.....	105
3.2.3	Afwegingskader voor maximaal conflictvrij regelen.....	105

3.2.3.1	Minimale kwaliteitseisen .....	106
3.2.3.2	Veiligheidsondergrens: verboden deelconflicten .....	107
3.2.3.3	Het iteratief ontwerpproces van maximaal conflictvrije lichtenregelingen .....	108
<b>4</b>	<b>Voertuigafhankelijke werking: Definiëring van de regelprincipes .....</b>	<b>113</b>
4.1	Verlengen en afbreken van fasen .....	115
4.1.1	Timers .....	115
4.1.2	Wachtstanden, correlatiepunten en rusttoestanden .....	116
4.1.2.1	Rusttoestand .....	116
4.1.2.2	Wachtstanden .....	118
4.1.2.3	Correlatiepunten .....	119
4.2	Beïnvloeden van de fasenvolgorde .....	120
4.2.1	Aanvragen en overslaan van fasen .....	120
4.2.2	Omwisselen en tussenvoegen van fasen .....	124
4.2.2.1	Fasen omwisselen .....	124
4.2.2.2	Fasen tussenvoegen .....	126
4.3	Programmawerking .....	128
4.3.1	Tijdgebonden programma's .....	129
4.3.2	Plaatsgebonden programma's .....	130
4.3.3	Programmabeïnvloeding door actuele tellingen (Verkeersafhankelijke programmaselectie) ..	130
4.3.4	Programma "Knipperend Oranje-Geel" .....	132
4.4	Nooit voor niets voor rood .....	132
4.4.1	Mee-aanvraag, gelijkstart en meeverlengen .....	133
4.4.2	Kort rood .....	137
4.4.3	Driekleurige pijllichten linksaf vanuit tegenovergestelde richtingen .....	139
4.4.4	Zo laat mogelijk beslissen .....	142
4.4.5	Zekerheid nodig om voor de zekerheid rood te geven .....	142
<b>5</b>	<b>Gedetailleerd ontwerp van de voertuigafhankelijke regeling .....</b>	<b>144</b>
5.1	Beïnvloeding door motorvoertuigen .....	145
5.1.1	Opbouw van de Vlaamse standaarddetectieconfiguratie bij vrije afstroom .....	145
5.1.1.1	Detectortypen .....	145
5.1.1.2	Naamgeving van detectoren voor motorvoertuigen .....	147
5.1.1.3	Vlaamse standaarddetectieconfiguratie per rijstrook bij vrije afstroom .....	147
5.1.1.4	Bepaling van hiaattijdgrenswaarden .....	148
5.1.1.5	Bepaling van lusafstanden bij vrije afstroom .....	149
5.1.1.6	Gebruik van de lussen om het groen te verlengen .....	151
5.1.1.7	Standaarddetectieconfiguratie bij vrije afstroom zonder afstandslussen .....	154
5.1.1.8	Standaarddetectieconfiguratie bij vrije afstroom met afstandslussen .....	155
5.1.2	Werkingsdiagrammen .....	156
5.1.2.1	Aanvraag van groenfase door motorvoertuigen .....	156
5.1.2.2	Werkingsdiagram van verlenging signaalgroep X bij 30 km/h of afslagstrook .....	158
5.1.2.3	Werkingsdiagram van verlenging signaalgroep X bij 50 km/h .....	159
5.1.2.4	Werkingsdiagram van verlenging signaalgroep X bij 70 km/h .....	160
5.1.2.5	Werkingsdiagram van verlenging signaalgroep X bij 90 km/h .....	161
5.1.3	Afwijken van de standaarddetectieconfiguratie .....	162
5.1.3.1	Korte rijstroken of bestaande lussen .....	162
5.1.3.2	Korte maximum-groentijden .....	162
5.1.3.3	Lus met verkeer voor meerdere signaalgroepen: (on)zekerheid .....	162
5.1.3.4	Afwijkende lengte of breedte van stopstreeplussen en overspraak .....	163
5.1.3.5	Stopstreeplussen en roodlichtcameralussen .....	163
5.1.3.6	Richtingsgevoelige detectoren .....	164
5.1.3.7	Gehinderde afstroom .....	164
5.1.3.8	Detectie bij ontruimingspijlen .....	165
5.1.3.9	Rijstroken zonder stopstreeplussen: tijdelijke verkeerslichten .....	166
5.1.3.10	Regelaars met ander takt dan 0,1-seconde-takt .....	167

5.2	Beïnvloeding door openbaar vervoer ('BOV').....	167
5.2.1	Lijst van afkortingen.....	168
5.2.2	Aanvraag van vervroegde groenfase ("afkappen").....	169
5.2.3	Extra verlenging van groenfase ("verlengen").....	170
5.2.4	Detectieconfiguraties.....	171
5.2.4.1	Inductieve lus.....	171
5.2.4.2	Selectieve lus ('Buslus' / 'Tramlus').....	172
5.2.4.3	Virtuele detector ('Virtuele lus').....	174
5.2.4.4	Drukknop.....	174
5.2.5	Werkingsdiagram.....	175
5.2.6	Bijkomende optimalisaties.....	176
5.2.6.1	Fasen omwisselen of tussenvoegen.....	176
5.2.6.2	Tweede inmeldlus op vrije bedding (enkel met virtuele lussen).....	177
5.2.6.3	Maximale inmeldafstand vergroten (enkel met virtuele lussen).....	178
5.3	Beïnvloeding door hulpdienstvoertuigen.....	178
5.3.1	Aparte fasen voor hulpdiensten.....	179
5.3.2	Overgangsfasen voor hulpdiensten.....	180
5.3.3	Afkappen en hulpdienstfase verlengen.....	180
5.4	Beïnvloeding door voetgangers.....	182
5.4.1	Aanvraag van groenfase.....	182
5.4.2	Detectieconfiguraties.....	182
5.4.2.1	Benaming drukknoppen.....	183
5.4.2.2	Werking terugmeldingslichtjes.....	184
5.4.2.3	Aansturing terugmeldingslichtjes.....	185
5.4.3	Flexibiliteit.....	185
5.4.4	Geloofwaardigheid.....	186
5.4.5	Lokgroen.....	187
5.4.6	Voetgangersvoorzieningen bij OV in eigen bedding.....	187
5.4.7	Hulpsignalen voor voetgangers met een visuele beperking.....	188
5.4.8	Werkingsdiagram.....	191
5.5	Beïnvloeding door fietsers.....	192
5.5.1	Geschikte omstandigheden voor automatische fietsdetectie.....	193
5.5.2	Typen automatische fietsdetectie.....	193
5.5.3	Toepassingscriteria voor detectieconfiguraties.....	194
5.5.4	Standaard-detectieconfiguraties voor fietsers op basis van combinaties van criteria.....	195
5.5.5	Flexibiliteit.....	199
5.5.6	Geloofwaardigheid.....	199
5.5.7	Lokgroen.....	199
5.5.8	Werkingsdiagram.....	199
5.6	Defecte detectoren.....	200
5.6.1	Criteria om een detector als defect te beschouwen.....	200
5.6.1.1	Moment van de dag.....	201
5.6.1.2	Hoe vaak actief.....	201
5.6.2	Hoe te reageren op defecte detectoren?.....	202
5.6.2.1	Aanvraag.....	203
5.6.2.2	Selectieve lussen en aanverwante fictieve detector bij exclusieve fase op aanvraag.....	204
5.6.2.3	Verlenging.....	204
5.6.2.4	Afbreken.....	206
<b>6</b>	<b>Afstemming met nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten.....</b>	<b>207</b>
6.1	Voordelen en nadelen.....	207
6.2	Mate van afstemming.....	209
6.2.1	Strakke afstemming bij kleine tussenafstand.....	209
6.2.2	Losse afstemming bij grote tussenafstand.....	212

6.3	Aandachtspunten bij afstemmingen.....	217
6.3.1	Niet permanent afstemmen .....	217
6.3.2	Geen volledige groene golf.....	217
6.3.3	Wederzijdse afstemming versus 'primaair-secundair' .....	217
<b>7</b>	<b>Bijzondere verkeerslichtenregelingen.....</b>	<b>218</b>
7.1	Voetgangersoversteekplaatsen (VOP) of Fietsoversteekplaatsen (FOP).....	218
7.2	Steunlichten .....	219
7.3	Oranjegeel verkeersknipperlicht .....	222
7.4	Spoorwegovergangen en bruggen.....	222
7.4.1	Spoorwegovergangen.....	222
7.4.2	Bruggen .....	223
7.5	Beurtelingse doorgang van het verkeer over 1 rijstrook.....	223
<b>8</b>	<b>Bijlagen .....</b>	<b>224</b>
8.1	Bronnenlijst.....	224
8.2	Lijst van afkortingen .....	226

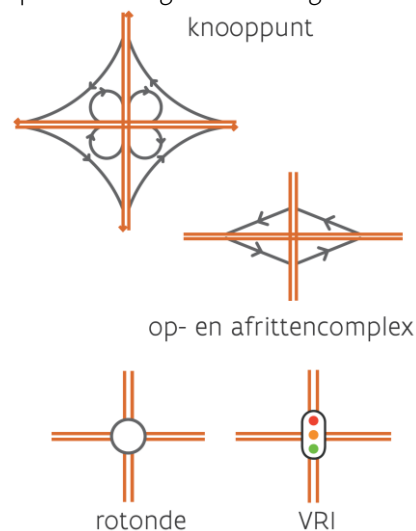
# 1 Inleiding

## 1.1 Wanneer kiezen voor een lichtengeregeld kruispunt?

### 1.1.1 Wegcategorieën

Welk kruispunttype wordt gekozen, is mede afhankelijk van de wegcategorieën van de dwarsende wegen. De categorie van een weg kan op [gis-viewer.mow.vlaanderen.be/mapstore/#/viewer/15409](https://gis-viewer.mow.vlaanderen.be/mapstore/#/viewer/15409) geraadpleegd worden. Welke kruispunttypen er overwogen kunnen worden, staat beschreven in de verschillende delen van het Vademecum weginfrastructuur (AWV, 2024), in de brochures Basisprincipes inrichting robuust wegennet (AWV, 2023) en het visiedocument voor de inrichtingsprincipes van het lokale wegennet (VMSG en AWV, 2023). Op de meeste combinaties van wegcategorieën kan onder meer een lichtengeregeld kruispunt overwogen worden. Alleen wie wegen volgt die ingericht zijn als **Europese hoofdweg** (hoogste categorie) mag geen kruispunt met verkeerslichten tegenkomen en ook de uitwisseling tussen **erftoegangswegen** (laagste categorie) onderling gebeurt niet lichtengeregeld.

Bij de kruising van twee wegen die ingericht zijn als **Vlaamse hoofdwegen** gaat de voorkeur uit naar een knooppunt. In tweede instantie kan men er opteren voor een op- en afrittencomplex. De op- en afritten sluiten dan via een verkeerslichtengeregeld kruispunt of (turbo)rotonde aan op de Vlaamse hoofdweg met de laagste doorstromingsprioriteit. De laatste mogelijkheid bestaat uit een volledig gelijkvloerse verknoping via een (turbo)rotonde of een lichtengeregeld kruispunt.



Figuur 1 Verknopingen tussen Vlaamse hoofdwegen (AWV, 2024)

### 1.1.2 Veiligheid

Uit voor- en nastudies blijkt dat kruispunten veiliger worden nadat er verkeerslichten geplaatst zijn. Echter, toen in Nederland kruispunten met verkeerslichten op basis van het aantal letselongevallen vergeleken werden met andere typen kruispunten in dezelfde intensiteitsklassen, bleken kruispunten met verkeerslichten er juist het onveiligst te zijn. Het aantal letselongevallen op kruispunten met verkeerslichten is namelijk hoger dan dat op kruispunten zonder verkeerslichten of op rotondes. Dus na het corrigeren voor intensiteit, zijn kruispunten met verkeerslichten nog steeds onveilig. Verkeerslichten worden vaak toegepast wanneer het aantal passerende motorvoertuigen te hoog is om door andere kruispunttypen verwerkt te worden. (SWOV, 2022)

Uit onderzoek blijkt dat lichtengeregelde kruispunten in Vlaanderen significant veiliger worden wanneer ze conflictvrij worden gemaakt in het kader van het Vlaams Actieplan Verkeerslichten. Het aantal zwaargewonden en doden lag 17% lager. Het totaal aantal verkeersslachtoffers daalde met 20%. (VIAS, 2022)

Uit een effect-evaluatie van de aanpak van gevaarlijke punten, bleek zelfs dat er na een aanpassing van zo'n kruispunt 27,2% minder letselongevallen gebeuren, indien de nieuwe of aangepaste verkeerslichten een (gedeeltelijk) conflictvrije regeling volgen. (VIAS, 2024)

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 of met

geregistreerde ongevallen met linksaffers, nodig zijn om linksaf-bewegingen conflictvrij te regelen in een verkeerslichtenregeling.

### 1.1.3 Capaciteit

---

De capaciteit van het **lichtengeregelde** kruispunttype is nagenoeg oneindig, voor zover de ruimte voor afslagstroken onbeperkt is. In de volgende hoofdstukken wordt onder meer beschreven hoe het benodigde aantal afslagstroken wordt bepaald.

Voor de capaciteitsberekening van turbotondes en gewone **rotondes** als alternatieve kruispunttypen, kan op [wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling](http://wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling) een rotondeverkenner gedownload worden.

Of de capaciteit van een **voorrangsgeregeld** kruispunt voldoet voor de gegeven intensiteiten (of dat er bijvoorbeeld verkeerslichten noodzakelijk zijn) wordt als volgt<sup>1</sup> bepaald.

1. Bepaal een prognose van de intensiteiten per kwartier; zie paragraaf 2.2. Rechts afslaande fietsers die op het kruispunt de beschikking hebben over een fietspad, worden hier niet meegeteld.
2. Bepaal wat de vier drukste uren van de dag zijn, bijvoorbeeld 7:30-8:30, 8:30-9:30, 16:00-17:00 en 17:00-18:00.
3. Bepaal wat het drukste uur van de dag is, bijvoorbeeld 7:45-8:45.
4. Bereken voor de vijf bovenstaande uren een prognose van de **hoofdintensiteit**. Dat is het aantal personenauto-equivalenten uit de twee hoofdtakken (inclusief fietsers) plus het aantal voetgangers dat de dwarsstak(ken) oversteekt.
5. Bereken voor de vijf bovenstaande uren een prognose van de **dwarsintensiteit**.
  - a. Intensiteiten van weggebruikers uit dwarsstakken die de hoofdtakken **in twee keer** kunnen dwarsen (dankzij een voldoende brede middenberm) worden vermenigvuldigd met 0,8.
  - b. Indien het aantal voetgangers dat de hoofdweg oversteekt kleiner is dan de helft van het aantal personenauto-equivalenten uit de dwarsstak(ken), dan is de dwarsintensiteit gelijk aan het aantal personenauto-equivalenten uit de dwarsstak(ken) inclusief fietsers.
  - c. Zo niet, dan is de dwarsintensiteit gelijk aan het aantal voetgangers dat de dwarsstak(ken) oversteekt, plus de helft van het aantal personenauto-equivalenten uit de dwarsstak(ken) inclusief fietsers.

Indien zich op een afstand van minder dan 750 meter een lichtengeregeld kruispunt bevindt, dan wordt de dwarsintensiteit verdubbeld.

6. **Binnen de bebouwde kom:**
  - a. Indien in het **drukste uur** van de dag geldt dat  $(2,718^{800/\text{hoofdintensiteit}}) \times 120 \leq \text{dwarsintensiteit}$ , dan **kan een voorrangsgeregeld kruispunt onwenselijk zijn** uit oogpunt van capaciteit.
  - b. Indien in elk van de **vier drukste uren** geldt  $(2,718^{800/\text{hoofdintensiteit}}) \times 100 \leq \text{dwarsintensiteit}$ , dan **is een voorrangsgeregeld kruispunt** in de regel **ongeschikt** uit oogpunt van capaciteit.
7. **Buiten de bebouwde kom:**
  - a. Indien in het **drukste uur** van de dag geldt dat  $(2,718^{800/\text{hoofdintensiteit}}) \times 100 \leq \text{dwarsintensiteit}$ , dan **kan een voorrangsgeregeld kruispunt onwenselijk zijn** uit oogpunt van capaciteit.
  - b. Indien in elk van de **vier drukste uren** geldt  $(2,718^{800/\text{hoofdintensiteit}}) \times 80 \leq \text{dwarsintensiteit}$ , dan **is een voorrangsgeregeld kruispunt** in de regel **ongeschikt** uit oogpunt van capaciteit.

---

<sup>1</sup> Dit criterium is grotendeels gebaseerd op de 'Richtwaarden, uit oogpunt van capaciteit, voor de plaatsing van verkeerslichten en toelichting hierbij' (AVVG, 1991)

## 1.1.4 Andere redenen om (niet) voor verkeerslichten te kiezen

---

- 👉 Enkel verkeerslichten zijn in staat om openbaar vervoer prioriteit te verlenen, zonder dat daarvoor een aparte busbaan moet worden gereserveerd.
- 👉 Enkel verkeerslichten kunnen gebruikt worden om bepaalde verkeersstromen dynamisch te bevorderen of gedoseerd door te laten, zonder dat voor een bijsturing de infrastructuur aangepast moet worden.
- 👉 Een lichtengeregeld kruispunt is over het algemeen beter fysiek inpasbaar in dichtbebouwde omgeving dan een rotonde of ongelijkvloerse oplossing.
- 👉 Een lichtengeregeld kruispunt vergt een kleinere investering en kost minder tijd om aan te leggen dan een ongelijkvloerse oplossing zoals een op- en afrittencomplex.
- 👉 Over het algemeen kan uitzonderlijk vervoer eenvoudiger passeren via verkeerslichten dan via een rotonde.
- 👉 Een lichtengeregeld kruispunt heeft hogere jaarlijkse exploitatiekosten.
- 👉 Een lichtengeregeld kruispunt is minder geschikt dan een rotonde om een snelheidsvermindering voor conflictpunten af te dwingen en om de grens van de bebouwde kom te benadrukken, dus om een poorteffect te creëren.
- 👉 Bij drukke keerbewegingen is een rotonde geschikter dan een lichtengeregeld kruispunt.
- 👉 Een lichtengeregeld kruispunt heeft buiten de spitsuren een hogere gemiddelde verliestijd dan andere kruispuntoplossingen. Opgeteld over een hele dag is de totale verliestijd voor alle weggebruikers hoger.

## 1.2 Typen verkeerslichtenregelingen

De verschillende typen verkeerslichtenregelingen worden hier kort besproken, vooraleer er op sommige typen dieper ingegaan zal worden verderop in dit handboek. Het onderscheid tussen de typen is niet scherp en er zijn allerlei mengvormen mogelijk.

### 1.2.1 Starre regeling

---

Historisch gezien waren de eerste verkeerslichtenregelingen voor individuele kruispunten regelingen die met de hand werden bediend. Vanaf ca. de jaren '20 van de 20<sup>ste</sup> 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 deze 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. Daarom werd overgeschakeld naar voertuigafhankelijke regelingen.

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

## 1.2.2 Voertuigafhankelijke regeling

---

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.

Niet zozeer de hoeveelheid verkeer maar de aan-/afwezigheid van een voertuig (of voetganger) bepaalt bij een voertuigafhankelijke regeling of een licht groen wordt. Ook hoe lang het licht groen blijft wordt er niet bepaald door wachtende voertuigen te tellen, maar door de vraag of er bijvoorbeeld de afgelopen drie seconden een voertuig gedetecteerd werd op een bepaald punt.

Een voertuigafhankelijke regeling verzorgt een betere verkeersafwikkeling bij fluctuerende intensiteiten dan een starre regeling, kan vermijden dat men nodeloos voor rood moet wachten en kan de doorstroming van het openbaar vervoer extra bevorderen.

## 1.2.3 Verkeersafhankelijke regeling

---

Een verkeersafhankelijke regeling reageert niet zozeer op de aan- of afwezigheid van één voertuig, maar op het totale verkeersproces. Een verkeersafhankelijke regeling telt bijvoorbeeld hoeveel voertuigen er al staan te wachten op de verschillende richtingen om te bepalen in welke volgorde die richtingen groen moeten krijgen. Ook kan een verkeersafhankelijke regeling het groene licht blijven aanhouden als die weet dat veel gedetecteerde weggebruikers daar baat bij hebben, ook al valt er een hiaat van meer dan drie seconden in de verkeersstroom. Een verkeersafhankelijke regeling vereist dat weggebruikers al op geruime afstand voor het kruispunt gedetecteerd worden.

## 1.2.4 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 verkeersdruk. Dan kan bijvoorbeeld ook onderscheid gemaakt worden tussen een drukke-avondspitsprogramma en een rustige-avondspitsprogramma.

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 paragraaf 4.3.3.

## 1.2.5 Optimaliserende verkeersafhankelijke regeling

---

Een optimaliserende verkeersafhankelijke regeling streeft real-time naar een optimum. Hij houdt er bijvoorbeeld rekening mee hoeveel voertuigen er al lang staan te wachten en hoeveel er nog naderen, en maakt een optimale afweging voor het totale verkeer dat zich aandient. Hij minimaliseert bijvoorbeeld de verliestijden en/of het aantal stops van de weggebruikers door een 'doelfunctie' te optimaliseren waarin de relatieve gewichten van alle doelstellingen zijn bepaald. De wegbeheerder kan de doelfunctie wijzigen om een groter relatief gewicht toe te kennen aan de wachtrijlengte, de wachttijd, de verliestijd en/of het aantal stops van een bepaalde vervoerwijze in een bepaalde richting. Zo kan hij de actuele beleidsdoelstellingen rechtstreeks vertalen naar de lichtenregeling. Daarnaast kan de wegbeheerder de randvoorwaarden bepalen waarbinnen de regeling moet optimaliseren, onder meer om de veiligheid van de weggebruikers te garanderen.

## 1.2.6 ITS-applicatie voor iVRI

---

Een iVRI (geconnecteerde verkeersregelininstallatie) kan ook communiceren met voertuigen die zich niet in het detectiegebied van een detector bevinden, maar die via een internetverbinding hun locatie en richting doorgeven. Zo kan hij bijvoorbeeld prioriteit verlenen aan een naderend hulpdienstvoertuig. De ITS-applicatie is het stuk software dat die voertuiggegevens ontvangt, ze combineert met de gegevens van fysieke detectoren en op basis daarvan de verkeerslichten op één of meer kruispunten aanstuurt. De iVRI 'weet' dus beter dan een conventionele verkeersregelininstallatie hoeveel verkeer eraan komt en wat voor verkeer het is. Bovendien kan de ITS-applicatie informatie versturen over wanneer een verkeerslicht waarschijnlijk groen zal worden of waarom het licht langer rood blijft, zodat een scherm in/op het voertuig die informatie aan de bestuurder kan tonen.

De ITS-applicatie kan het karakter hebben van een optimaliserende verkeersafhankelijke regeling. Hij kan dan dus prioriteren, informeren en optimaliseren.

## 1.2.7 Op elkaar afgestemde regelingen voor meerdere kruispunten

---

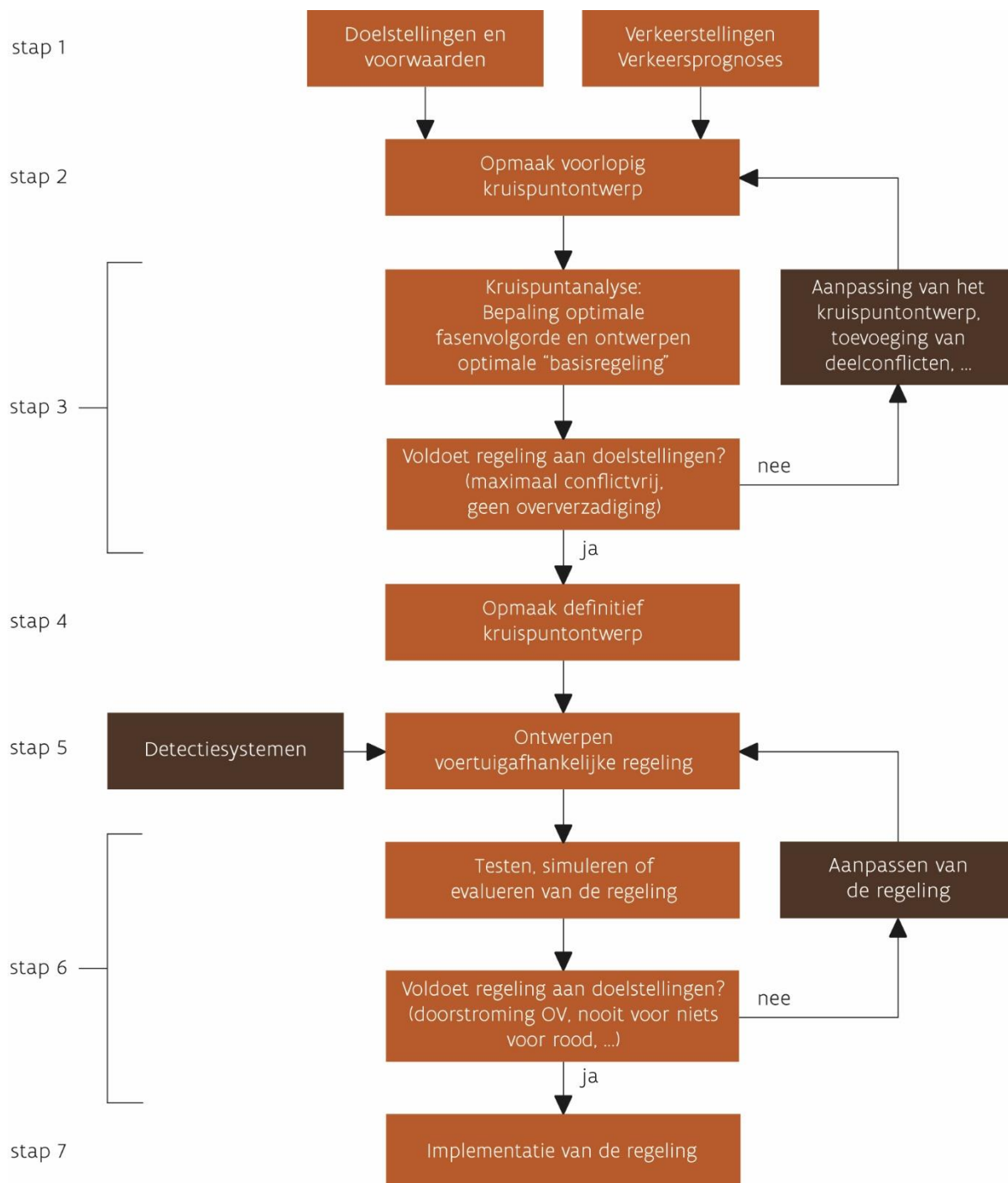
Alle bovenstaande typen verkeerslichtenregelingen kunnen ook toegepast worden om de lichten op meerdere dicht bij elkaar gelegen kruispunten aan te sturen in onderlinge afstemming. Het kan gaan om een streng van kruispunten, of zelfs om een heel netwerk. Door die afstemming kan voor een groter deel van de bestuurders vermeden worden dat ze meermaals voor rood moeten stoppen. Ook kan de afstemming voorkomen dat de wachtrij voor een kruispunt zich opbouwt tot op een stroomopwaarts gelegen kruispunt en dat het kruisingsvlak daar geblokkeerd zou raken of dat groentijd er niet benut zou worden. Op welke wijze de regelingen van de kruispunten op elkaar worden afgestemd kan verschillen afhankelijk van de noden ter plaatse:

- Een 'halfstarre regeling' is een grotendeels voertuigafhankelijke regeling, maar met een vaste 'cyclustijd'. Door de opeenvolgende kruispunten dezelfde cyclustijd te geven en hun groenperiodes op elkaar af te stemmen op basis van de klok, blijven ze in hetzelfde ritme werken en moeten minder voertuigen meermaals stoppen, zonder dat de regelingen met elkaar moeten communiceren.
- Vaak worden de regelingen echter zodanig op elkaar afgestemd dat de status van het ene kruispunt naar het andere kruispunt wordt doorgegeven. Dit heeft als voordeel dat de cyclustijd en verliestijden korter zijn wanneer het rustiger wordt.
- Twee (of meer) kruispunten kunnen elkaar beïnvloeden. Dit wil zeggen dat het bereiken van een bepaalde stand van de lichten op het ene deelkruispunt, een reactie tot stand brengt in de verkeerslichten op het andere deelkruispunt, maar ook omgekeerd. In dat geval spreken we van wederzijdse afstemming.
- Soms is de hiërarchie in deelkruispunten echter duidelijk, en moet een bepaald (drukker) kruispunt altijd de leiding nemen. In dat geval spreken we van een primair-secundair-afstemming. Het primaire kruispunt zal dan de cyclus doorlopen en input geven aan het secundaire kruispunt, dat gedwee zal volgen.
- Een mogelijke 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 kan een groene golf verkeerskundig noodzakelijk zijn, 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, want er zijn vaak ook belangrijke nadelen aan verbonden. Deze voorwaarden en nadelen worden in hoofdstuk 6 "Afstemming met nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten" beschreven.

## 1.3 Opbouw van het handboek

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 verkeerslichtenregeling te komen.



Figuur 2 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling

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, kunnen bepaalde stappen worden overgeslagen of vereenvoudigd worden.

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

### **Stap 1 (paragraaf 2.1 tot en met 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 de opzet van de aanpassing van dit kruispunt? Zijn er bepaalde randvoorwaarden of doelstellingen waarmee rekening gehouden moet worden bij de opmaak van het kruispuntontwerp of verkeerslichtenregeling? Voorbeelden van doelstellingen zijn:
  - Veiligheid van de fietsers of van bepaalde voertuigbewegingen verhogen, bijvoorbeeld 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 (paragraaf 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 steunen 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 (paragraaf 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 werd reeds een analytische evaluatie gedaan en die 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, complexe 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 verzadigingsgraad op belangrijke takken en de wachttijden van actieve weggebruikers onaanvaardbaar hoog te laten oplopen en/of problematische 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 opmaak van een verkeerslichtenregeling

### 2.1 Wettelijke voorschriften, benaming V-plannen en benodigde gegevens

#### 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, ook wel de wegcode of het verkeersreglement genoemd (KB, 1975). Op 1/6/2027 wordt deze vervangen door de federale 'Code van de openbare weg' (KB, 2024) plus het 'Vlaams verkeersreglement' (Besluit VR, 2024).
- Het Ministerieel Besluit waarin de minimum-afmetingen en bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens worden bepaald, beter gekend als het 'Reglement voor de wegbeheerder' (MB, 1976). Ook hiervan gaat een nieuwe versie in voege op 1/6/2027.

Deze besluiten kunnen op [www.wegcode.be](http://www.wegcode.be) geraadpleegd worden. Het is noodzakelijk dat men voor het ontwerpen van kruispunten of lichtenregelingen op de hoogte is van alle relevante bepalingen; niet enkel van het hoofdstuk 'Verkeerslichten'. Ook in andere hoofdstukken staan namelijk bepalingen die voor lichtengeregelde kruispunten essentieel zijn, bijvoorbeeld over het oversteken van een weg en over het vrijhouden van kruispunten.

Wanneer een tram de rijbaan gebruikt, moet de bestuurder de wegcode volgen wat de verkeerslichten betreft. Een buschauffeur moet de wegcode volledig volgen. Speciale verkeersregels voor OV-bestuurders staan in een apart koninklijk besluit. (KB, 1976)

Daarnaast is achterliggend het internationale 'Verdrag van Wenen inzake verkeerstekens' van belang. Op [wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling](http://wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling) staat de versie zoals goedgekeurd bij wet in België.

#### 2.1.2 Naamgeving aan V-plannen

Binnen het Agentschap Wegen en Verkeer gelden er enkele afspraken voor een eenduidige manier van naamgeving aan V-plannen van kruispunten op Vlaamse gewestwegen.

##### 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. Dit volgnummer wordt binnen AWV voor nieuwe kruispunten toegekend door de applicatie Animelda.
- **Fase:** V006979v00 = steeds 1 letter, klein geschreven. Dit kan zijn:

v = gewoon verkeersplan

c = coördinatieplan

x, y, z = (her)inrichtingsvoorstellen, lussen- en steunenplan

w = werfplan

s = specificatie voor een ITS-app

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

### 2.1.3 Benodigde gegevens voor een V-plan

---

De volgende gegevens zijn nodig om een V-plan op te maken.

- een gemotiveerde aanvraag;
- een PCV-beslissing indien nodig (bijvoorbeeld bij het plaatsen van een nieuwe VRI);
- een uitvoeringsplan met ook alle markeringen;
- resultaten van een kruispunttelling of doorsnedetelling niet ouder dan 3 jaar, of een prognose (zie paragraaf 2.2);
- de maximum toegelaten snelheden die op de kruispunttakken zullen gelden;
- gegevens voor beïnvloeding door het openbaar vervoer: lijnvoering, frequentie en ligging haltes;
- in geval van een werfsituatie: grondplan met aanduiding voorziene omleidingen, werfzone, nog toegelaten rijrichtingen, informatie over start en einde van werffasen, gegevens rond invloed van omleidingen op nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten.

## 2.2 Tellingen

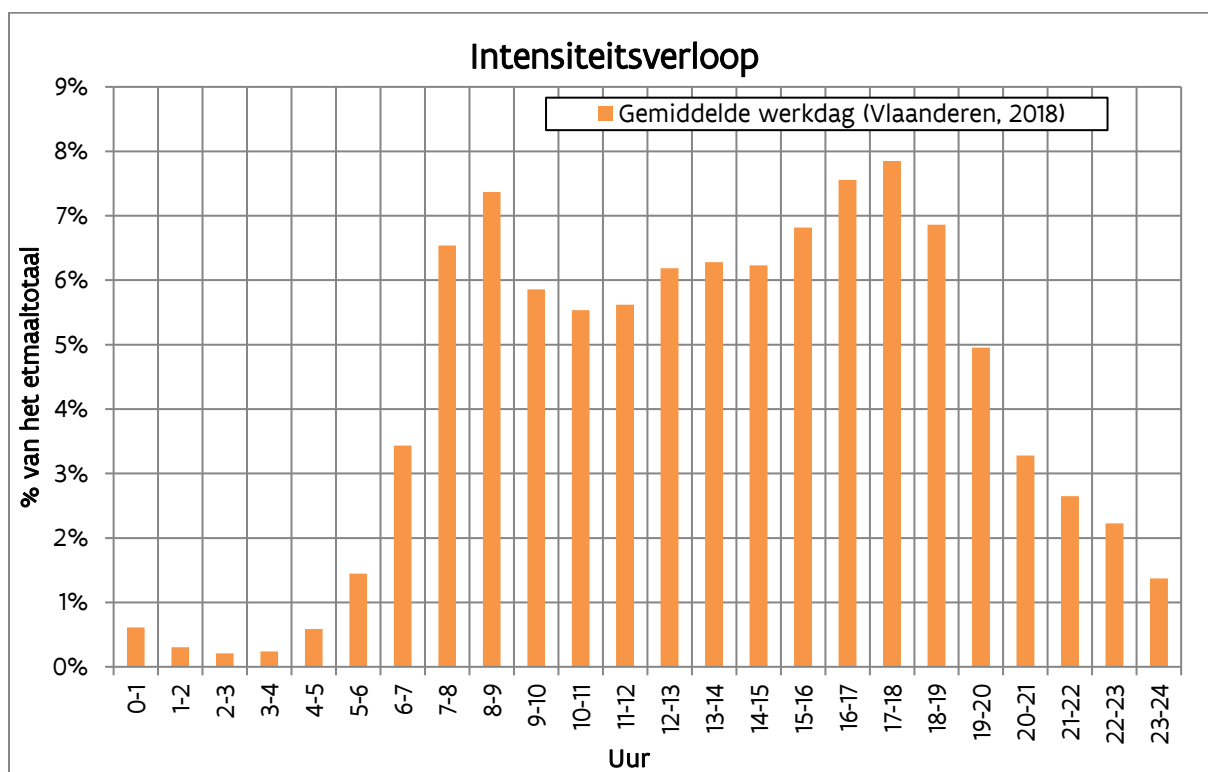
Een kruispunt dat uitgerust is of wordt met verkeerslichten kent een bepaalde hoeveelheid verkeer die wordt aangeboden. Het is van belang dat deze hoeveelheden verkeer gekend zijn om een gepaste verkeerslichtenregeling te ontwerpen. De zogenaamde 'intensiteit' in de context van het verkeer betekent een bepaald aantal verkeerseenheden dat in een bepaalde tijdperiode een bepaald punt passeert in een bepaalde richting. Er kan dus een intensiteit bepaald worden voor een bepaalde rijstrook, kruispunt, beweging, oversteek, ...

Deze intensiteiten kunnen sterk variëren naargelang de periode waarin er geteld 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 zaterdag 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 zijn er doorgaans meer motorvoertuigen en minder fietsers;
  - Tijdens de schoolvakanties zijn de intensiteiten gemiddeld lager (echter op sommige locaties zijn de intensiteiten net hoger, zoals in toeristische gebieden).

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.



Figuur 3 Intensiteitsverloop van het autoverkeer tijdens een gemiddelde werkdag (Bron: Meting door AWW (2018))

## 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). Voor iedere oversteek en voor iedere combinatie van herkomst- en bestemmingstak, worden het licht vervoer (auto's, lichte bestelwagens, motoren), het zwaar vervoer (vrachtwagens, bussen), de fietsers en voetgangers geteld. 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.

Wanneer een verkeerslichtenregeling vooral *langdurige* oververzadiging moet voorkomen (zie het afwegingskader in paragraaf 3.2.3), dan kan de intensiteit over een langere periode als maatgevend beschouwd worden, bijvoorbeeld de som van de acht achtereenvolgende kwartieren met de hoogste totale intensiteit. Door de som van die acht kwartierintensiteiten door twee te delen, verkrijgt men dan een maatgevende uurintensiteit voor de betreffende spitsperiode. Deze som is altijd een onderschatting van de hoogste verkeersbelasting die een kruispunt te verwerken krijgt, aangezien de intensiteit in het drukste kwartier aanmerkelijk hoger is dan de gemiddelde intensiteit over meerdere kwartieren. 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 enkele kwartierintensiteiten afwijkend hoog kunnen zijn t.o.v. het gemiddelde over een langere periode.

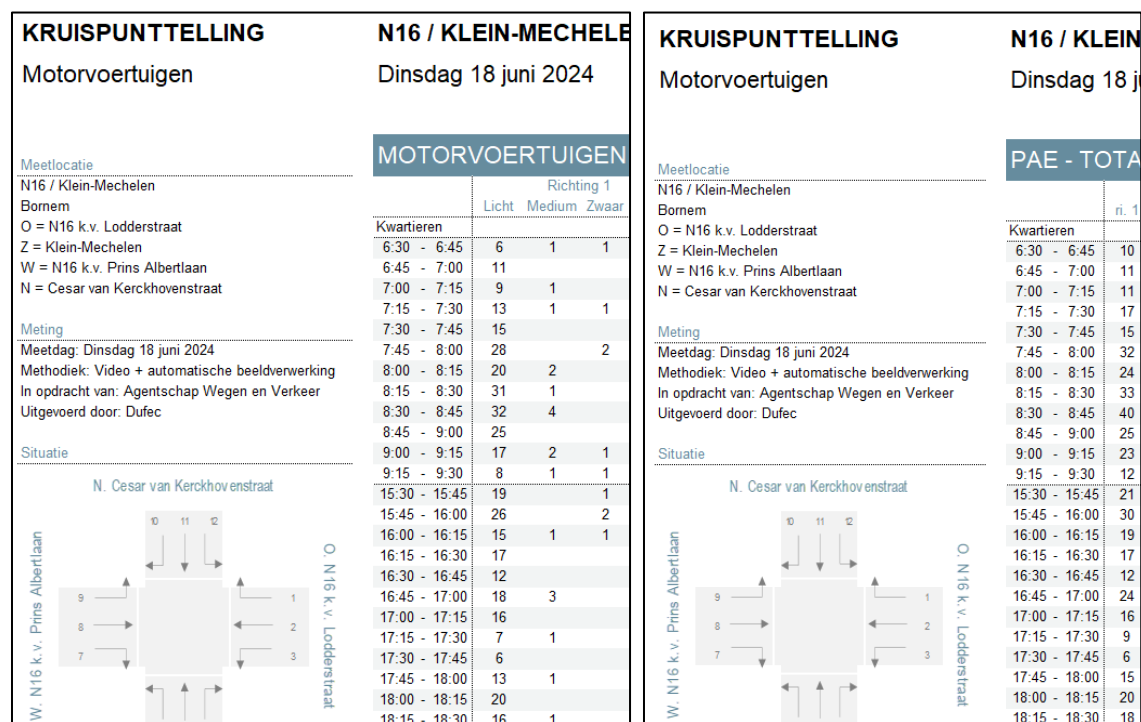
De meest belangrijke periodes voor kruispunttellingen zijn dan ook de ochtend- en avondspits. Gelet op de eerdergenoemde variaties in verkeersintensiteiten, is het noodzakelijk om deze tellingen uit te voeren op een werkdag bij goede weersomstandigheden, op een dinsdag of donderdag tijdens het schooljaar tijdens de ochtend- en avondspitsuren. Om per spits zeker de acht drukste achtereenvolgende kwartieren geteld te hebben, wordt er standaard drie uur per spits geteld: van 6u30 tot 9u30 en van 15u30 tot 18u30, uitzonderingen daargelaten. Als vermoed wordt of als uit een doorsnedetelling blijkt dat een andere

periode van de week (zoals zaterdagmiddag) drukker is dan de doordeweekse ochtend- en avondspits of dat de intensiteitsverhoudingen sterk afwijken, dan dient ook in die andere periode geteld te worden.

De intensiteiten van het gemotoriseerd verkeer (licht vervoer en zwaar vervoer) worden uitgedrukt in personenauto-equivalenten per uur (pae/u), soms ook wel personenwageneenheden per uur (pwe/u) genoemd. Standaard wordt elk middelzwaar en zwaar voertuig meegeteld als 2,0 pae, maar afhankelijk van het doel kan ook een andere waarde gehanteerd worden. Voor fiets- en voetgangersoversteken worden de intensiteiten per oversteek bepaald. Ook rechts afslaande fietsers worden standaard geteld, want hun aandeel is bepalend voor de locatie van fietsdetectie.

Soms kan het daarnaast nuttig zijn om het aantal links afslaande fietsers (die twee oversteekbewegingen maken) apart te tellen, bijvoorbeeld omdat vierkant groen wordt overwogen of omdat in de fase-volgorde rekening wordt gehouden met de totale wachttijd op het kruispunt. Dit tellen is echter complexer (dus over het algemeen duurder) en wordt niet standaard uitgevoerd.

Wanneer fietsers meerijden met het gemotoriseerd verkeer, kunnen zij ook worden uitgedrukt in personenauto-equivalenten per uur: tweewielers tellen dan mee als een halve pae. Afhankelijk van de situatie is het soms voordelig om naast de kwartierwaarden 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.



Figuur 4 Fragment van een kruispunttelling van motorvoertuigen per kwartier en van de bepaling van het aantal pae

### 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" (of "overstaan") indien een weggebruiker meermaals voor hetzelfde verkeerslicht heeft moeten wachten.

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 ieder kwartier de wachtrijlengte te laten meten.

Meetlocatie		WACHTRIJLENLNGTE PER TAK EN VOORSORTEERSTROOK											
		Tak Oost			Tak Zuid			Tak West			Tak Noord		
		←Li	Re→	←Li	Re→	←Li	Re→	←Li	Re→	←Li	Re→		
<b>N16 / Klein-Mechelen</b> Bornem O = N16 k.v. Lodderstraat Z = Klein-Mechelen W = N16 k.v. Prins Albertlaan N = Cesar van Kerckhovenstraat		Kwartieren 6:30 - 6:45 6:45 - 7:00 7:00 - 7:15 7:15 - 7:30 7:30 - 7:45 7:45 - 8:00 8:00 - 8:15 8:15 - 8:30 8:30 - 8:45 8:45 - 9:00 9:00 - 9:15 9:15 - 9:30 15:30 - 15:45 15:45 - 16:00 16:00 - 16:15 16:15 - 16:30 16:30 - 16:45 16:45 - 17:00 17:00 - 17:15 17:15 - 17:30 17:30 - 17:45 17:45 - 18:00 18:00 - 18:15 18:15 - 18:30 Uren 7:00 - 8:00 8:00 - 9:00 16:00 - 17:00 17:00 - 18:00 Perioden 6:30 - 9:30 15:30 - 18:30											
<b>Meting</b> Meetdag: Dinsdag 18 juni 2024 Methodiek: Waarnemers op locatie In opdracht van: Agentschap Wegen en Verkeer Uitgevoerd door: Dufec		10 80 80 35 55 85 35 80 80 0 80 80 35 125 125 7:45 - 8:00 35 125 125 8:00 - 8:15 35 80 80 8:15 - 8:30 35 125 110 8:30 - 8:45 35 125 125 8:45 - 9:00 10 150 150 9:00 - 9:15 30 80 80 9:15 - 9:30 5 35 40 15:30 - 15:45 10 170 170 15:45 - 16:00 20 125 125 16:00 - 16:15 25 170 170 16:15 - 16:30 35 170 170 16:30 - 16:45 25 125 125 16:45 - 17:00 5 170 170 17:00 - 17:15 20 170 170 17:15 - 17:30 25 170 170 17:30 - 17:45 0 125 125 17:45 - 18:00 0 85 85 18:00 - 18:15 30 170 170 18:15 - 18:30 0 170 170 5 10 10 125 125 20 80 80 20 125 125 5 20 30 80 80 10 15 20 125 125 35 100 100 80 125 125 30 25 35 125 125 10 5 35 100 100 80 125 125 10 15 20 125 125 35 100 100 10 20 20 185 185 5 20 5 10 0 180 180 220 220 5 20 0 180 180 0 5 20 25 25 180 180 20 220 220 30 25 80 125 125 25 220 220 0 10 25 10 20 25 10 20 10 35 55 20 50 35 60 20 25 10 35 25 50 5 20 30 20 25 25 35 60 35 25 30 60 35											
<b>Situatie</b> 		Legend Li = Meest linker voorsorteerstrook Re = Meest rechter voorsorteerstrook											
<b>Toelichting</b> Gepresenteerde wachtrijlengte is de maximale wachtrijlengte per tijdsinterval afgerond op 5 meter. Wanneer geen onderscheid naar voorsorteerstroken aanwezig is, is de gemeten wachtrijlengte bij de meest rechter voorsorteerstrook gepresenteerd.													

Figuur 5 Voorbeeld van de resultaten van een wachtrijmeting

Doe vervolgens het volgende voor elk gemeten kwartier van de spits, voor elke richting waar wachtrijopbouw relevant kan zijn.

- Bereken de kwartierintensiteit in pae per rijstrook. Dus deel de gemeten intensiteit van een richting door het aantal betrokken rijstroken, als dat er meerdere zijn. (De volgende stappen kunnen ook automatisch door de 'Prognosetool wachtrijen' op [www.wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling](http://www.wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling) verricht worden.)
- Bereken de wachtrijtoename *in meter*, door de wachtrijlengte in dit kwartier af te trekken van de wachtrijlengte in het volgende kwartier. Een negatief resultaat betekent een wachtrijafname. In het laatste kwartier wordt een toename van 0 meter verondersteld.
- Bereken de wachtrijtoename *in pae*, door de wachtrijtoename *in meter* te delen door gemiddeld 7 meter per pae.
- Tel deze wachtrijtoename in pae op bij de intensiteit per rijstrook van datzelfde kwartier.
- De resulterende intensiteitsvraag kan gebruikt worden om een regeling te ontwerpen voor de gemiddelde intensiteit van de drukste twee uur en om voor elk kwartier een prognose te maken van de wachtrijlengte om te controleren of die geen veiligheidsproblemen zal veroorzaken.

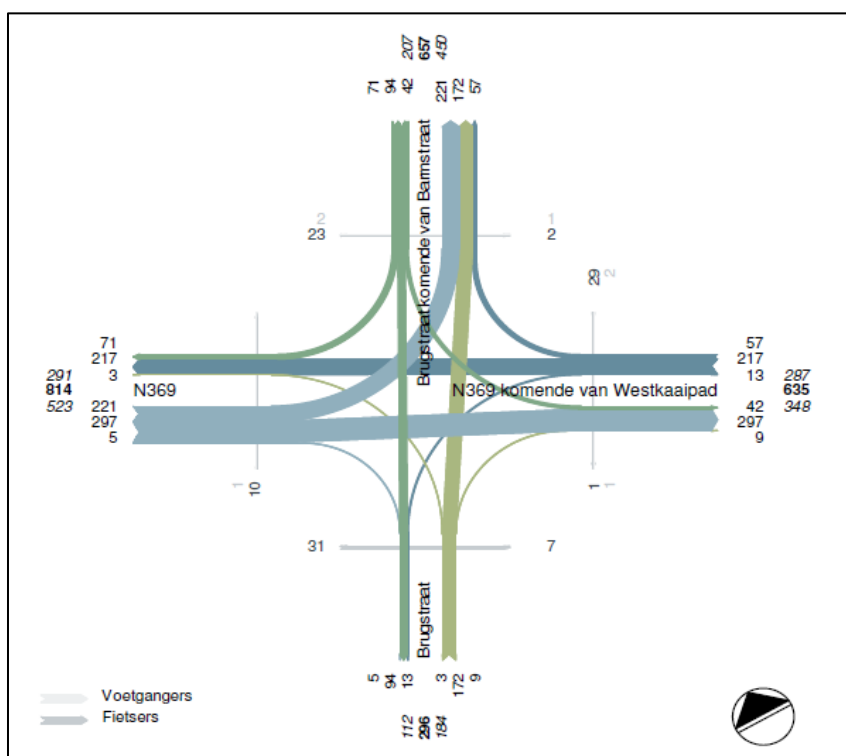
Deze berekeningswijze veronderstelt dat de wachtrijen niet langer zijn dan de betreffende afslagstroken. Waar dat wel het geval is, moet daar handmatig voor gecorrigeerd worden voor een juist resultaat.

### 2.2.1.3 Stroomdiagram

Een kruispunttelling in de spitsperiodes bevat vaak een telling per kwartier over meerdere uren. Voor verkeerslichtenregelingen kiest men er echter vaak voor om de maatgevende uurintensiteit te gebruiken om de regeling te ontwerpen. Die uurintensiteit per richting kan men 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 gemaakt. 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 van groot 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.



Figuur 6 Voorbeeld van een stroomdiagram

### 2.2.1.4 Kruispunttelling met gegevens uit de verkeersregelaar

Het lijkt efficiënt om met behulp van de loggegevens die detectielussen van een VRI genereren, een kruispunttelling op te maken. Uit vergelijkend onderzoek door het Verkeerscentrum in 2026 bleek echter dat deze loggegevens vooral onbetrouwbare telresultaten opleveren:

- De intensiteiten zullen onvolledig zijn bij gecombineerde rechtsaf-rechtdoorstroken, voetgangersstromen en veel fietsersstromen;
- De praktijk leert dat er vaak gaten voorkomen in de loggings, dus er is toch veel werk nodig om de minst onbetrouwbare periodes weg te filteren;
- Omdat niet iedereen aan het begin van een afslagstrook begint met voorsorteren kan een voertuig twee afstandslussen of twee hiaatlussen activeren, of juist geen van beide. De stopstreeplussen lijken dus het minst onbetrouwbaar, maar ook daar kan bijvoorbeeld overspraak voorkomen: een groot voertuig op de ene rijstrook kan een lus op de naastgelegen rijstrook activeren;

- Detectielussen meten het aantal voertuigen, niet het aantal “pae”; dit kan eventueel gecorrigeerd worden met historische gegevens maar biedt geen nieuw aandeel vrachtwagens;
- Ook als er geen camerabeelden of tellers ter plaatse zijn, dan moet men er zeker van zijn dat de resultaten niet (sterk) werden beïnvloed door bijvoorbeeld wegwerkzaamheden, een ongeval of uitzonderlijk laden/lossen;
- De lage betrouwbaarheid van deze telmethode kan deels worden verhoogd wanneer een andere bron (bijvoorbeeld een kruispunttelling van een paar jaar eerder) de orde van grootte van elk van de intensiteiten bevestigt.

Kortom: VRI-lussen mogen niet zomaar gebruikt worden als een alternatief voor tellingen. Als uit een onafhankelijke telcampagne blijkt dat bepaalde lussen wel nauwkeurig tellen, dan zijn ze voor die locatie wel bruikbaar.

## 2.2.2 Doorsnedetellingen

---

Doorsnedetellingen worden uitgevoerd met apparatuur die de intensiteiten op een bepaalde rijstrook, weghelft of rijbaan meet. 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.

Een kruispunttelling in de spitsuren kan 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 naast 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. De actuele snelheidsregimes kunnen worden afgeleid uit de Verkeersbordendatabank, een observatie op het terrein en/of een consultatie van recente beelden uit een 360°-beeldendatabank. 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-vervoersvervoerwijzen prioritair behandeld moeten worden ter hoogte van lichtengeregelde kruispunten.

Hiervoor zijn gedetailleerde gegevens nodig:

- De vervoerslaag (Kernnet / Aanvullend net / Vervoer-op-maat);
- De frequentie (enkel in de spits of overdag minimaal eens per uur);
- Indien verschillende lijnen vanaf eenzelfde rijstrook verschillende lichten moeten beïnvloeden: de viercijferige lijnummers, die niet gelijk zijn aan de zichtbare lijnummers op de bus of tram;
- Haltelocaties voor het kruispunt;
- Eventueel 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.

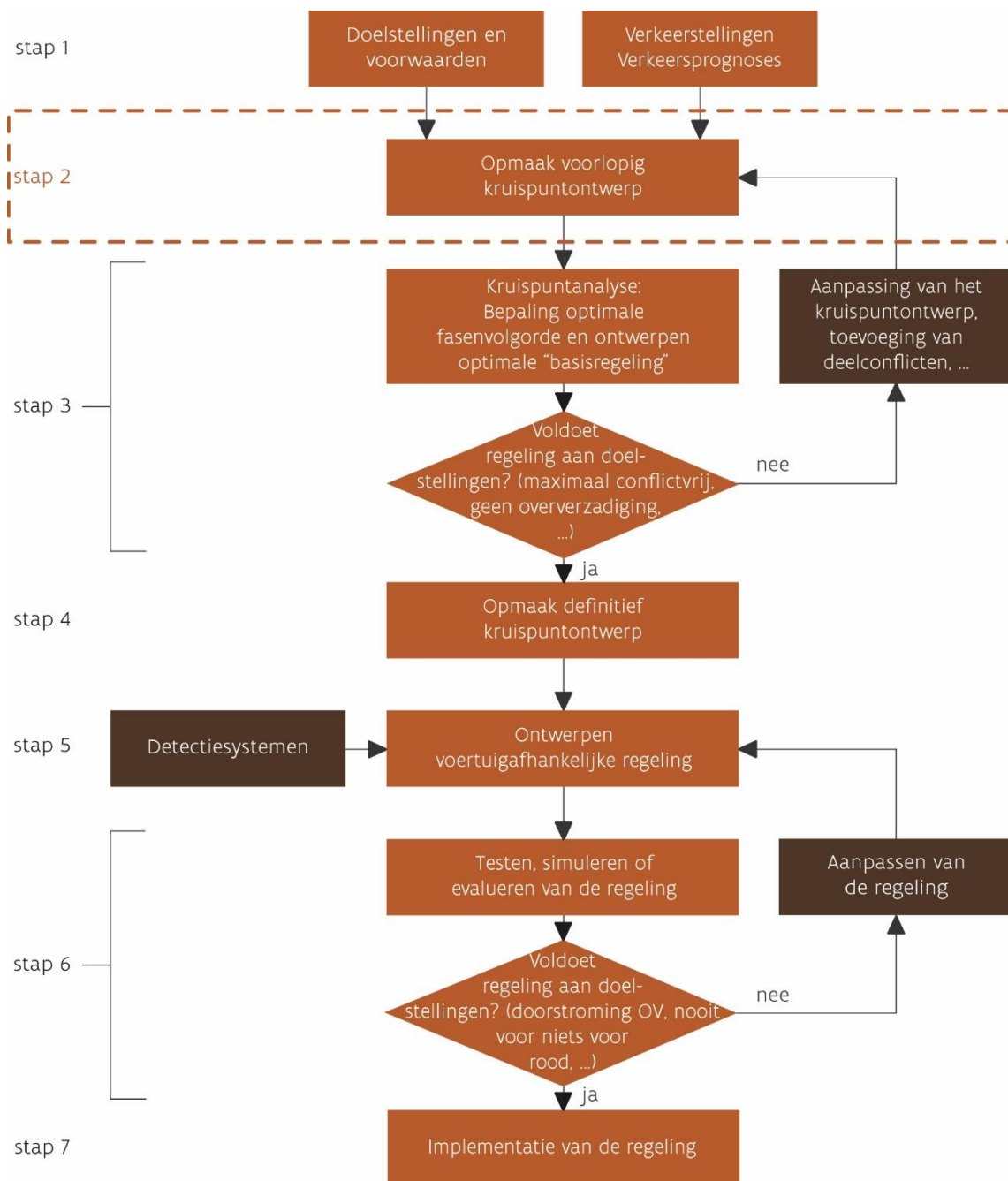
## 2.4 Kruispuntontwerp

De basisvoorwaarde waarbinnen een verkeerslichtenregeling wordt opgesteld is de ruimtelijke configuratie van het kruispunt. De vormgeving van het kruispunt is zeer belangrijk om een vlotte en veilige afwikkeling van het verkeer te bekomen. Daarom dient de ontwerper van de verkeerslichtenregeling vanaf een vroeg stadium betrokken te worden 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 steunen en seinen geplaatst moeten 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
- Fietzers- en voetgangersvoorzieningen
- Voorzieningen voor het openbaar vervoer

- Uitzonderlijk vervoer
- Voorrangregeling bij niet-werkende verkeerslichten

In dit hoofdstuk wordt er verder ingegaan op deze ontwerpelementen. In paragraaf 3.1.2.2 wordt ingegaan op het reduceren van de maximum toegelaten snelheid, wat lichtengeregeld kruispunt aanmerkelijk veiliger maakt.

## 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. De rijstroken kunnen op verschillende manieren verdeeld worden over de rechtsaf, rechtdoor en/of linksaf. Een rijstrook kan een enkele rijrichting omvatten, bijvoorbeeld enkel rechtsaf, maar kan ook meerdere rijrichtingen combineren, bijvoorbeeld rechtdoor en rechtsaf. De rijstrookindeling moet zodanig worden geoptimaliseerd dat er zo conflictvrij mogelijk kan worden geregeld. 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.

Op rijstroken die uitlopen in een bypass wordt later nog ingegaan in paragraaf 2.4.5.

### 2.4.1.1 Lengte afslagstrook

Met behulp van de 'prognosetool wachtrijlengtes' (zie paragraaf 2.2.1.2) kan de verwachte wachtrijlengte in het drukste spitskwartier geschat worden. De afslagstrook is bij voorkeur echter langer dan dat, om verschillende redenen:

- De wachtrijlengte zal soms langer zijn dan de prognose voor het drukste kwartier, meestal tot ongeveer 1,5 maal zo lang. Dit komt door voertuigen die in een korte periode met een hogere intensiteit arriveren dan de gemiddelde kwartierintensiteit (clustering of 'platooning') en doordat de wachtrij zich nog wat opbouwt achterin terwijl die aan de voorzijde al wordt vermindert.
- Aan het begin van de afslagstrook bevindt zich een overgangscurve.
- Een afslagstrook van een Vlaamse hoofdweg moet voldoende lang zijn om te kunnen afremmen naar 0 km/h. De afslagstrook moet immers ook rugdekking geven aan afremmende/stilstaande afslaande voertuigen ten opzichte van achteropkomende rechtdoorgaande voertuigen met een veel hogere snelheid. De lengte van de overgangscurve en de formule voor de berekening van de deceleratielengte staan in het Vademecum Weginfrastructuur (AWV, 2024); bijvoorbeeld voor het deel Vlaamse hoofdwegen staan die in §4.4.2.2. De strooklengte moet dus niet enkel plaats bieden om stil te staan, maar ook om af te remmen van 20 km/h minder dan de maximumsnelheid 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.

Anderzijds kan te weinig ruimte voor een voldoende lange afslagstrook geen reden zijn om er helemaal geen afslagstrook te leggen en een richting niet conflictvrij te regelen: dat is nog onveiliger dan een te korte afslagstrook.

### 2.4.1.2 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

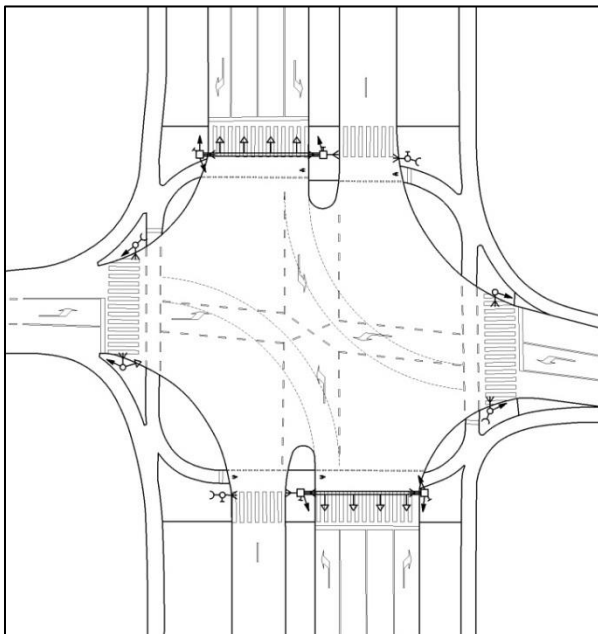
een links afslaan beweging maken moeten immers vaak afremmen en stoppen om voorrang te verlenen aan tegemoetkomend verkeer (bij een niet-conflictvrije regeling).

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.

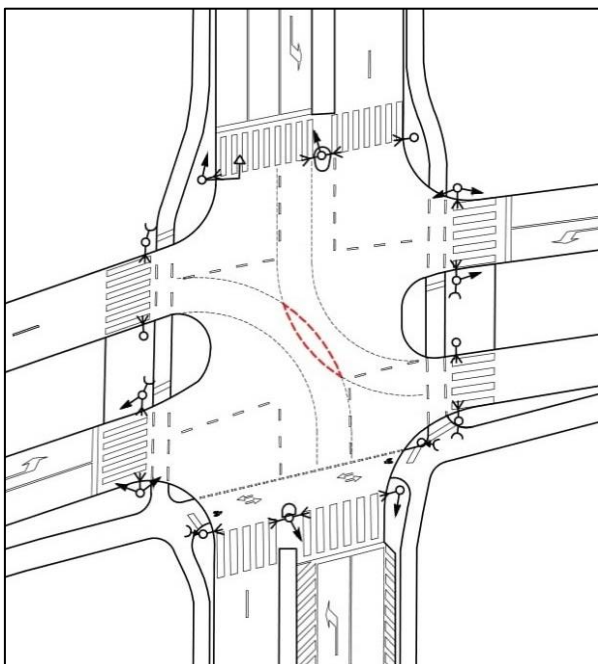
#### b) De positie van links afslaan voertuigen op het kruispunt

Om aan de links afslaan bestuurders te verduidelijken dat ze tegemoetkomende linksaffers het best voor elkaar langs passeren, dus niet om elkaar heen, wordt hun wachtpositie waar mogelijk met rijstrookmarkering en pijlmarkering aangeduid.

Verder dient er ook te worden nagekeken of de twee tegenovergestelde linksafslagbewegingen samen kunnen verlopen (zie Figuur 8 en Figuur 9). Dit wordt gedaan door de binnenste en buitenste rijlijn van beide bochten uit te zetten. Indien de afstand tussen de twee binnenste rijlijnen van de linksafslagbewegingen kleiner is dan 10 m, dan kunnen er problemen ontstaan wanneer twee vrachtwagens tegelijk deze beweging maken.



*Figuur 8 Ontwerp van twee tegenover elkaar liggende linksafslagbewegingen die tegelijkertijd groen kunnen hebben*



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

### 2.4.1.3 Rechtsafstroken

#### a) De voordelen van een rechtsafstrook

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

- 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, zonder de doorstroming van rechtdoorgaande voertuigen te verminderen.

Rechtsafstroken worden idealiter gebruikt in situaties met driekleurige pijllichten om een conflictvrije regeling te waarborgen. Ook wanneer het om beperkte intensiteiten gaat 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 verliestijden kan verminderen.

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 paragraaf 2.4.5 worden behandeld.

#### 2.4.1.4 Rijstrookvermindering na een kruispunt

Na een kruispunt dienen er vanzelfsprekend minstens evenveel rijstroken te zijn als voor het kruispunt richting de betreffende tak. 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.

In deze gevallen dient altijd<sup>1</sup> de linker rijstrook beëindigd en gemarkeerd te worden met rijstrookverminderingsspijlen. Bij voorkeur bevindt de rijstrookvermindering zich op een voldoende grote afstand voorbij het kruispunt, om geen wachrijterugslag tot op het kruispunt te veroorzaken. Het kan aangewezen zijn om een microsimulatie uit te voeren om het weefgedrag van de rijstroken nauwkeuriger in kaart te brengen.

## 2.4.2 Verkeerseilanden

---

Onder een verkeerseiland wordt elke vorm van verkeersgeleider, vluchtheuvel of middenberm verstaan. De benodigde eilandbreedte voor verschillende typen doorsteken worden bepaald in de vademecums Fietsvoorzieningen fiche E.1 (AWV en Fietsberaad Vlaanderen, 2024) en Toegankelijke voetgangersvoorzieningen (AWV, 2026).

## 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/s<sup>2</sup>)

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:  $g = 9,81$

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

---

<sup>1</sup> Het verkeer dat de rechterraand van de rijbaan volgt heeft namelijk in deze gevallen altijd voorrang, ook indien de rechterijstrook zou beëindigd zou worden. Om onduidelijkheid in deze situaties te voorkomen, wordt daarom altijd de linker rijstrook beëindigd.

bepalen. De breedte die een voertuig nodig heeft vergroot bovendien naarmate men langer een bocht doorloopt (en hoe kleiner de straal is).

Naast de effectieve boogstraal is ook de bochtverbreding aan het einde van de bocht van belang. De breedte die een voertuig nodig heeft vergroot naarmate men langer een bocht doorloopt (en hoe kleiner de straal is). Hoe krappere de bocht, hoe meer ruimte een afslaande 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, ...

Wanneer de infrastructuur van een te krappe bocht niet kan worden verbeterd, dan kan men ook overwegen om de stopstreep (en bijbehorende lussen) achteruit te schuiven van de linker voorsorteerstrook in de tak waar de problematische beweging naartoe gaat. Dit veroorzaakt echter wel meer verliestijd.

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 er ook simulatieprogramma's die in detail de rijlijnen van afslaande voertuigen kunnen simuleren. Bij detailontwerp is het zeker aan te raden 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. Als het bekend is dat er regelmatig keerbewegingen zullen gebeuren, dienen het wegontwerp en de opstelling van de steunen hier zoveel mogelijk rekening mee te houden.

#### **2.4.4 Asverschuiving**

---

Een asverschuiving in het kruispuntvlak is geen standaardprincipe voor het geometrisch ontwerp van een lichtengeregeld kruispunt. Dit principe is niet gewenst omwille van de verkeersveiligheid. Weggebruikers verwachten bij groen licht een stuurbeweging rechtdoor, links of rechts. Een bijsturing omwille van een asverschuiving behoort niet tot de verwachtingen en zorgt voor potentiële conflicten. Asverschuivingen zijn ook vaak veel te kort en door de korte volgafstand bij verkeerslichten zien weggebruikers het vervolg van het kruispunt onvoldoende.

Asverschuivingen in de afslagstroken zijn niet gewenst omwille van:

- Extra complexiteit in de rijtaak;
- Onvoorspelbaarheid voor de andere weggebruikers: bij het oprijden van een afslagstrook wordt geen stuurbeweging meer verwacht;
- Negatie van de asverschuiving en gebruik van andere rijstroken.

#### **2.4.5 Bypass**

---

Indien wenselijk kan voor de rechtsafslagbeweging een bypass langs een lichtengeregeld kruispunt of een rotonde worden voorzien als hier de ruimte voor is.

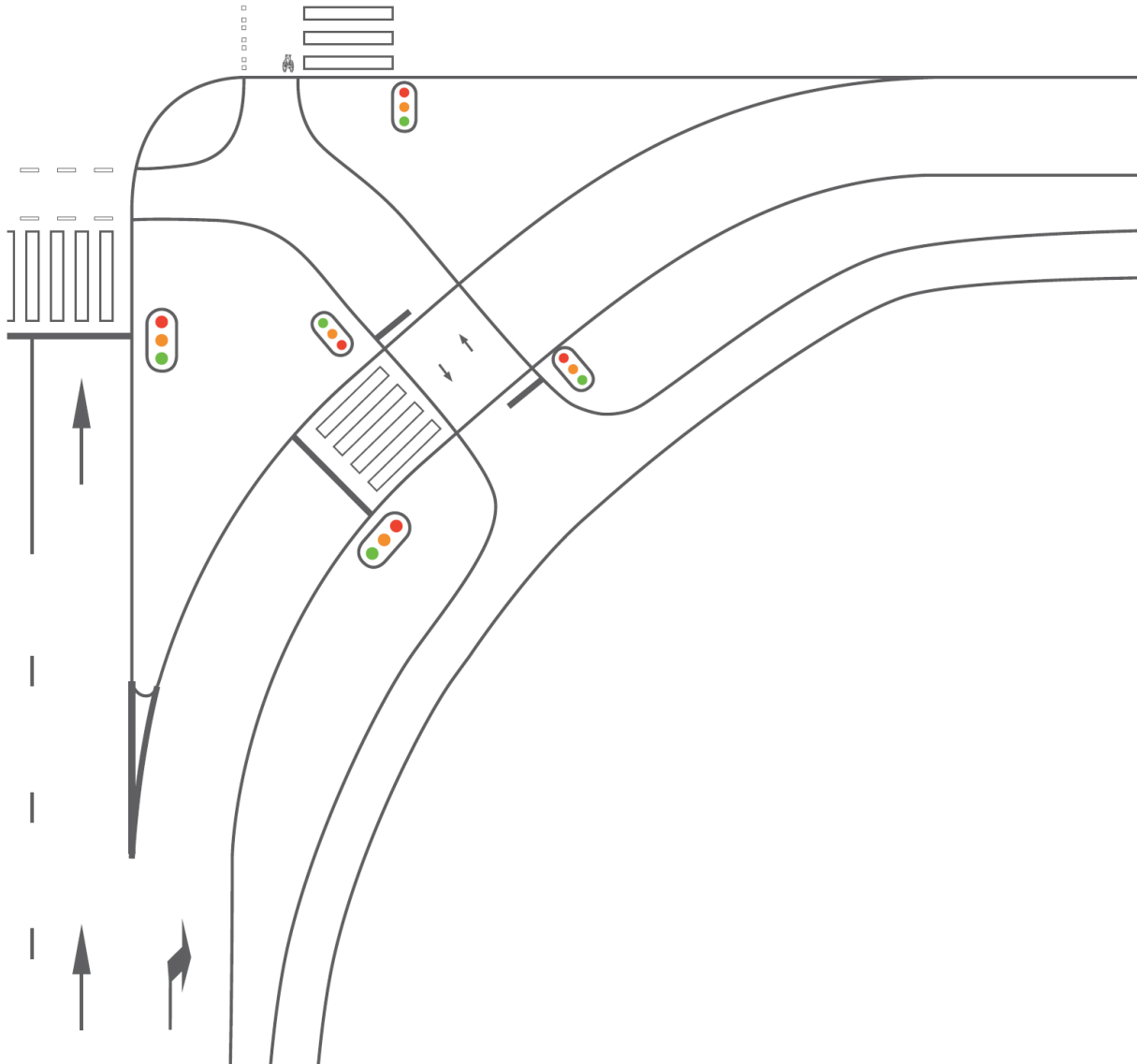
Er zijn hoofdzakelijk twee redenen die een bypass wenselijk kunnen maken:

- Als de hoek die gevormd wordt door de hoofdtak en zijtak van het kruispunt kleiner is dan 90°, zodat rechts afslaand (vracht)verkeer eenvoudiger verloopt en het centrale kruisingsvlak compacter kan blijven 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.

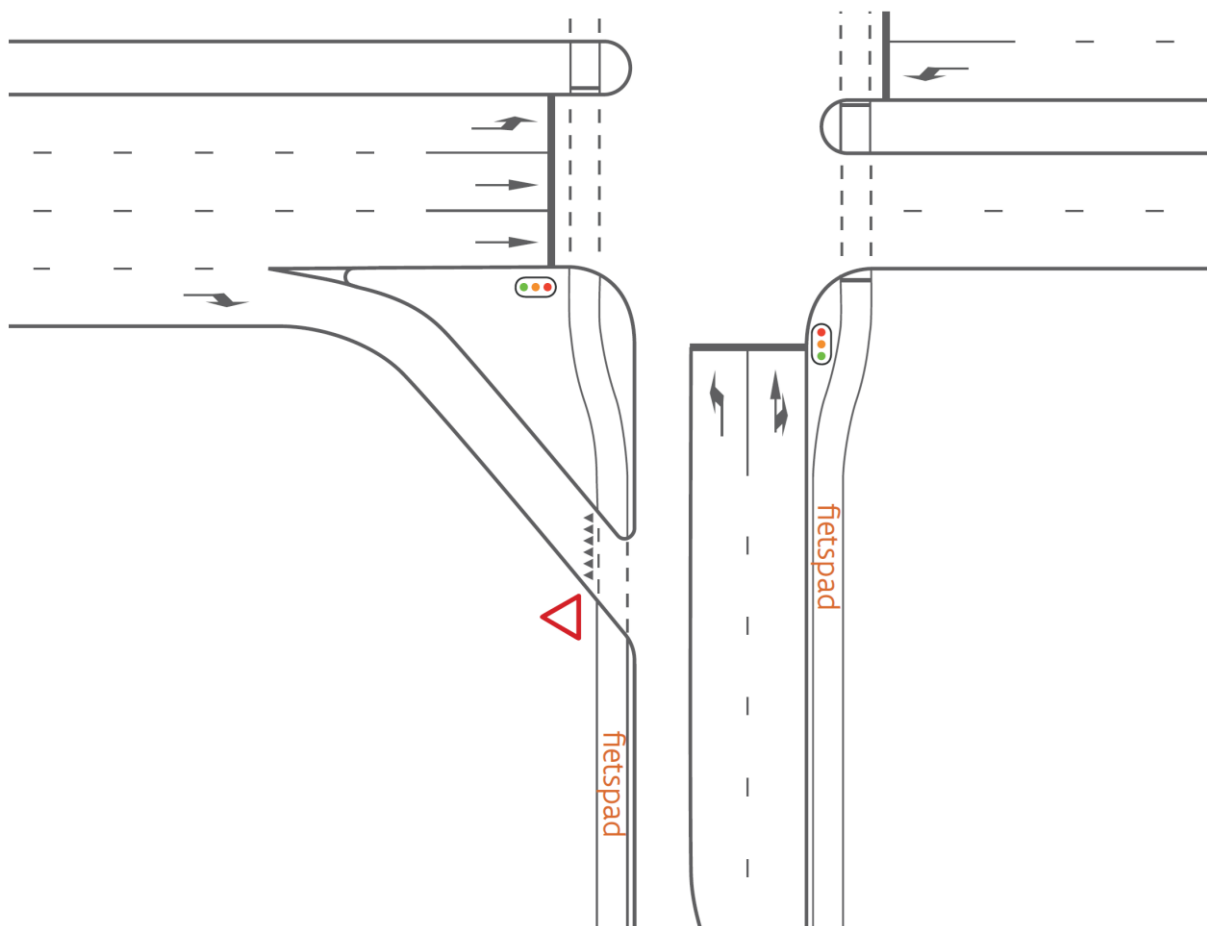
Bypasses hebben echter ook nadelen. Rechts afslaand gemotoriseerd verkeer behoudt een hogere snelheid, terwijl het na de bypass vaak wel voorrang moet verlenen. Het ruimtegebruik is meestal groter en het tijdverlies voor actieve weggebruikers kan groter zijn door meer opeenvolgende oversteekplaatsen.

**Binnen de bypass wordt een conflict tussen gemotoriseerd verkeer en actieve weggebruikers niet getolereerd. Wanneer een ongelijkvloerse oplossing niet mogelijk is, dan is een regeling door verkeerslichten noodzakelijk waar actieve weggebruikers de bypass dwarsen.** (AWV, 2024)



*Figuur 10 Gelijkvloerse oversteekplaats in de bypass met VRI (AWV, 2024)*

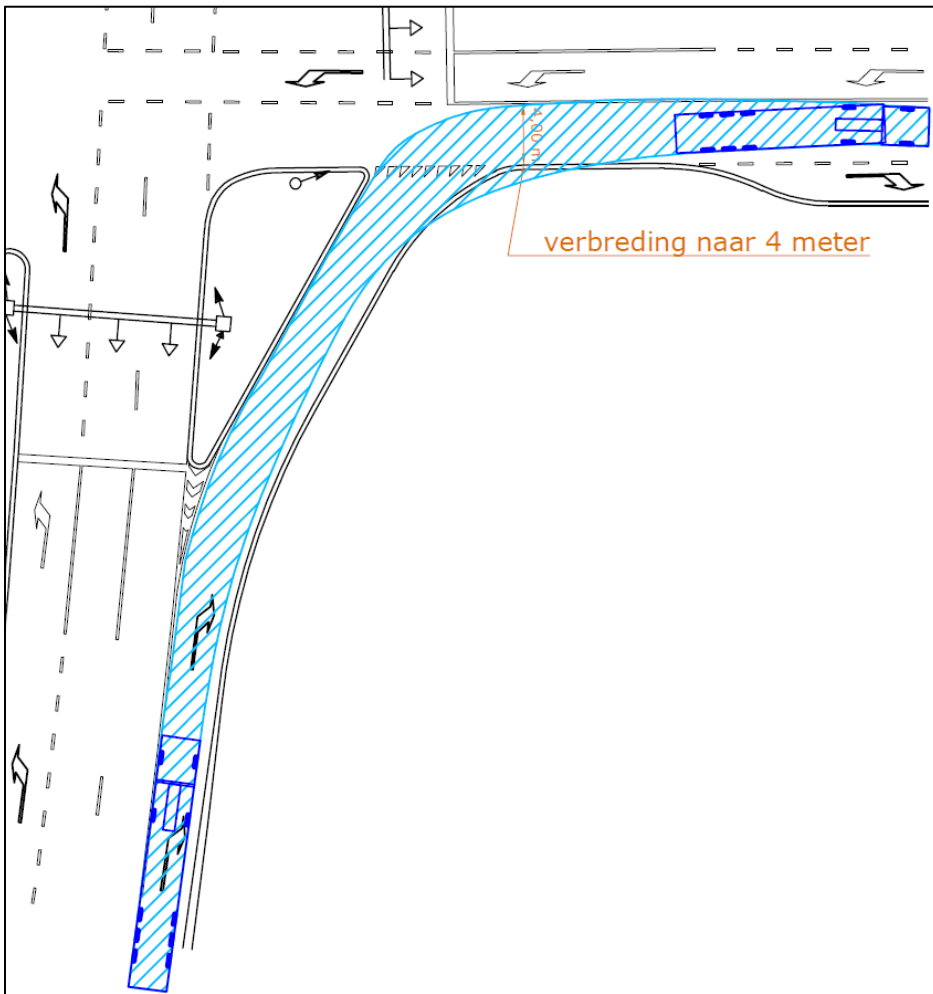
Er is één uitzondering op de verplichting om het oversteken van actieve weggebruikers met verkeerslichten te regelen. Een gelijkvloerse dwarsing van een bypass met een fietspad zonder verkeerslichten is enkel toegelaten wanneer het een aanliggend doorlopend éénrichtingsfietspad betreft langsheen een weg, wegleidend van het kruispunt. De bypass mag dan niet aansluiten via een invoegstrook of doorgaande rijstrook; zie Figuur 11.



Figuur 11 Toegelaten gelijkvloerse oversteekplaats in de bypass zonder VRI (AWV, 2024)

Enkele algemene ontwerprichtlijnen voor een bypass:

- Als een bypass een lichtengeregelde oversteek bevat en als die bypass vervolgens niet aansluit via een invoegstrook of een eigen doorgaande rijstrook, dan impliceert dit dat ook het conflict tussen de motorvoertuigen onderling lichtengeregeld moet zijn. Dus het motorvoertuigenlicht bij de oversteek mag niet groen zijn in de fasen waarin er conflicterende motorvoertuigen vanaf het kruispunt komen rijden. Indien nodig kan een uitzondering gemaakt worden voor kerende voertuigen en kan het groene licht onderaan vervangen worden door een oranjegeel knipperend licht. Keren is een manoeuvre, dus wie wil keren moet voorrang verlenen aan de andere weggebruikers.
- Dienstorder MOW/AWV/2022/3 (AWV, 2022) vermeldt een aanbeveling om de vereiste oprijzichtsafstanden te bepalen. Deze kan ook toegepast worden op een bypass om te bepalen of een automobilist er voldoende zicht heeft op het aankomende verkeer.
- 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.
- De vormgeving van het einde van een bypass zonder verkeerslicht is vaak een evenwichtsoefening. Enerzijds zorgen een vrijwel haakse aansluiting ( $\geq 60^\circ$ ) en een scherpe bocht voor een gematigde snelheid en een goed zicht op voorrangsgerechtigde voertuigen. Anderzijds moeten ook grote vrachtwagens die bocht kunnen nemen zonder wachtende voertuigen of een boordsteen te raken. In Figuur 12 werd de rijstrook bijvoorbeeld plaatselijk verbreed naar 4 meter, maar is die volgens een vrachtwagen-simulatie toch nog wat te smal. Zones die enkel door grote vrachtwagens overreden moeten worden, kunnen als rammelstroken of met markering worden uitgevoerd.



Figuur 12 Voorbeeld van een te smalle rijstrookverbreding na de aansluiting van een bypass

## 2.4.6 Fietzers- en voetgangersvoorzieningen

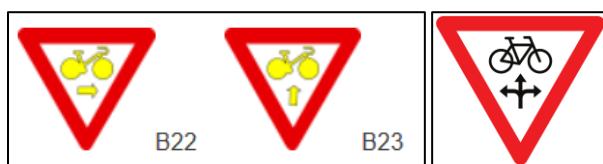
Als een bepaald kruispunt zeer druk is gedurende bepaalde momenten van de dag wat betreft fietsers en voetgangers, is het belangrijk om daar in het kruispuntontwerp zoveel mogelijk rekening mee te houden. Vooral voor kruispunten waar veel pendelverkeer is zoals schoolgaande jeugd, zijn enkele algemene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

### 2.4.6.1 Plaatsing van de verkeerslichten

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

Tot het inwerkingtreden van de nieuwe code van de openbare weg op 1 juni 2027, geldt een verkeerslicht voor het gemotoriseerd verkeer rechts ook voor fietsers op hun fietspad, ook al wordt het tegengesproken door een fietserslicht. Als er niet voldoende ruimte is voorzien tussen de rijbaan en het fietspad, kan er geen fietserslicht apart aangestuurd worden 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 zich links van het fietspad bevindt (zie ook de oplossing in Figuur 36);
- Als het verkeersborden B22 of B23 geplaatst is, mag het rode verkeerslicht door fietsers genegeerd worden indien men rechtsaf respectievelijk rechtdoor wil rijden, mits men voorrang verleent;



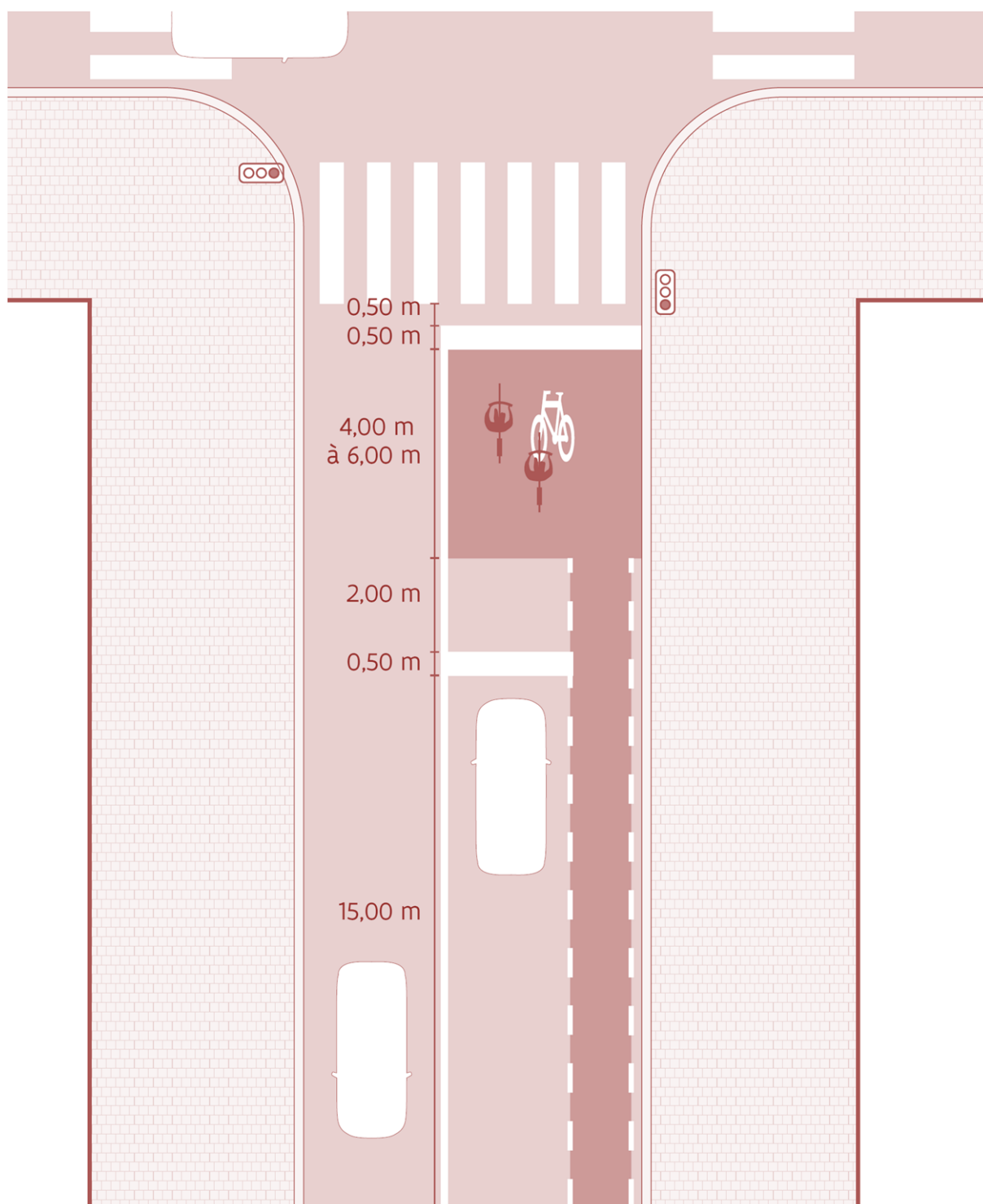
*Figuur 13 Links de borden B22 en B23 in de oude wegcode (KB, 1975); rechts het bord B22 met één of meer pijlen in de nieuwe code van de openbare weg (KB, 2024)*

- Wanneer driekleurige pijllichten enkel 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 als het gaat om een fietssuggestiestrook, een fietsstraat, of indien er gewoonweg geen fietsvoorzieningen zijn.

Als er een toeleidend aanliggend 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 zich tijdens de roodfase op te stellen vóór de wachtende auto's. Om te vermijden dat fietsers zich opstellen in de dode hoek aan de voorzijde van een vrachtwagen, wordt een ruimte van 2,00 m gelaten tussen het ingekleurde opstelvak en de stopstreep voor gemotoriseerd verkeer (zie Figuur 14). De OFOS moet voldoende groot zijn voor het – tijdens piekuren – gemiddeld aantal fietsers dat per roodfase aan het verkeerslicht wacht. De OFOS dient zo te worden ingericht dat al dat toekomstend fietsverkeer zich op de OFOS, vóór – en niet rechts van – het gemotoriseerd verkeer opstelt.

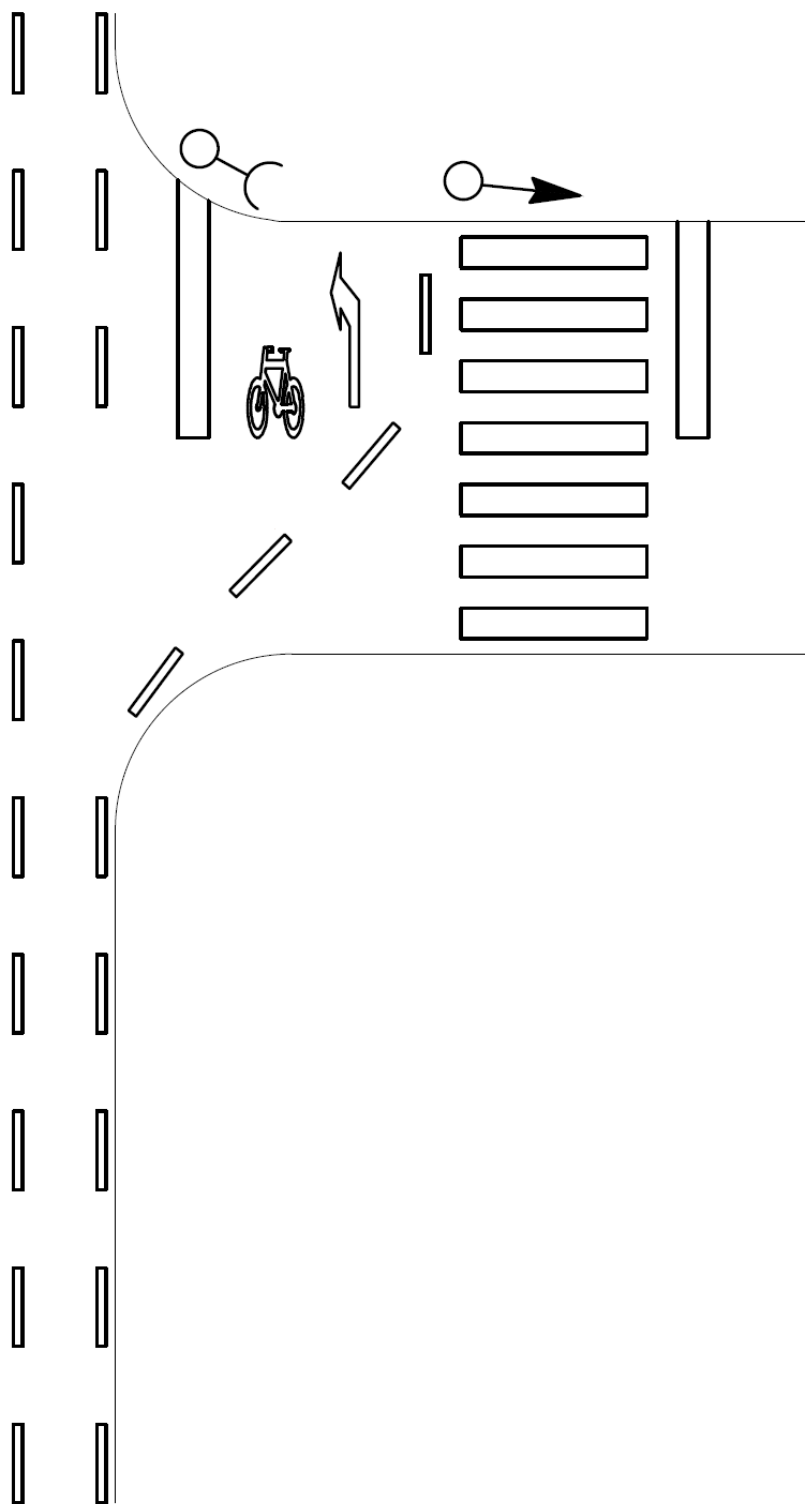
Wanneer het licht op groen springt, vertrekken de tweewielers voor de auto's: ze zijn goed opgesteld om links af te slaan of rechtdoor te rijden. Dit verhoogt het comfort en de veiligheid ten opzichte van een aanliggend fietspad waarbij er één stopstreep is voor alle bestuurders.



*Figuur 14 OFOS (AWV en Fietsberaad Vlaanderen, 2024)*

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 aan de overkant afstappen en daar als voetganger oversteken, of zich rechts opstellen tot ze daar op hun beurt groen krijgen om alsnog links af te slaan.

Of er nu een OFOS ligt of niet: het veilig rechts opstellen om links af te slaan kan worden gefaciliteerd en aangemoedigd door daarvoor een wachtplaats of 'OFOS-variant' aan te brengen.



Figuur 15 OFOS-variant (AWV, 2019)

#### 2.4.6.2 Opstelruimtes voor het verkeerslicht en rustruimte op een middenberm

Voor het verkeerslicht wordt bij voorkeur ruime 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 (DTV Consultants i.o.v. CROW-Fietsberaad, 2016) heeft men vastgesteld dat elke fietser bij een

verkeerslicht gemiddeld 2,27 m<sup>2</sup> opstelruimte nodig heeft. De dichtheid van een wachtrij fietsers bedraagt gemiddeld 0,44 fietsers per m<sup>2</sup>.

Zoals reeds aangehaald moet een middenberm ter hoogte van een rustplaats voor halthoudende fietsers of voetgangers een voorgeschreven minimale breedte hebben. Daarnaast moeten ook fiets- en voetpaden van een minimumbreedte voorzien zijn. De standaardbreedtes van fietspaden variëren van 2 meter tot 6 meter, afhankelijk van het type fietspad en de verwachte intensiteit; zie deel B van het Vademecum Fietsvoorzieningen (AWV en Fietsberaad Vlaanderen, 2024). Daarin staan ook aanbevelingen om de opstelruimte voor fietsers te maximaliseren (de banaan en de frietzak), om het vrij te houden kruisingsvlak tussen fietspaden te markeren en om het fietspad voor het kruispunt in te delen in aparte voorsorteerstroken voor fietsers. Het is niet verplicht om de conflicten van de fietsers onderling met lichten te regelen; ze gebeuren dan liefst wel door achtereenvolgens in- en uitvoegen naar en van een kort gemeenschappelijk gedeelte.

#### **2.4.6.3 Boogstralen van de fietsvoorzieningen**

Er moeten steeds voldoende grote boogstralen voorzien worden om de fietser een veilige draaibeweging 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.

#### **2.4.6.4 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 oversteeklengtes steeds zo kort mogelijk zijn.

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

#### **2.4.6.5 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. Als algemene richtlijnen worden hier best de richtlijnen uit het Vademecum Fietsvoorzieningen (AWV en Fietsberaad Vlaanderen, 2024) gevolgd, meer bepaald fiche B.8. "In- en uitbuigen van fietspaden".

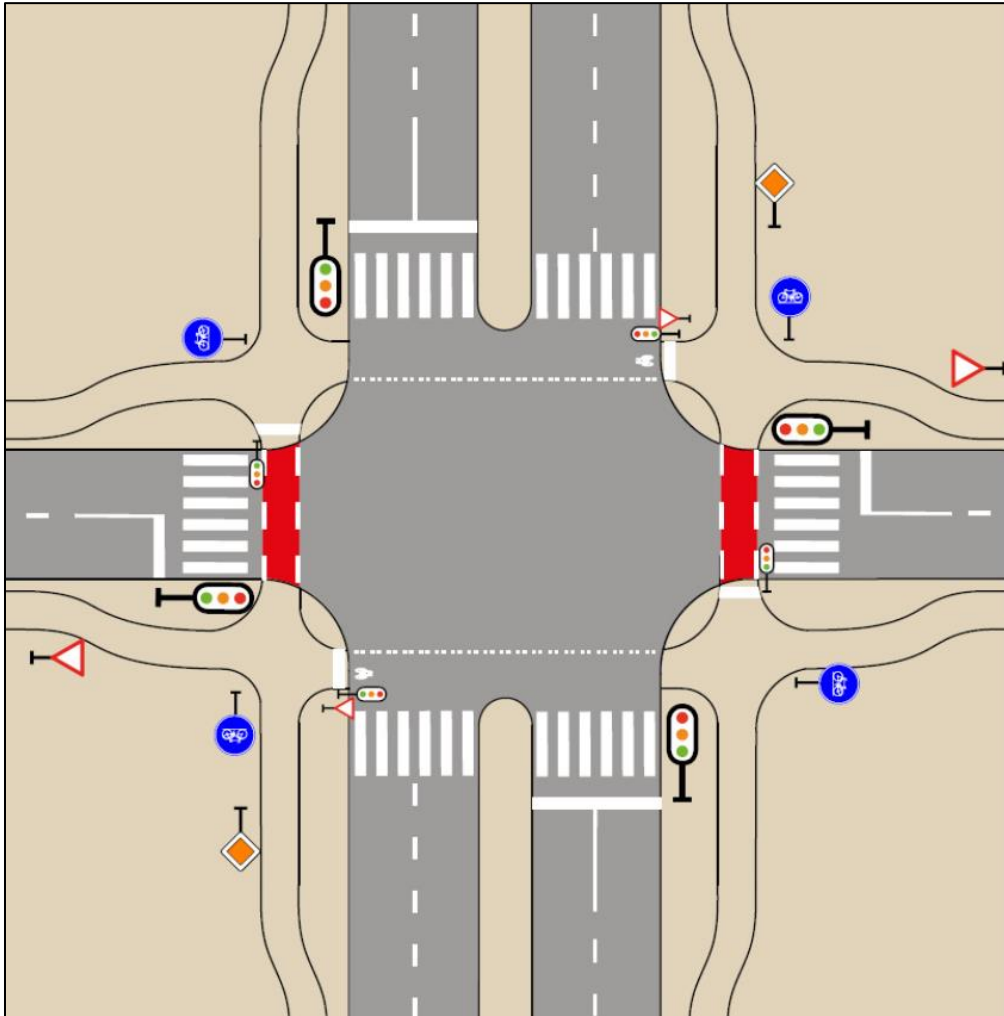
#### **2.4.6.6 Markering van fietsoversteekplaatsen**

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.

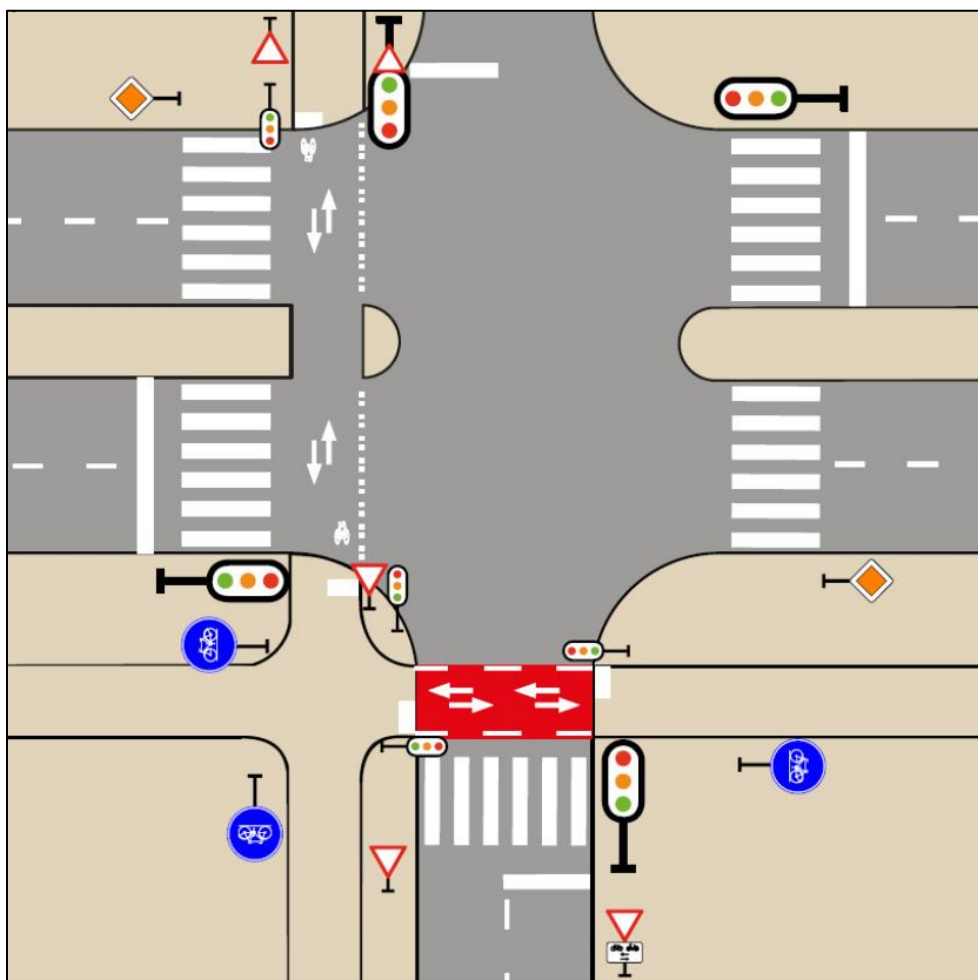
De dienstorder MOW/AWV/2017/06 (AWV, 2017) bepaalt hiervoor de volgende zaken om andere weggebruikers te attenderen op hun voorrangsverplichting, vooral bij het afslaan:

- Fietspaden die op de voorrangsweg liggen worden steeds doorgemarkeerd met fietspadmarkering (rood) (zie Figuur 16);
- Fietspaden die de voorrangsweg dwarsen worden met de "fietslogo-verbindingmarkering" gemarkeerd (zie Figuur 16);

- Bij tweerichtingsfietspaden dienen er ter hoogte van het kruispunt dubbele pijlmarkeringen aangebracht te worden op de oversteek (zie Figuur 17);
- Blokkenmarkeringen worden nooit ter hoogte van een kruispunt toegepast.



Figuur 16 Fietsgeleiding op lichtengeregelde kruispunten (AWV, 2017)



Figuur 17 Fietsgeleiding op kruispunten bij tweerichtingsfietspaden (AWV, 2017)

#### 2.4.6.7 Afstand tussen stopstreep en fiets-/voetgangersoversteekplaats

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.

Echter, bij singuliere voetgangersoversteken en bij singuliere voetgangers- en fietsoversteken in schoolomgevingen leggen we de stopstreep op 5 meter afstand t.o.v. de dichtstbijzijnde rand van het zebrapad of van de fietsoversteek. (Singulier wil hier zeggen dat de lichtengeregelde oversteek geen deel uitmaakt van een lichtengeregelde kruispunt.)

Het doel is gelijkaardig aan dat van de 'gevleugelde zebrapaden' (bepaalde dodehoekongevallen vermijden) maar dan enkel voor voetgangers en fietsers die het rode licht negeren of die ten val komen voor een vrachtwagen. In tegenstelling tot bij de gevleugelde zebrapaden, worden er bij lichtengeregelde oversteken geen omega-profielen geplaatst.

#### 2.4.7 Voorzieningen voor het openbaar vervoer

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

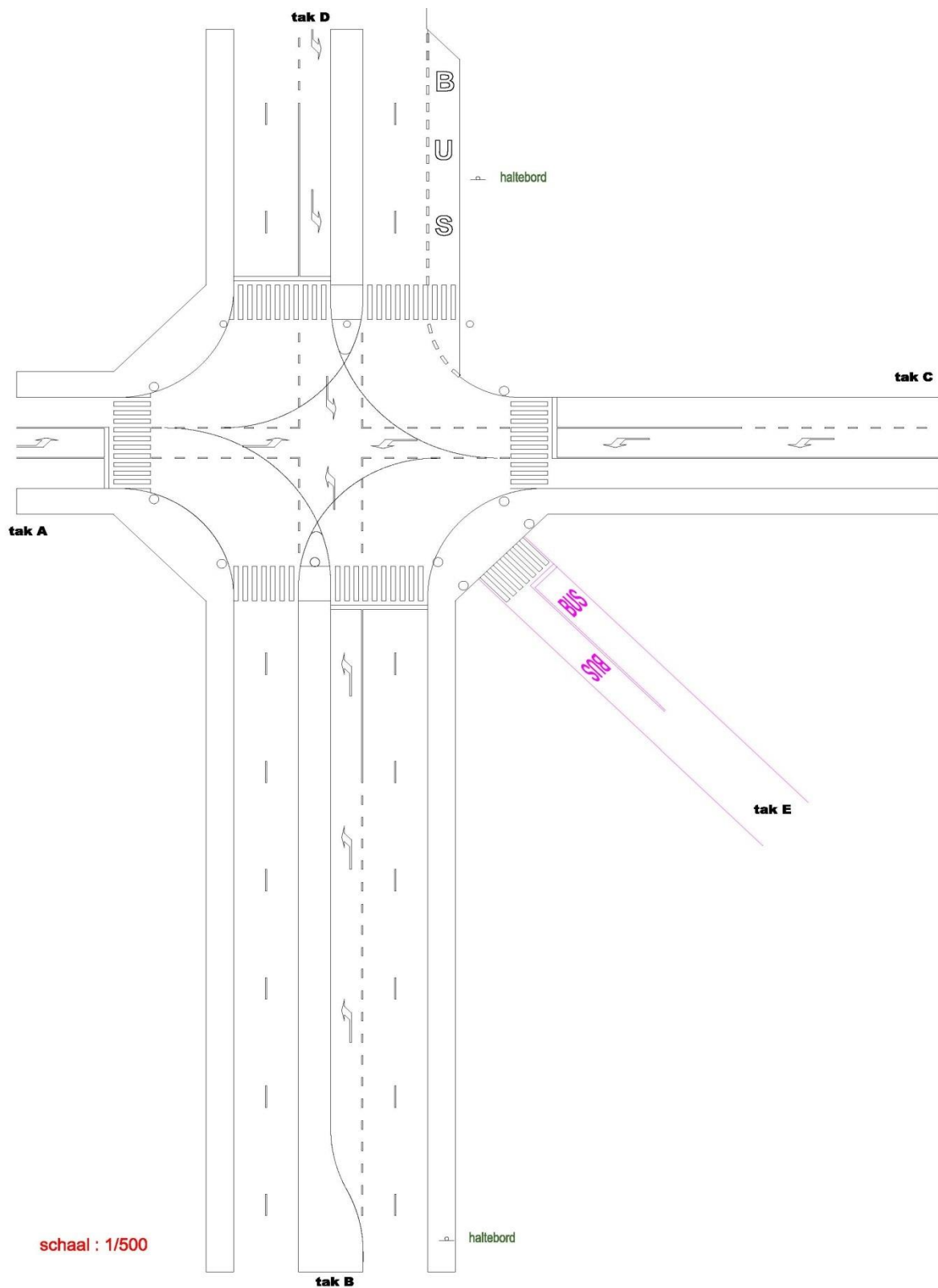
Dienstorder MOW/AWV/2012/5 (AWV, 2012) vermeldt daarnaast nog de volgende ontwerpaanbevelingen:

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 achteropkomend 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.

### 2.4.7.1 Busweg

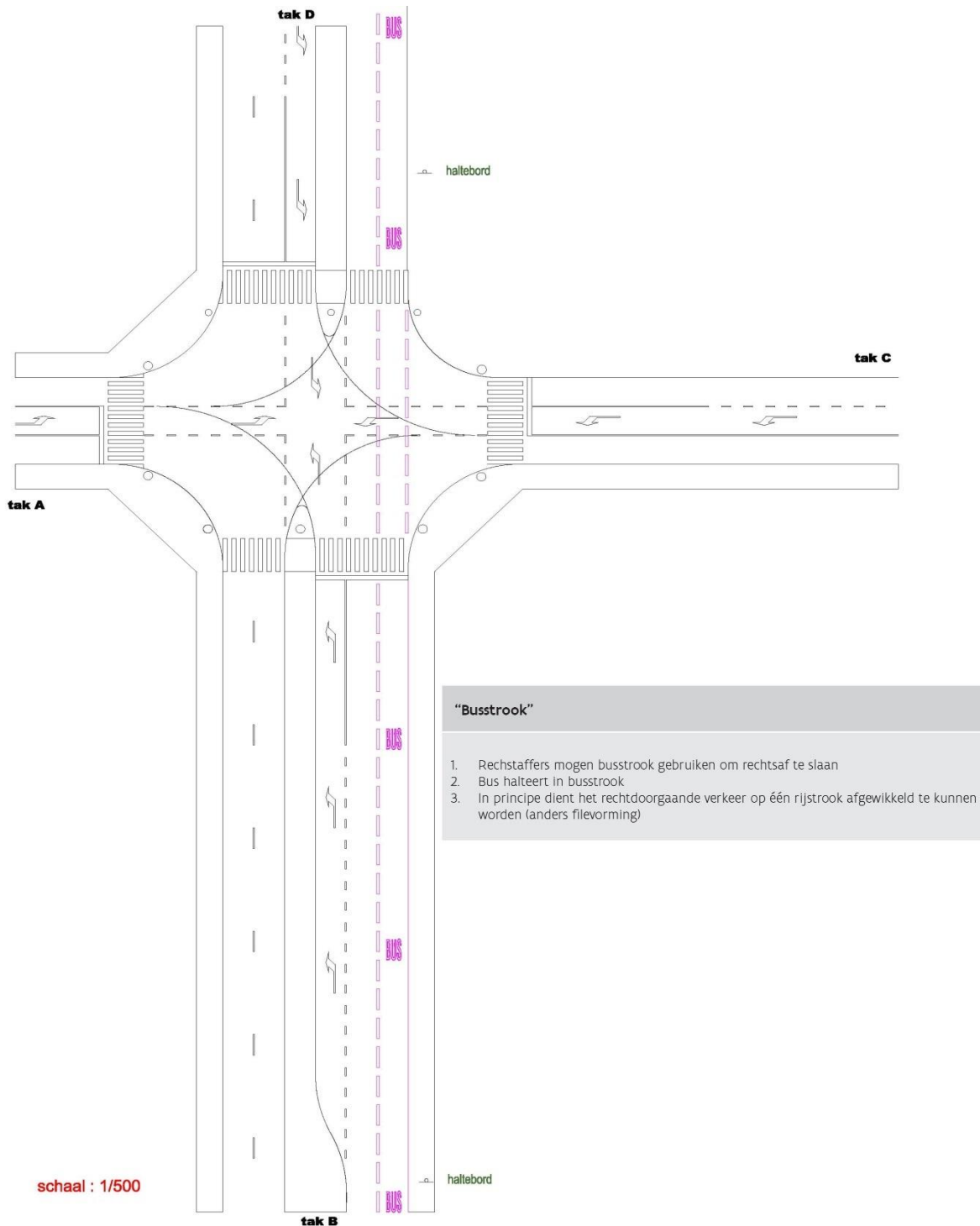
Voor de bus is een aparte exclusieve weg naar het kruispunt aangelegd zoals weergegeven in Figuur 18. In de regeling van de lichten kan men de bus bij het einde van elke fase indien nodig toelaten tot het kruispunt. Hierbij zal het nodig zijn de fasen versneld af te kappen.



Figuur 18 Busweg naar het kruispunt, exclusief voor OV. De bus krijgt één of meer fasen op aanvraag

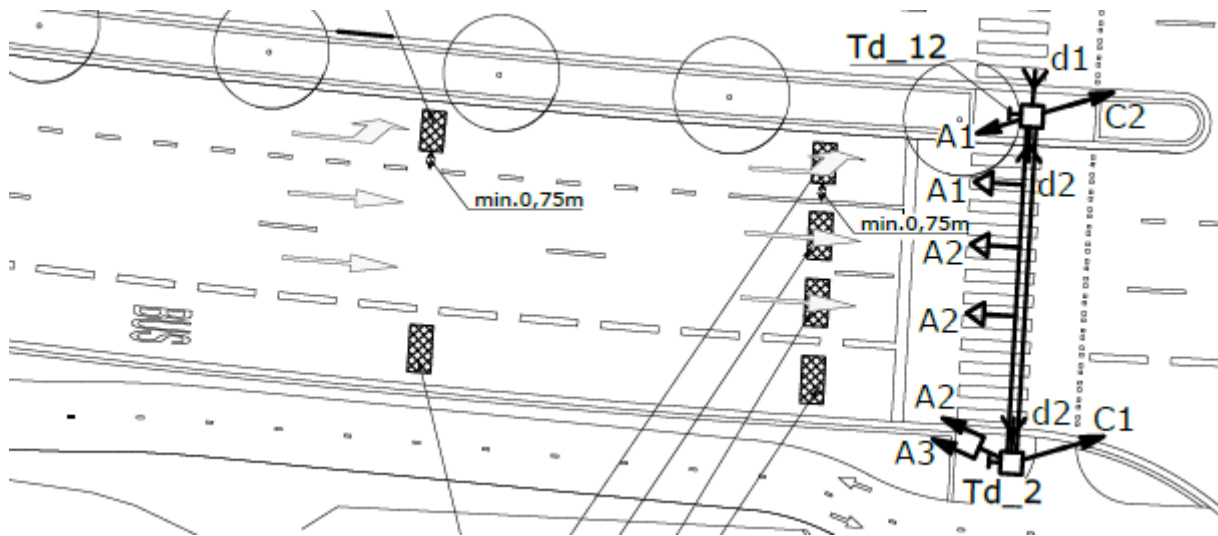
## 2.4.7.2 Busstrook

Een busstrook wordt over het algemeen aan de rechterkant van de rijbaan aangelegd zoals voorgesteld in Figuur 19. Ondanks een beperkt aantal rijstroken, kunnen zo toch rechtdoorgaande en rechts afslaande bussen het wachtende rechtdoorgaand verkeer passeren. Rechts afslaand gemotoriseerd verkeer kan eventueel conflictvrij geregeld worden zonder dat dit de groentijd van rechtdoorgaand verkeer sterk vermindert.



Figuur 19 Busstrook voorbehouden voor bussen. Rechts afslaande voertuigen mogen ook deze busstrook gebruiken.

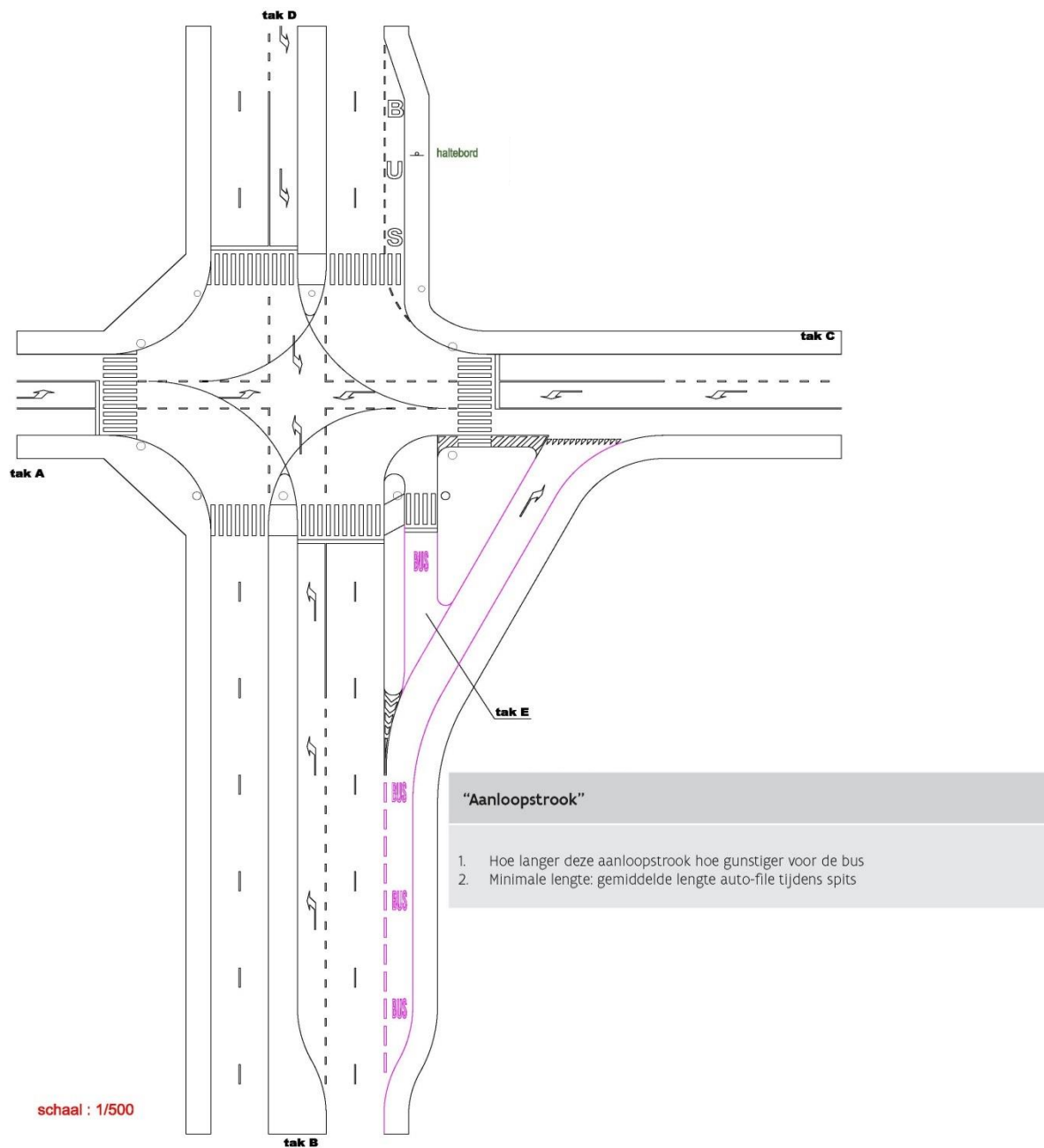
Een aandachtspunt is wel dat de gewone rechts afslaande voertuigen en de bussen een strook delen; zie Figuur 20. Bovendien kan er nogal wat hinder zijn van halterende voertuigen, vooral in de bebouwde kom. Links afslaande bussen moeten zich in het verkeer mengen en (al dan niet via versneld afkappen van het tegemoetkomend verkeer) hun beweging uitvoeren.



*Figuur 20 Dit voorbeeld toont hoe pijllichten niet boven maar naast de busstrook geplaatst worden om het dubbel gebruik mogelijk te maken. Dit vereist wel een regeling die vermijdt dat wachtende rechtsaffers een bus kunnen hinderen.*

### 2.4.7.3 Aanloopstrook

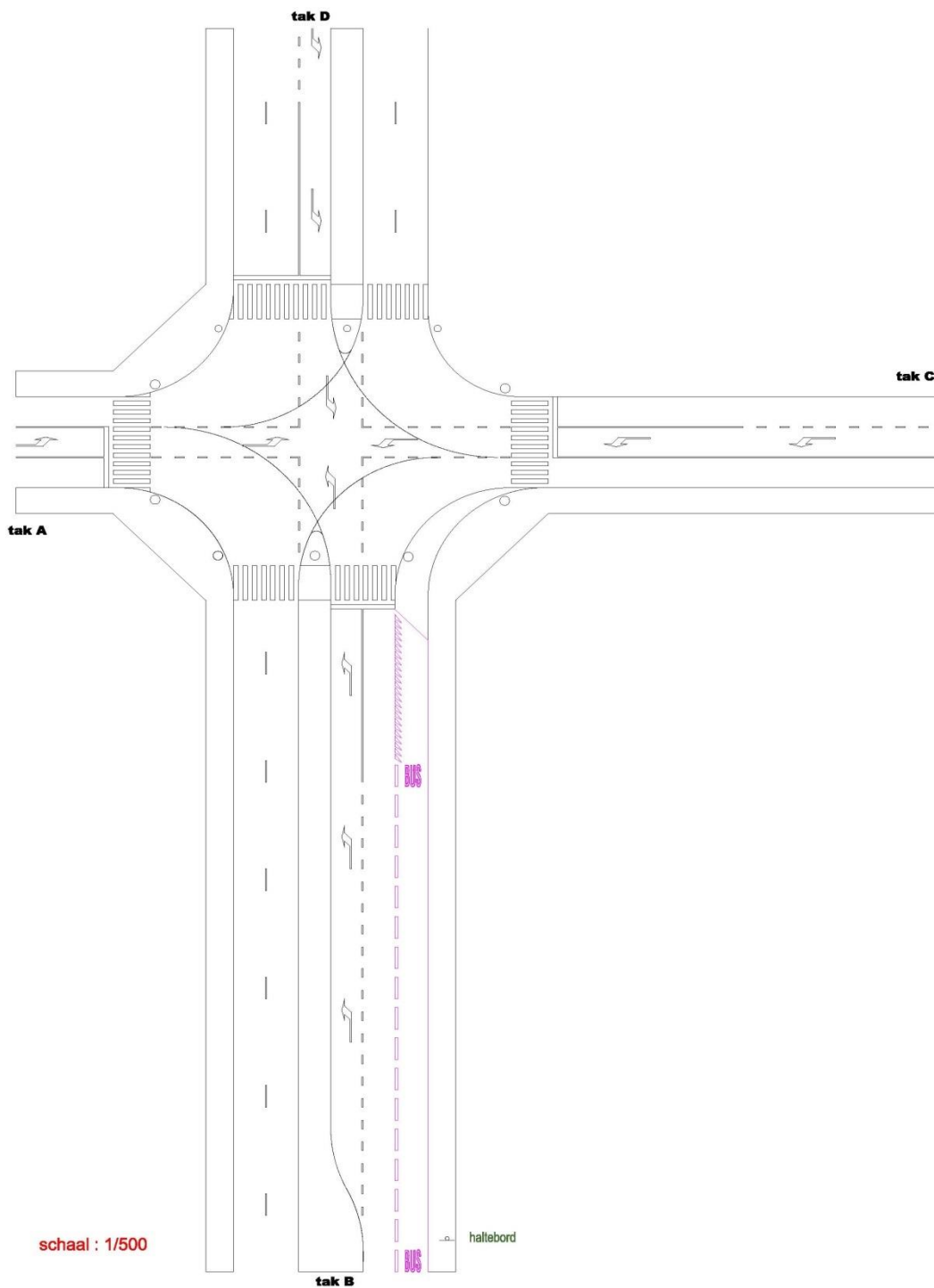
Bij een 'aanloopstrook' kan een bus via de bypass een aparte toegang tot het kruispunt krijgen zoals weergegeven in Figuur 21. Dit is vooral nuttig in het geval dat de rechtdoorgaande en links afslaande bewegingen filegevoelig zijn.



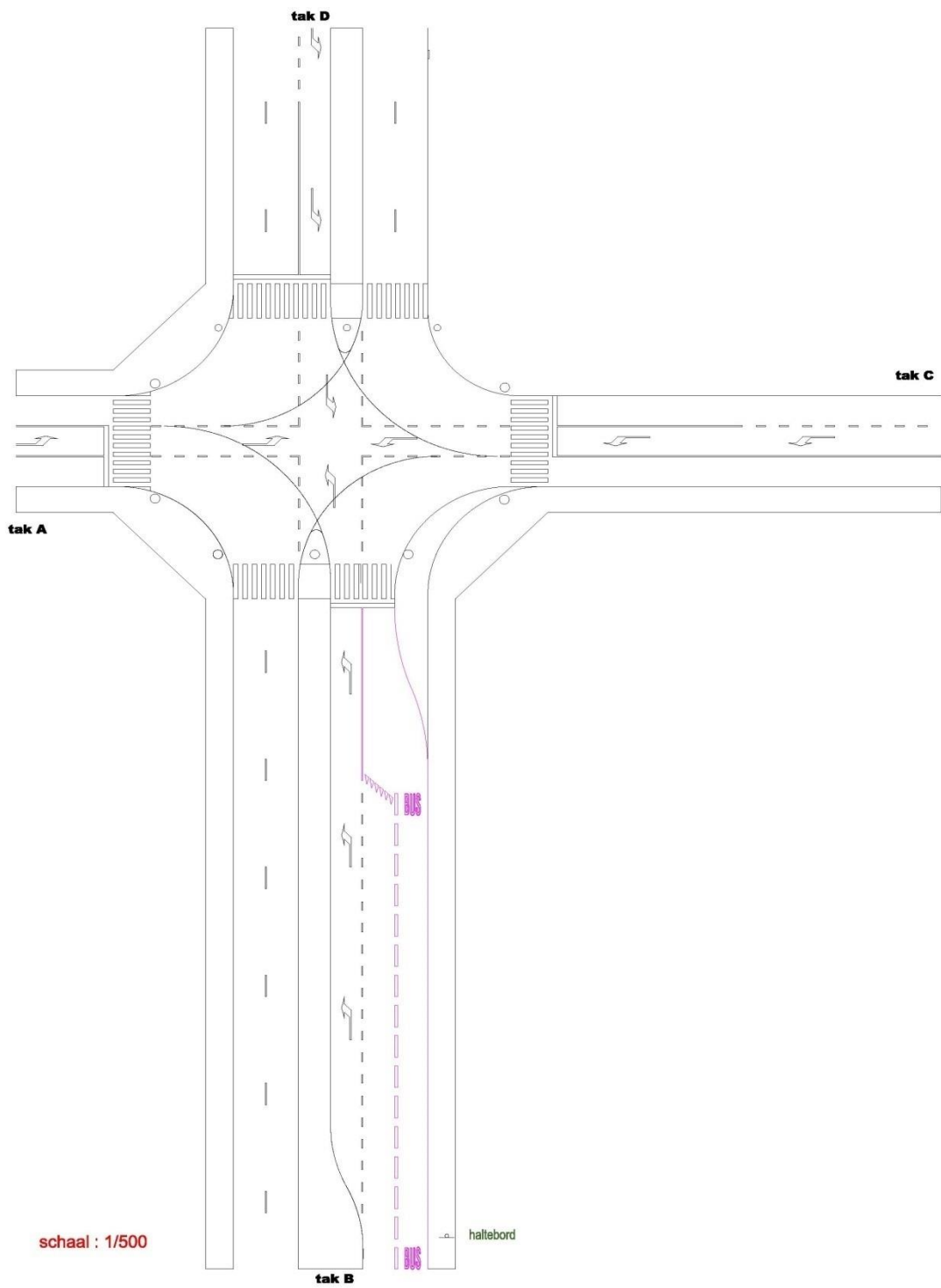
Figuur 21 Aanloopstrook voor bussen

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 22 en Figuur 23. 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 22 geeft een situatie waarin de bus geen voorrang heeft op het andere verkeer, Figuur 23 geeft een situatie waarin het overige verkeer voorrang moet verlenen aan de bus.



Figuur 22 Verlenging busstrook tot aan het kruispunt



Figuur 23 Verlenging busstrook tot aan het kruispunt

#### 2.4.7.4 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 stopstreep afbreken zoals voorgesteld in Figuur 24. Deze methode laat echter toe dat een bus toch een bepaalde filelengte voorbijrijdt.

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.

schaal : 1/500

**"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)  $\geq \frac{\text{delta (m)}}{7} \times 2$  (s)

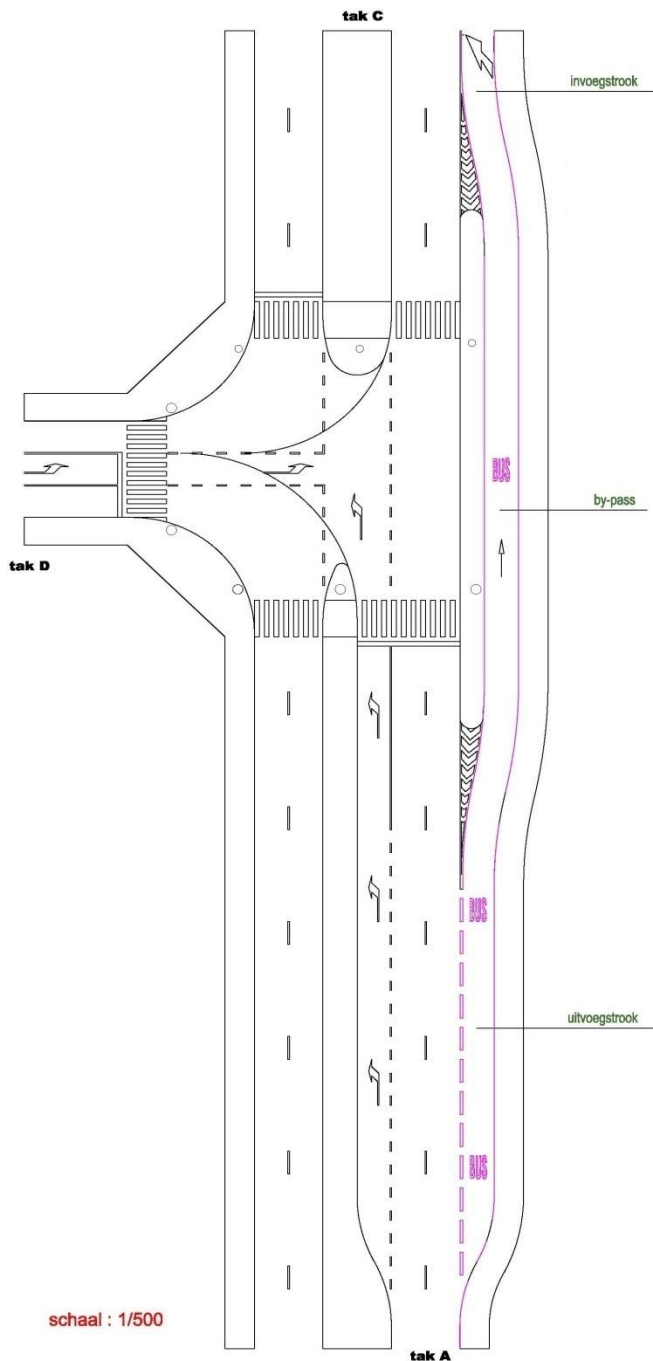
Figuur 24 Set-back voor bussen

Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2026

47

### 2.4.7.5 Bypass of overbrugging

Bij een T-kruispunt kan men de bus soms achter de lichten van de hoofdweg leiden zoals afgebeeld in Figuur 25.



Figuur 25 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.

## 2.4.8 Uitzonderlijk vervoer

---

Uitzonderlijk 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 (steunen, 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.

## 2.4.9 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. Als de verkeerslichten dan niet zouden werken, nemen de aangebrachte verkeerstekens de regeling van het kruispunt automatisch over. Het spreekt voor zich dat dit wel tot langere wachttijden en -rijen op de ondergeschikte kruispunttakken kan leiden. De voorrangsborden 'B1' (driehoek met een punt naar beneden) worden bij voorkeur aan de steun van een verkeerslicht bevestigd. Verkeersborden mogen nooit het zicht van een weggebruiker op een verkeerslicht belemmeren.

Naast het verkeersreglement heeft ook de ontwerper een verantwoordelijkheid om het verkeer veilig te laten blijven verlopen in geval van een defect. Als 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. Als 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. Als 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 verkeersregelinstallatie

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

- Aanduiding op het grondplan op schaal 1/250:
  - De positie van de steunen;
  - 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 paragraaf 2.5.2)

### 2.5.1 Configuratie van de lantaarns en steunen

#### 2.5.1.1 Seinen

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

- één voor elk type weggebruiker: voetgangers, fietsers/bromfietsers en gemotoriseerd verkeer (of gemengd verkeer) (respectievelijk Figuur 28, Figuur 27 en Figuur 26).
- 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 29.



Figuur 26 Licht voor gemotoriseerd verkeer of gemengd verkeer ("Volle lens")



Figuur 27 Fietserslicht



Figuur 28 Voetgangerslicht



Figuur 29 Verkeerslicht voor openbaar vervoer

Er kunnen meerdere seinen aan dezelfde steun 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, galgpalen 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 oversteken 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 bestaande steunen (voor het gemotoriseerd verkeer en fietsers) gehangen worden, dus op de hoeken van de zebra's aan de binnenzijde van het kruispunt.

- Voor fietsers wordt standaard het normale exemplaar (200 mm lensdiameter) gebruikt. Wanneer gebruik gemaakt wordt van drukknoppen, worden deze drukknoppen best niet op de steun 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 (100 mm lensdiameter) worden geplaatst. Voor de correcte criteria bij de plaatsing van deze herhalingslichten, zie paragraaf 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. AWV hanteert de regel dat een groene pijl enkel getoond wordt wanneer je conflictvrij in die richting kunt rijden, ook al is dit geen wettelijke regel.

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 30 Driekleurige pijllichten



Figuur 31 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 32. Een aparte rechtsafstrook is dan verplicht (art. 3.3.2. van het MB). Een ander voorbeeld is een rechtdoorpijl, zoals weergegeven in Figuur 33.

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



*Figuur 32 Bijkomende pijl rechtsaf*



*Figuur 33 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 34. 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 34 Ontruimingspijl*

### 2.5.1.3 Steunen

Bij het opstellen van een VRI hoort uiteraard een bepaalde opstelling van de verkeerslichten. Naast de typen lichten die gekozen kunnen worden, zijn er ook een aantal typen steunen zoals palen en portieken 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. Als deze ruimte ook geschikt moet zijn om voetgangers buiten het conflict met de langsrijdende 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 al 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 als 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.

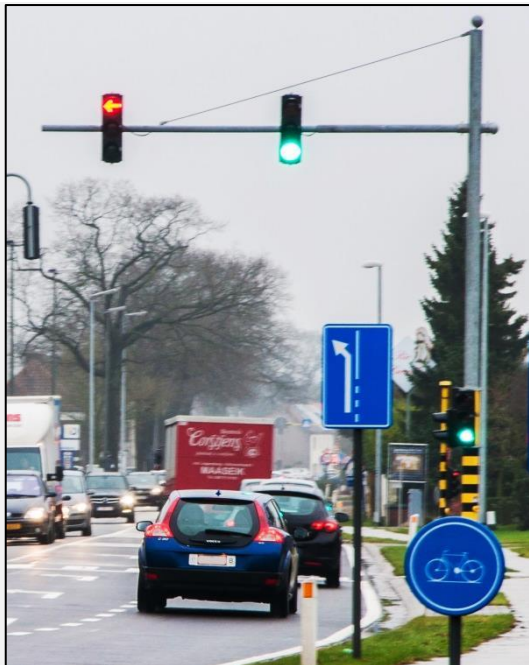
### Grote boogpaal (Draagwijdte 7,50m)



Als 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 teruggerepen 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.

Vooraf de meest starre steuntypen zoals portieken en galgpalen hebben zware funderingen en zijn niet vergevingsgezind. Dus als het toch nodig is om ze ergens te plaatsen, dan liefst niet binnen de

veiligheidsstrook. Waar het bijvoorbeeld wenselijk is om een fietserslicht binnen de veiligheidsstrook te plaatsen, verdient het aanbeveling om dit licht aan een standaard seinpaal te hangen in plaats van aan een zware steun van een portiek. Het Vademecum Vergevingsgezinde Wegen (AWV, 2020) schrijft onder meer de breedte van de veiligheidsstrook voor.



*Figuur 35 De grote boogpaal met het fietserslicht staat rechts van het fietspad; de lantaarns voor motorvoertuigen en voetgangers links ervan [Wetteren N9 x N42]*

Men dient ook te trachten om de standaard seinpalen buiten de veiligheidsstrook te plaatsen of, waar dit niet kan, om bij voorkeur een zo groot mogelijke afstand te nemen die wel kan. Afstandhouders (armen) kunnen helpen om de lichten dichterbij de weg te houden terwijl de steun op verdere afstand komt te staan.



*Figuur 36 De lantaarn hangt tussen fietspad en rijbaan, maar de seinpaal staat ver van de rijbaan [AWV; Keizerpoort]*

#### **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 minstens 4,5m van de lichten in kwestie moet liggen. Als 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 37 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.

Als er gewerkt wordt met een ontruimingspijl voor een bepaalde richting dan mag voor de tegenovergestelde richting het sein niet herhaald worden aan de overzijde van het kruispunt, aangezien dit op een foutieve manier geïnterpreteerd kan 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 twee voordelen ten opzichte van de herhaling van de driekleurige linksafslagpijl:

- Bij heel ruime kruispunten kunnen links afslaande bestuurders niet verward geraken door het zien van het rode driekleurig pijllicht terwijl ze het kruispunt nog aan het ontruimen zijn.
- Rechtdoorgaande automobilisten kunnen niet verward worden door een driekleurig sein dat op groen springt. Deze 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 steun 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 38 Herhalingslicht op ooghoogte voor fietsers*









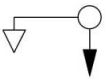

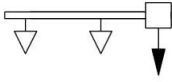
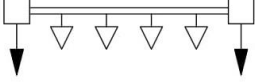




















Ook in het geval van fietserslichten is het mogelijk en vaak wenselijk om een herhalingslicht op ooghoogte te plaatsen op dezelfde steun als het gewone fietserslicht. De AVVG heeft op 26 november 2015 beslist dat budgettaire argumenten geen reden mogen zijn om geen fietserslichtjes op ooghoogte te plaatsen. “Als verkeerskundig de nood bestaat voor dergelijke lichtjes op een bepaald kruispunt, moeten deze worden geplaatst.” Ze kunnen bijvoorbeeld om de volgende redenen worden geplaatst:

- Voor veiligheid en om verwarring te voorkomen, namelijk om te vermijden dat een fietser die bij het fietserslicht staat een ander voetgangers- of fietserslicht voor zich beter kan zien dan het eigen licht.
- Voor comfort en om de kans op blokkering van het fietspad te verkleinen, namelijk om te stimuleren dat fietsers doorrijden tot hun verkeerslicht en de opstelruimte maximaal benutten.

#### **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 AWV 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 verkeersregelininstallaties. 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 Assetinformatie en Inspecties Weginfrastructuur van AWV.

<b>— LEGENDA —</b>			
	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		
		V = of	} cyclus
		Λ = en	
		X̄ = niet X	

Figuur 39 Huidige legenda van een V-plan

## 2.5.2 Naamgeving aan takken en signaalgroepen op een V-plan

---

### 2.5.2.1 Naamgeving aan kruispunttakken

Om de opmaak van een verkeerslichtenregeling te vergemakkelijken worden de verschillende takken van een kruispunt benoemd met een letter.

Indien een nieuwe naam 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 van links naar rechts gezien vanuit de weggebruiker, dus tegen de klok in van bovenaf gezien;
- De nummering van de bypass is altijd dezelfde als die van de tak waaruit deze vertrekt: 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 als 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:

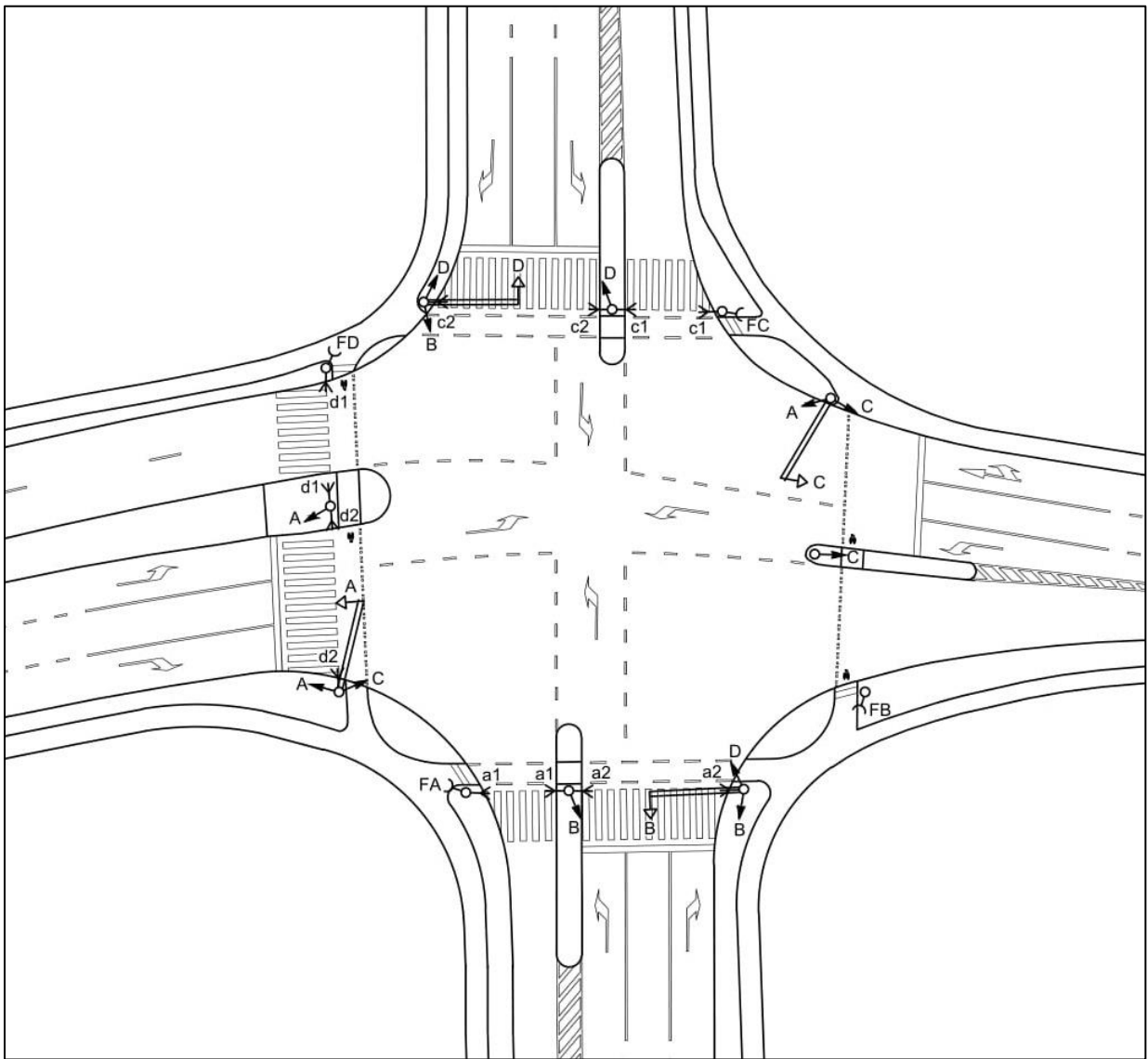
- Wanneer er enkel en alleen een aanpassing is aan de cyclustijden/groentijden, dan hoeft de gebruikte codering en symboliek niet te veranderen.
- Wanneer er een belangrijke wijziging is in de signaalgroepen, dan wordt de benaming aangepast.
- Bij een belangrijke heraanleg of herinrichting van het kruispunt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

### 2.5.2.2 Naamgeving aan signaalgroepen

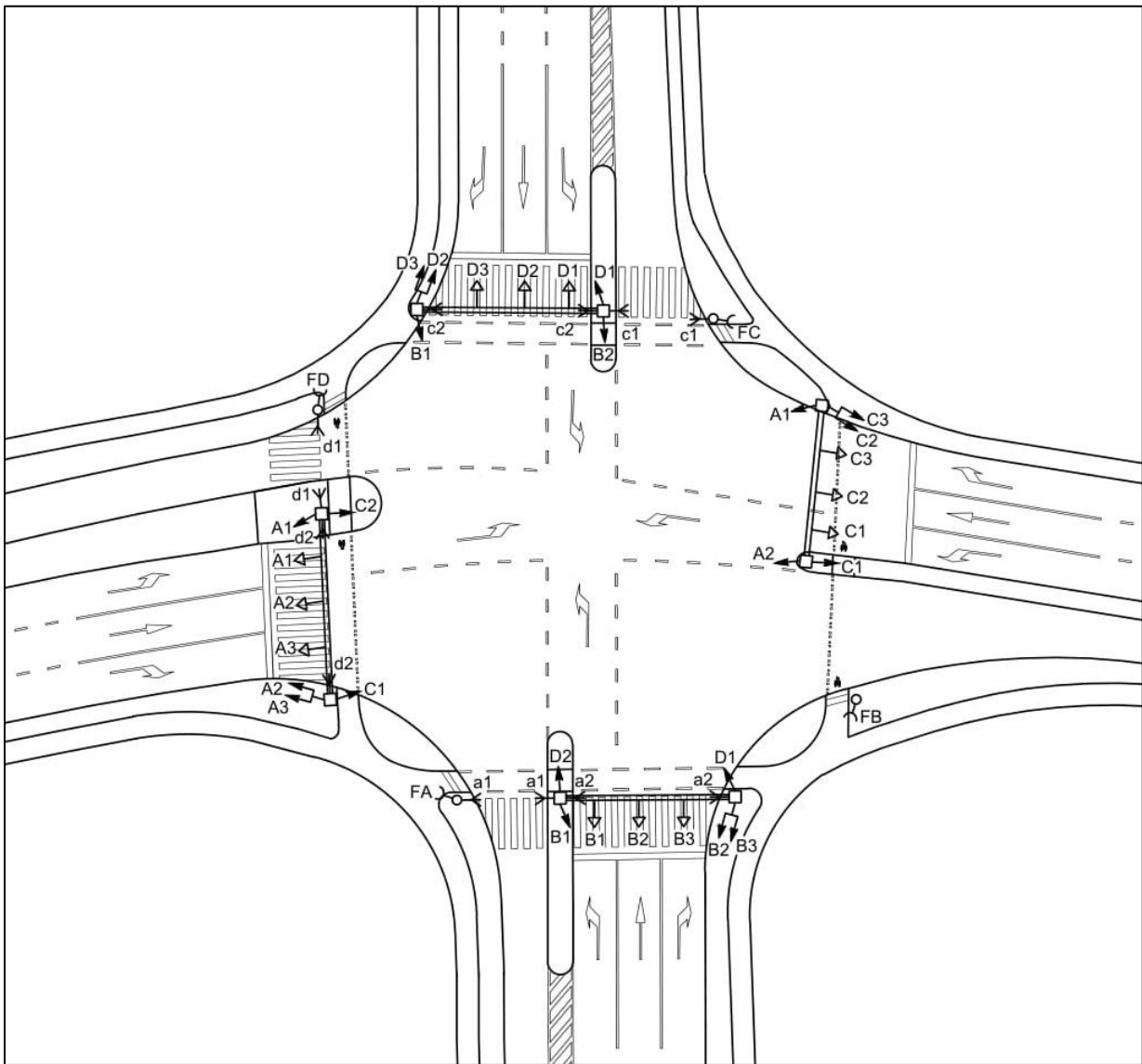
Een signaalgroep (ook wel 'seingroep' genoemd) is een groep van één of meer lantaarns die gezamenlijk aangestuurd worden, zodat ze altijd hetzelfde lichtbeeld tonen.

Indien een nieuwe naam aan de signaalgroepen wordt gegeven moet dit als volgt gebeuren:

- Lantaarns met volle lenzen: A, B, C, D (identiek aan de taknaam);
- Fietserslichten: FA, FB, FC, FD voor fietsers rechts van de betreffende tak (en op een tweerichtingsfietspad ook voor hun tegenliggers);
- Voetgangerslichten: a, b, c, d voor voetgangers rechts van de betreffende tak en hun tegemoetkomende voetgangers;
- Hulpsignalen voor voetgangers met een visuele beperking: Ha, Hb, Hc, Hd;
- Opeenvolgende voetgangers- en fietserslichten worden genummerd volgens de richting van de overstekende verkeersstroom vanuit de naamgevende tak (bijvoorbeeld FA1, FA2, a1 en a2 lopen parallel aan en rechts van de rechtdoorgaande verkeersstroom A);
- Trams/bussen (indien afzonderlijk geregeld): TA, TB, TC, TD;
- Driekleurig pijllicht linksaf (op tak A): A1;
- Driekleurig pijllicht rechtdoor: A2;
- Driekleurig pijllicht rechtsaf: A3;
- Gecombineerd driekleurig pijllicht rechtdoor + rechtsaf (d.w.z. twee pijlen per lens): A23;
- Ontruimingspijl aan de uitgang van een kruispunt voor linksaffers: A0;
- Volle lens met bijkomende groene pijl (voorlooppijl) rechtsaf: A + A3;
- Knipperlicht: KnA.



Figuur 40 Standaard-naamgeving bij een kruispunt zonder driekleurige pijllichten



*Figuur 41 Standaard-naamgeving bij een kruispunt met driekleurige pijllichten; met een kandelaar-symbool wordt weergegeven dat bijvoorbeeld de lantaarns van signaalgroepen A2 en A3 rechts vlak naast elkaar hangen*

### 2.5.2.3 Naamgeving aan detectoren

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

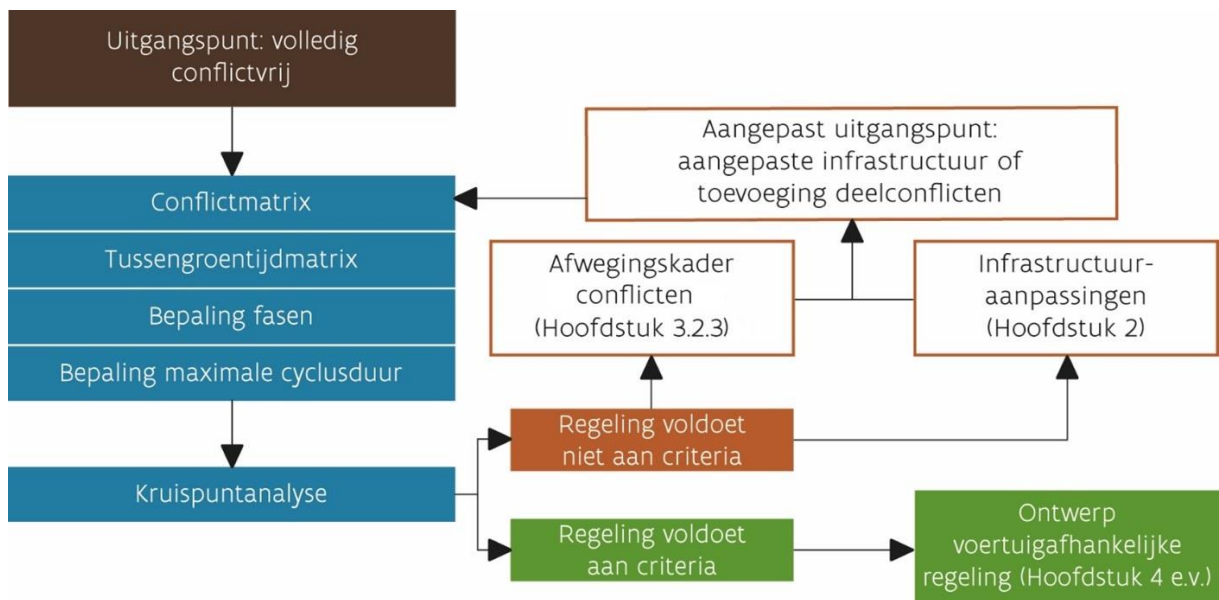
De naamgeving van deze detectoren wordt besproken verderop in dit handboek in hoofdstuk 5.

### 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 al 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 is het proces om tot deze regeling te komen beschreven. Op de volgende pagina worden alle elementen uit dit schema kort besproken.



Figuur 42 Iteratief proces van de opmaak van de basisregeling

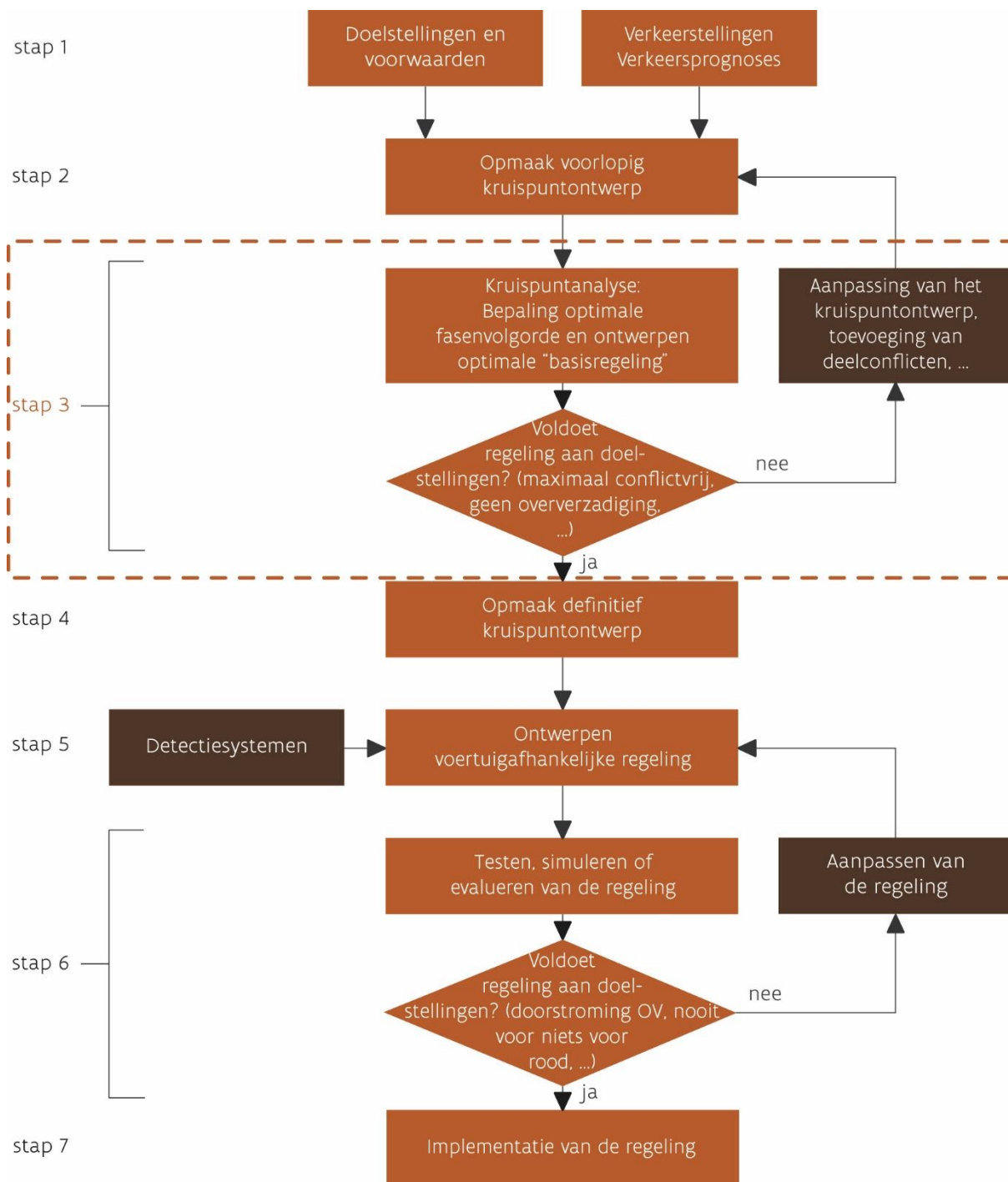
Hieronder een kort overzicht van het proces dat wordt beschreven in het schema:

- **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. Hierbij speelt de verzadigingsintensiteit een rol. Daarnaast dienen ook de overgangen tussen de verschillende fasen berekend te worden. Als dit gebeurt 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:** Als 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 (paragraaf 3.2.3)**).
- **Regeling voldoet aan criteria:** Indien het antwoord op de bovenstaande vragen positief is, kan de regeling worden beschouwd als de “optimale basisregeling”. Als 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.



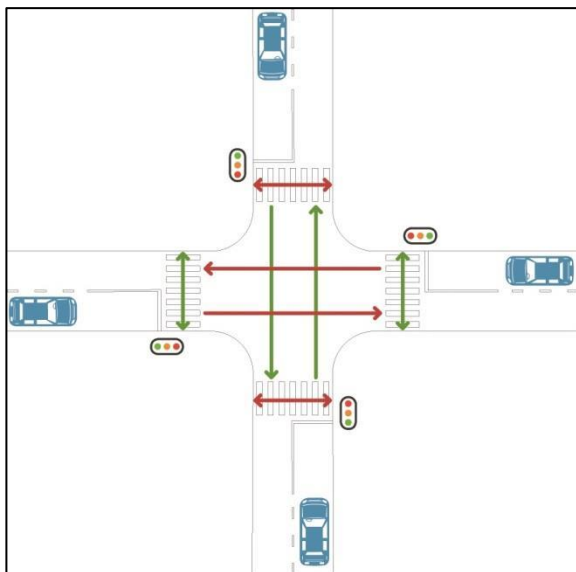
Figuur 43 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 3)

## 3.1 De basisregeling: de eerste iteratie

### 3.1.1 Conflictmatrix

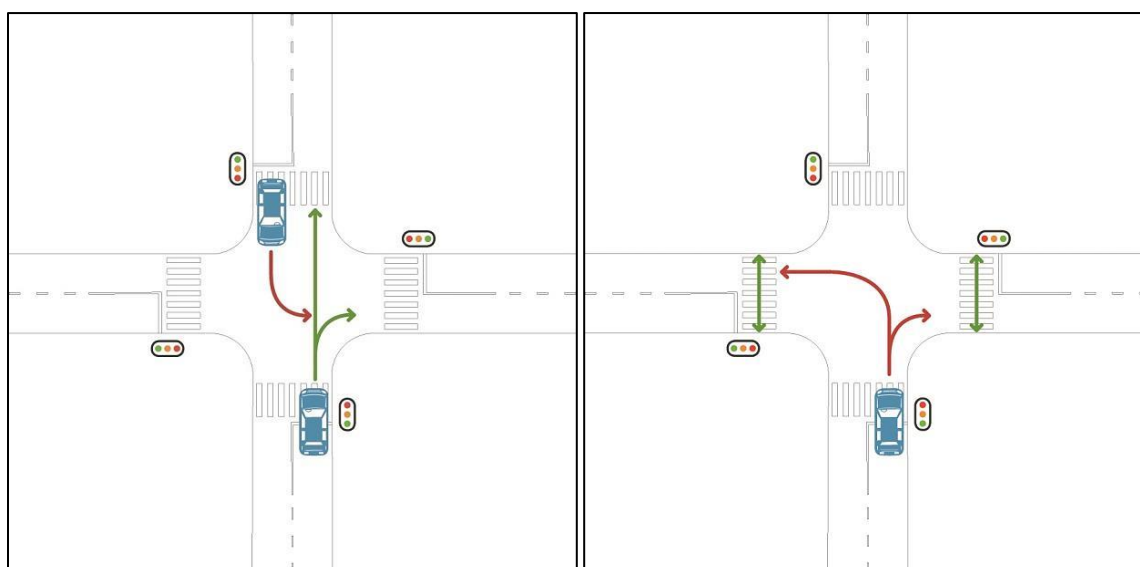
Op een kruispunt snijden verkeersstromen elkaar en worden verkeersstromen samengevoegd. Om dit in goede banen te leiden zijn verkeerslichten en hun regelingen ontworpen. Om een verkeerslichtenregeling te ontwerpen wordt eerst bepaald welke conflicten door de lichten geregeld worden. De overige conflicten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

- **Primaire** conflicten op het lichtengeregelde deel van het kruispunt worden altijd door de lichten geregeld. De twee betrokken verkeersstromen hebben dus nooit samen groen of oranjegeel.



Figuur 44 Primaire 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 volgens het verkeersreglement: ze hebben dan een 'deelconflict'.

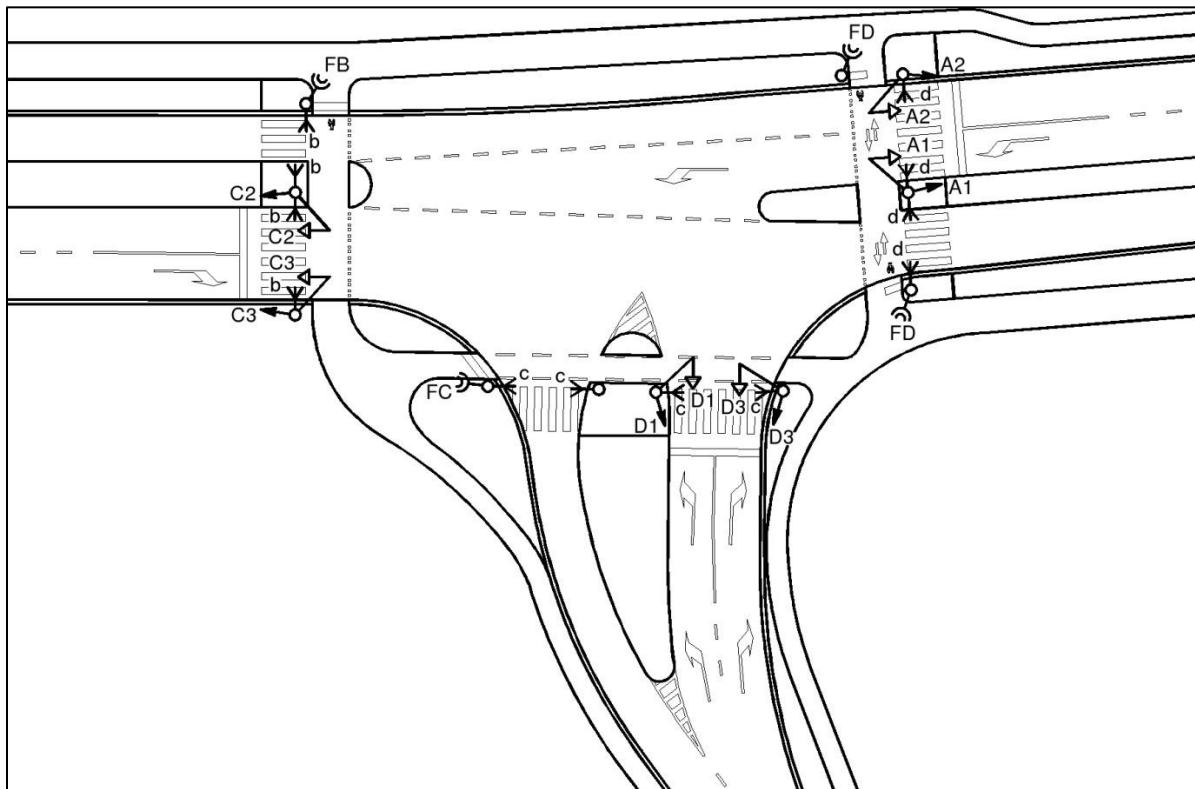


Figuur 45 Voorbeelden van secundaire conflicten

Aangezien het uitgangspunt "volledig conflictvrij" is in de eerste iteratie, worden ook secundaire conflicten 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 46 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 46 Voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix

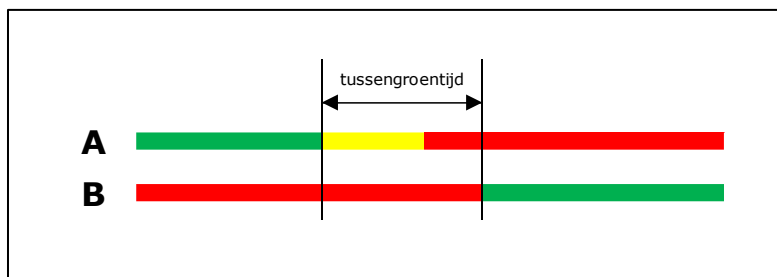
Enkele opmerkingen bij dit voorbeeld:

- Voor richting A1 geldt dat C2, C3, D1, FC, FD, c 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. Een lichtenregeling kan dat soort conflicten moeilijk(er) vatten. Wederzijds respect tussen voetgangers en fietsers en daarmee samengaan gedrag lijken hiervoor eerder aangewezen. (Departement MOW en AWW, 2022)

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 richting. Het toevoegen van deelconflicten wordt behandeld in paragraaf 3.2.3.

### 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 47 Voorbeeld van de tussengroentijd tussen signaalgroep A en signaalgroep 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

Voor primaire conflicten:  $t_{tg} = \text{maximum van } (t_{af} - t_{op}) \text{ en } (t_{gl} + 1)$ <sup>1</sup>

Voor andere lichtengeregelde conflicten (bijvoorbeeld conflict van A met FA):  $t_{tg} = t_{af} - t_{op}$

(afgerond naar boven vanaf n,3)<sup>2</sup>

Hierin is:

$t_{tg}$  : minimale tussengroentijd

$t_{af}$  : maximale afrijtijd

$t_{op}$  : minimale oprijtijd

$t_{gl}$  : oranjegeeltijd

<sup>1</sup>Toelichting:

Bij primaire conflicten is de beide-roodtijd minstens 1 seconde, dus moet de tussengroentijd minstens gelijk zijn aan de oranjegeeltijd plus 1 seconde.

<sup>2</sup>Toelichting:

Omdat de vaste tijden tot op heden in gehele seconden worden uitgedrukt en ingesteld, moet er worden afgerond. Voor de veiligheid wordt bijvoorbeeld 4,30 s afgerond naar 5 s tussengroentijd. 4,29 wordt wel afgerond naar 4 s.

Om deze tussengroentijd te berekenen, dienen:

- 1) de oranjegeeltijd berekend of bepaald te worden (zie paragraaf 3.1.2.2);
- 2) de maximale afrijtijden (zie paragraaf 3.1.2.3) en minimale oprijtijden (zie paragraaf 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) het verschil tussen deze afrijtijd en oprijtijd berekend te worden en enkele ophogingen uitgevoerd te worden om de tussengroentijd te berekenen.

### 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 signaalgroep. 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 gedrang brengt.

Algemeen worden volgende (minimum)oranjegeeltijden voorzien:

Oranjegeeltijd	Toepassing
3 seconden	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gemotoriseerd verkeer <math>\leq 50</math> km/h en links en rechts afslaande bewegingen van gemotoriseerd verkeer</li><li>• Fietsers en bromfietsers</li></ul>
4 seconden	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rechtdoorgaand gemotoriseerd verkeer (70 km/h)</li><li>• Trams (linksaf, rechtdoorgaand en rechtsaf) bij <math>&lt; 90</math> km/h</li></ul>
5 seconden	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rechtdoorgaand gemotoriseerd verkeer (90 km/h)</li><li>• Rechtdoorgaande trams bij 90 km/h</li></ul>

Tabel 1 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). 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 over 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/s<sup>2</sup>. 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 veruit 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. AWV heeft voor het laatste gekozen. Daaruit volgt dat we met een reactietijd van 0,75 s en een afremvertraging van 3,0 m/s<sup>2</sup> 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 maximumsnelheid. 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

Als 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. De maximum toegelaten snelheid voor een lichtengeregeld kruispunt verlagen zal om verschillende redenen de kans op letselongevallen sterk verlagen.

### 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

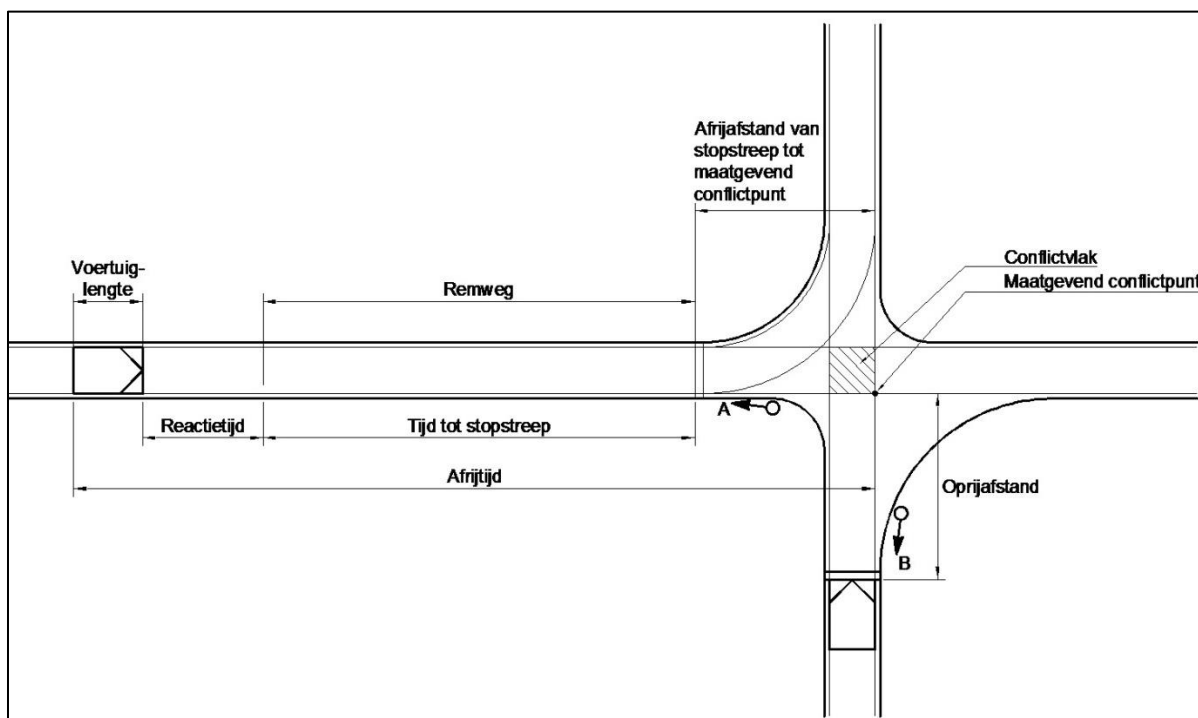
$d_{af}$  : de afrijafstand van de stopstreep tot voorbij het conflictvlak

$l_{af}$  : de lengte van het afrijdende voertuig

$v_{\text{max}}$  : de maximumsnelheid

$v_{af}$  : de minimale afrijnsnelheid

Ter verduidelijking worden in de onderstaande Figuur 48 de elementen van deze berekening visueel voorgesteld.



Figuur 48 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.

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

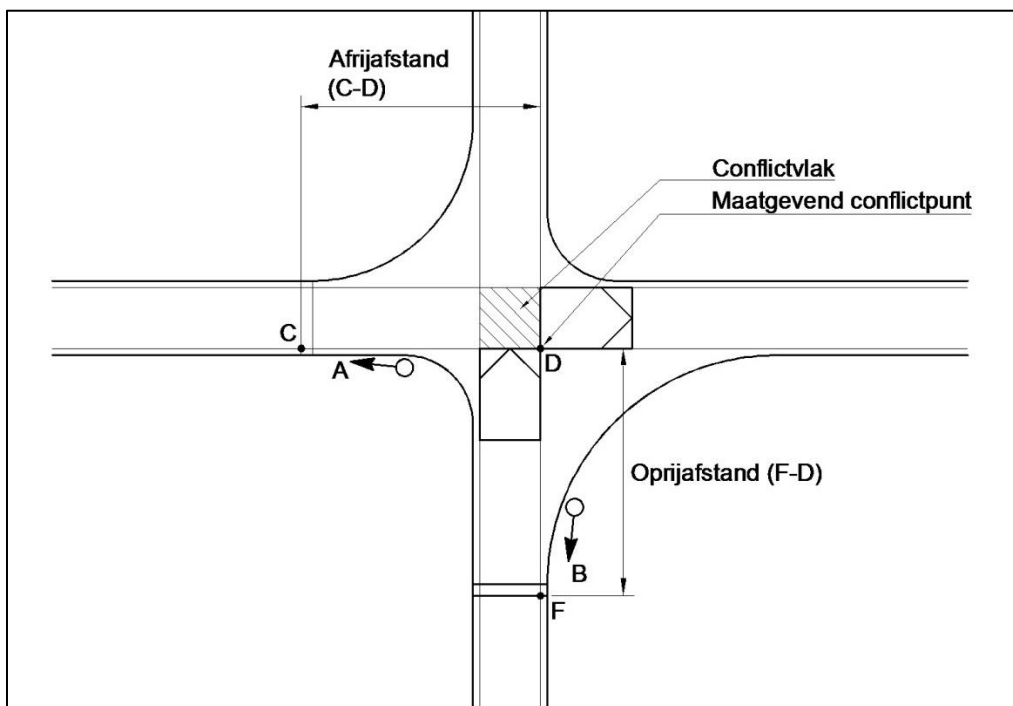
- Voor de remvertraging van trams blijkt uit praktijktesten dat  $1,2 \text{ m/s}^2$  een realistische waarde is. In het verleden werd echter steeds de remvertraging van voertuigen ook gebruikt voor trams. In dit handboek bepalen we dat  $1,2 \text{ m/s}^2$  de voorkeur geniet voor de berekeningen bij nieuwe lichtenregelingen. Dit betekent echter geen verplichting; ook oudere lichtenregelingen dienen hier niet specifiek voor worden aangepast. In de praktijk zal de tram al 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)**

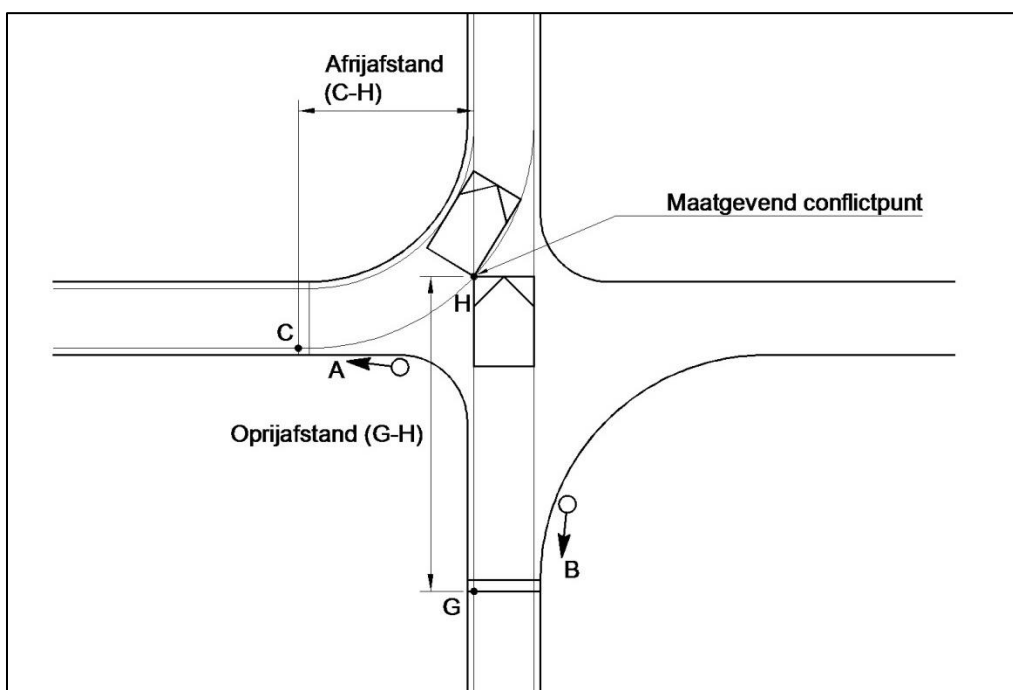
Deze afstand dient opgemeten te worden op het grondplan.

Figuur 49 en Figuur 50 bevatten twee verschillende soorten conflicten waarvoor de afrijafstand kan opgemeten worden:

- Figuur 49 is een conflict tussen twee snijdende verkeersstromen (A rechtdoor en B rechtdoor): hiervoor is de afrijafstand de afstand tussen punten C en D.
- Figuur 50 is een conflict tussen twee samenvoegende verkeersstromen (A linksaf en B rechtdoor): hiervoor is de afrijafstand de afstand tussen punten C en H.



Figuur 49 Afrijaafstand en oprijaafstand bij kruisende verkeersstromen



Figuur 50 Afrijaafstand en oprijaafstand 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 standaardwaarde van 6 m genomen. Maar als er fietsers meedelen met het gemotoriseerd verkeer zonder een apart fietserslicht, dan zijn die het maatgevend traag voertuig en veronderstellen we  $I_{af,traag\ voertuig} = 2\text{ m}$ .

De lengte van trams is afwijkend t.o.v. gewone voertuigen. Voor trams wordt als standaardwaarde 30 m genomen.

### **$v_{\max}$ (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 afrijtsnelheid)**

#### Gemotoriseerd verkeer

Voor het trage voertuig is de maatgevende of minimale afrijtsnelheid ( $v_{af}$ ) 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, als 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 afslaand voertuig) te berekenen vanuit stilstand.

#### Trams

De afrijtsnelheid van trams worden berekend zoals bij gewone voertuigen (er wordt evenwel geen onderscheid gemaakt tussen trage of snelle trams. De afrijtsnelheid is 10 m/s). Bij voorkeur wordt bij bochtige tracés echter de afrijtsnelheid via praktijkonderzoek bijgesteld, aangezien de werkelijke afrijtsnelheid dan mogelijk veel trager is.

#### Fietsers

Voor de afrijtsnelheden 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 er veilig te staan; zie paragraaf 2.4.2. 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 wordt bepaald dat "nieuwe installaties moeten ontworpen worden rekening houdend met een snelheid van 1 m/s". (Ministerie van Openbare Werken en Verkeer, 1990)

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	6 m	10 m/s
Trams	30m	10 m/s
Fietsers	2 m	5 m/s
Voetgangers	0 m	1,0 m/s Bijzondere situaties: 0,8 m/s

Tabel 2 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 maximumsnelheid heeft bereikt. Vanaf dit punt wordt er verder gereden met een constante (maximum) snelheid.

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

$$d_{op} < d_{krit}$$

$$d_{krit} = \frac{v_{max}^2}{2 \cdot (a_{op} - a_{af})}$$

$$t_{op} = \sqrt{\frac{2 \cdot d_{op}}{a_{op} - a_{af}}}$$

$$d_{op} > d_{krit}$$

$$t_{op} = \frac{d_{op}}{v_{max}} + \frac{v_{max}}{2 \cdot (a_{op} - a_{af})}$$

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/s<sup>2</sup>)

$a_{af}$  : de afremvertraging van het oprijdende voertuig (m/s<sup>2</sup>)

$v_{max}$  : 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 49 en Figuur 50 bevatten twee verschillende soorten conflicten waarvoor de oprijafstand kan opgemeten worden:

- Figuur 49 is een conflict tussen twee snijdende verkeersstromen (A rechtdoor en B rechtdoor): hiervoor is de oprijafstand de afstand tussen punten F en D.
- Figuur 50 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/s<sup>2</sup>)**

**$a_{af}$  = de afremvertraging van het oprijdende voertuig (m/s<sup>2</sup>)**

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 <sup>2</sup>	2 m/s <sup>2</sup>
Afremvertraging ( $a_{af}$ )	- 2 m/s <sup>2</sup>	- 2 m/s <sup>2</sup>

Tabel 3 Oprijversnelling en afremvertraging

Standaard wordt verondersteld dat de weggebruiker vooraf niet zeker is van het exacte moment van groen worden, dus krijgt  $a_{op} - a_{af}$  een waarde van 3,5 m/s<sup>2</sup>.

Voor trams geldt hier als afremvertraging 1,2 m/s<sup>2</sup> 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 4 Maximumsnelheden ter berekening van de kritische oprijafstand

**3.1.2.5 Automatische berekening van tussengroentijden**

In een computerprogramma zoals Lisa+ moet de 'crossing time'  $t_{cr}$  ingevuld worden, ook wel aangeduid als het gebruikte deel van de oranjegeeltijd. Hiervoor nemen we de som van de reactietijd en de tijd tot stopstreep, dus  $t_{cr} = t_R + t_s$ , afgerond op tienden van een seconde.

Trage parameters		Appr. 1	Appr. 2	Appr. 3	Appr. 4
	Speed in km/h	30	50	70	90
<b>Stright</b>	<i>Vc</i>	7	10	10	10
	<i>Tcr</i>	1,9	2,4	2,4	2,4
	<i>Ve</i>	8,3	13,9	19,4	25
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>Right</b>	<i>Vc</i>	7	7	7	7
	<i>Tcr</i>	1,9	1,9	1,9	1,9
	<i>Ve</i>	7	13,9	13,9	13,9
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>Left</b>	<i>Vc</i>	7	7	7	7
	<i>Tcr</i>	1,9	1,9	1,9	1,9
	<i>Ve</i>	7	13,9	13,9	13,9
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>U-Turn</b>	<i>Vc</i>	5	5	5	5
	<i>Tcr</i>	1,6	1,6	1,6	1,6
	<i>Ve</i>	7	10	10	10
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>Snelle parameters</b>					
<b>Stright</b>	<i>Vc</i>	8,3	13,9	19,4	25
	<i>Tcr</i>	2,1	3,1	4	4,9
	<i>Ve</i>	8,3	13,9	19,4	25
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>Right</b>	<i>Vc</i>	8,3	13,9	13,9	13,9
	<i>Tcr</i>	2,1	3,1	3,1	3,1
	<i>Ve</i>	8,3	13,9	13,9	13,9
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>Left</b>	<i>Vc</i>	8,3	13,9	13,9	13,9
	<i>Tcr</i>	2,1	3,1	3,1	3,1
	<i>Ve</i>	8,3	13,9	13,9	13,9
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>U-Turn</b>	<i>Vc</i>	8,3	10	10	10
	<i>Tcr</i>	2,1	2,4	2,4	2,4
	<i>Ve</i>	7	10	10	10
	<i>Ae</i>	3,5	3,5	3,5	3,5

Tabel 5 Parameters voor computerprogramma's zoals Lisa+

### 3.1.2.6 Ophoging tussengroentijden

Bij deelconflicten zijn de hierboven berekende afrijtijden te krap, omdat (een deel van) de afslaande motorvoertuigen pas beginnen af te rijden nadat een ander conflictvlak ontruimd is.

Bij een deelconflict is er een voorrangsplichtige richting (afslaande automobilisten) betrokken en een voorrangsgerechtigde richting. Je bepaalt het aantal voorrangsplichtige voertuigen dat zich redelijkerwijs voorbij de stopstreep kan opstellen: tot ruim één per 7 meter opstelruimte, maar mogelijk minder voertuigen bij lage intensiteit. Doe dat aantal maal 2 seconden. Als de groenfasen van de voorrangsplichtige en voorrangsgerechtigde richting tegelijk eindigen, dan volstaat meestal de vereenvoudiging om alle afrijtijden vanaf de voorrangsplichtige richting met dat berekende aantal op te hogen. Als de twee groenfasen op een verschillend moment eindigen, dan is de afhankelijkheid complexer en kan er soms een extra randvoorwaarde aan de lichtenregeling gesteld moeten worden, los van de tussengroentijdenmatrix.

Naast deze handmatige ophoging van de afrijtijd, gebeurt er zoals eerder vermeld een ophoging bij primaire conflicten tot minstens de geeltijd plus één seconde. Tot slot is er dus de ruime afronding vanaf  $n,3$ , zodat bijvoorbeeld 4,30 wordt afgerond naar 5 s.

### 3.1.2.7 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 signaalgroepen. Deze tussengroentijdmatrix kan eveneens gebruikt worden als veiligheidscheck bij het implementeren van de regeling. Als 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 51.

	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 51 Voorbeeld van een tussengroentijdmatrix

### 3.1.3 Verzadigingsintensiteiten

Na het bepalen van de conflictmatrix en berekenen van de tijden voor de tussengroentijdmatrix, komt de volgende stap voor het ontwerpen van de basisregeling: het berekenen van de verzadigingsintensiteit of afrijcapaciteit.

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 (pae/u)	1850	1875	1900	1950	2075	2250

Tabel 6 Verzadigingsintensiteiten in functie van de breedte van de rijbaan (Webster, 1958)

Praktisch gezien kunnen metingen ook uitgevoerd worden om de verzadigingsintensiteit te kennen als het verkeer op het kruispunt geregeld wordt door verkeerslichten of door de politie. In dit geval beginnen de tellingen vanaf de 5de à 10de seconde groen licht (als optrekverliezen geen rol meer spelen) en worden ze verdergezet totdat de voertuigen niet meer op 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 allemaal 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 verstrekkinge 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. Als 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 rechtsaffers, worden verschillende waarden gehanteerd afhankelijk van het aandeel verkeer dat afslaat. Als bijna al het verkeer rechtdoor gaat, kan 1800 pae/u gebruikt worden. Als 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 typen voertuigen op de verzadigingsintensiteit wordt uitgedrukt in de volgende equivalentiecoëfficiënten (uitgedrukt in eenheden van personenwagens).

- 1 zware en halfzware 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 personenauto-equivalenten of "pae".

### **3.1.3.2 Invloed van het langspiegel**

Het langspiegel 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 stopstreep tot aan de stopstreep 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)

(Webster, 1958)

#### b) Geen afzonderlijke fasen (bijvoorbeeld: klassieke tweefasenregeling)

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 links afslaand verkeer afgewikkeld kan worden:

- *tijdens de groenfase*

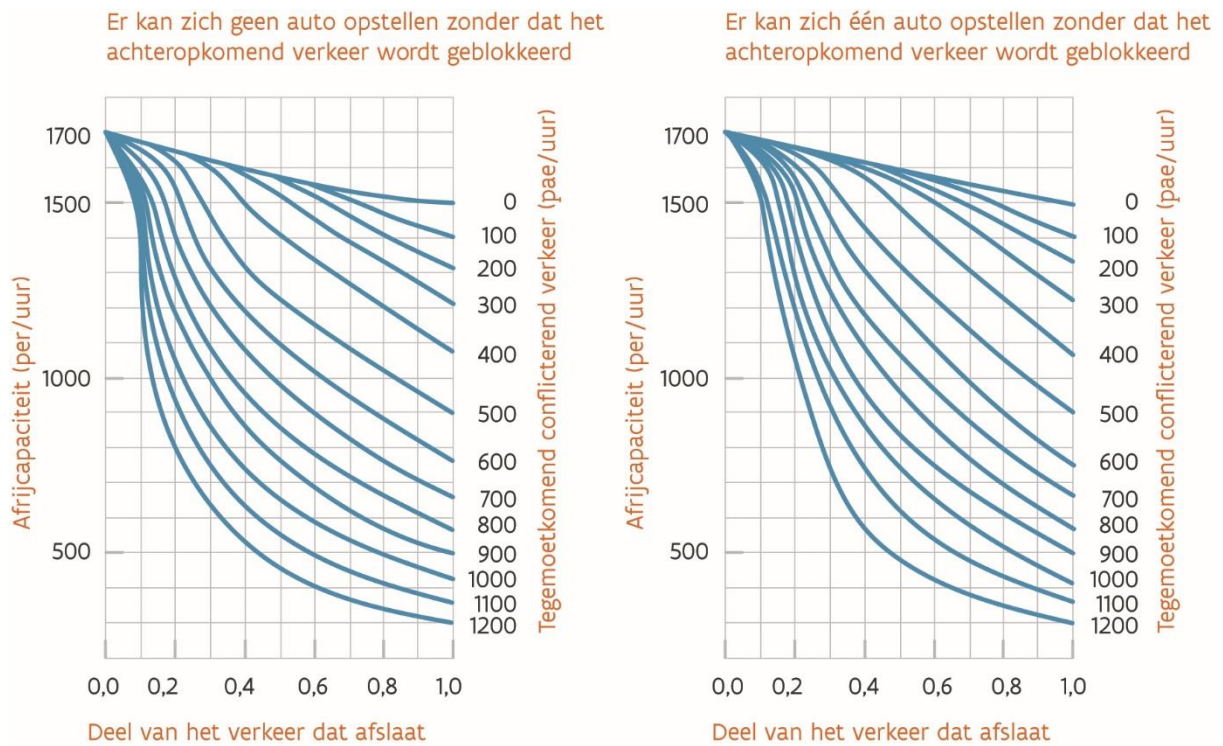
In het eerste gedeelte van de groenfase is het tegemoetkomend verkeer vaak uit een wachtrij vertrokken en kan er geen links afslaand verkeer gebeuren. In het tweede gedeelte van de groenfase kan er nog tegemoetkomend verkeer aan komen rijden waar mogelijk wel een hiaat in gevonden kan worden door het 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 al 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.

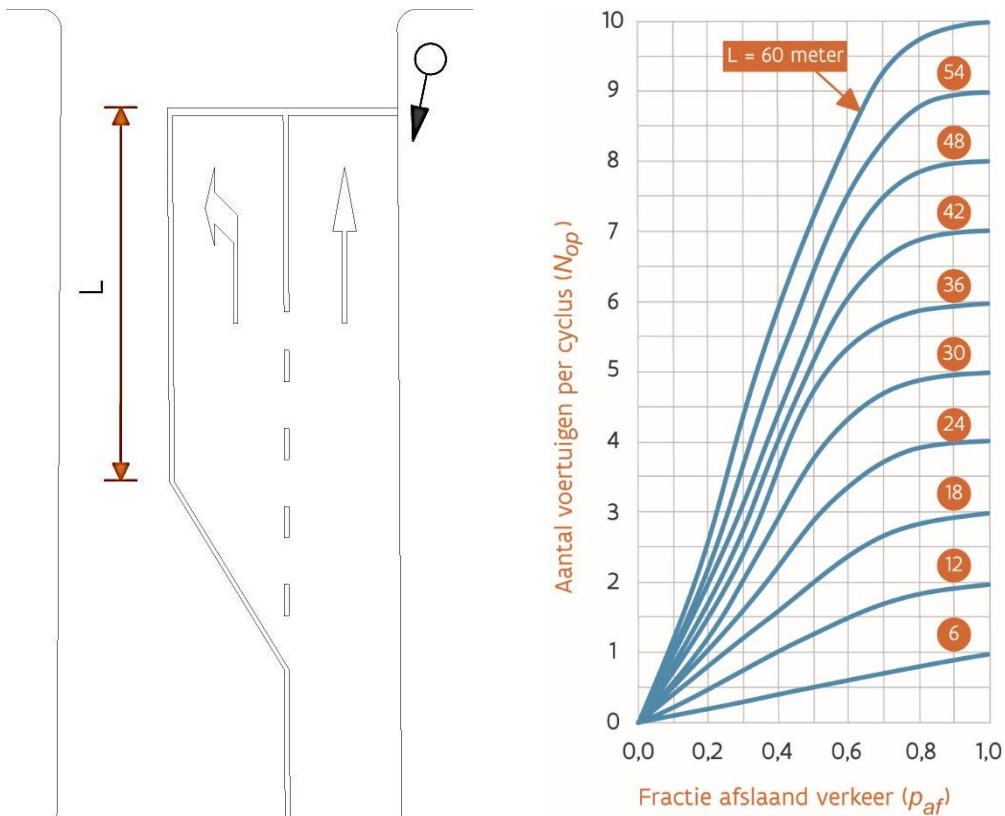
In principe is de regeling in de eerste iteratie van dit stadium van het ontwerp nog niet gekend, dus kan er enkel een inschatting van de afrijcapaciteit van deze strook worden gemaakt. De voorlopige capaciteit kan uit Figuur 52 afgeleid worden aan de hand van de intensiteit van het tegemoetkomend verkeer en de fractie van het verkeer op de rijstrook dat linksaf slaat. Als het een linksafstrook betreft die enkel door links afslaand verkeer wordt gebruikt, is de fractie 1,0.



Figuur 52 Voorlopige inschatting van de afrijcapaciteit voor een strook met links afslaand verkeer dat niet exclusief wordt geregeld (CROW, 2014)

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



Figuur 53 Aantal pae's dat in een cyclus een linksafstrook kan oprijden (CROW, 2014)

Bijvoorbeeld: Als de helft van het verkeer links afslaat, kunnen er bij een strook van 30m 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 52 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 vanaf een gecombineerde rechtdoor-rechtsafstrook

Wanneer meer dan 10% van de voertuigen op de rijstrook rechts afslaan, dan telt volgens het T.R.R.L. elk bijkomend rechts afslaand voertuig als 1 ¼ voertuig dat rechtdoor rijdt. Als het rechts afslaand 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<sup>ste</sup> 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 overzichtelijkheid van een 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).

Als 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, zowel handmatig als softwarematig (CROW, 2014).

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 signaalgroepen in de maatgevende conflictgroep:

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

De belastingsgraad van een bepaalde signaalgroep ( $y$ ) 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 54 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, als het verkeer van de maatgevende signaalgroepen 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 signaalgroep uit de maatgevende conflictgroep wordt gecombineerd met enkele andere niet-conflicterende signaalgroepen, zodanig dat elke signaalgroep minstens één keer aan de beurt komt:

1: A1 + A2 + D3

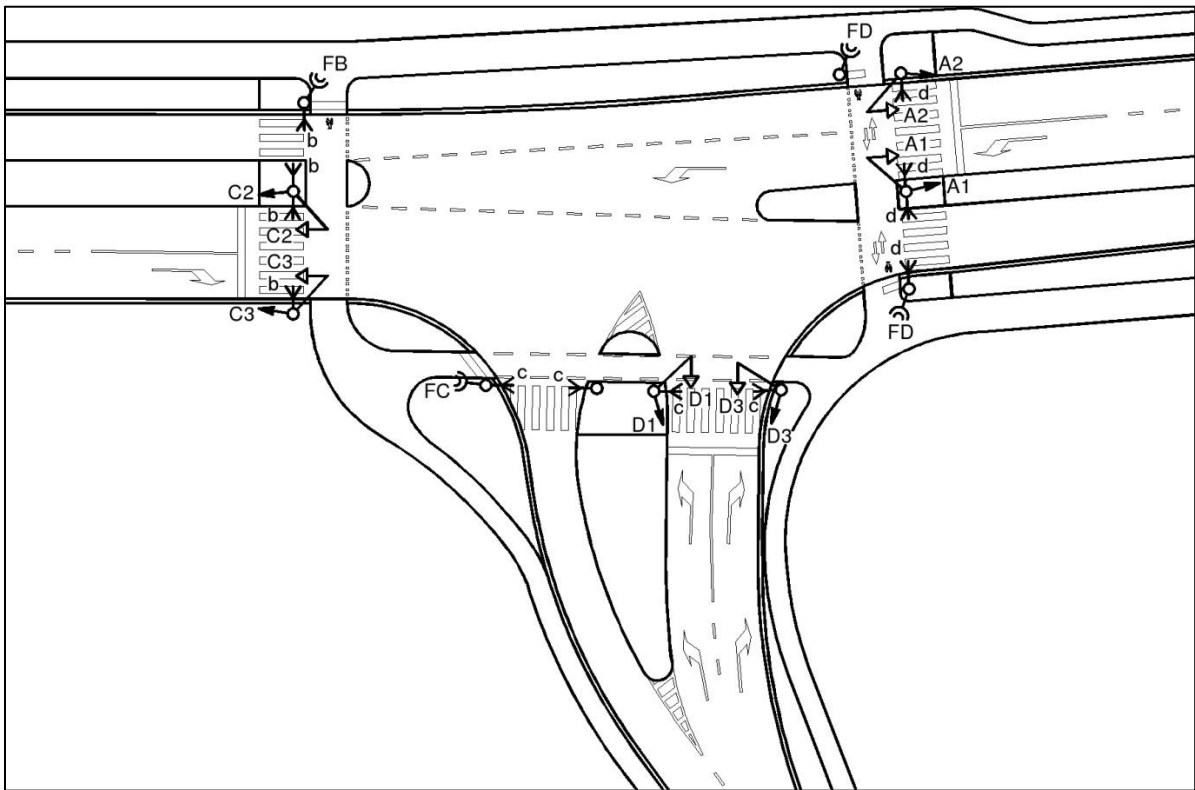
2: C2 + A2 + FC + c

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 54 Voorbeeldkruispunt met bijbehorende conflictmatrix (idem Figuur 46)

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, zowel bij volledig conflictvrije regelingen als bij deelconflicten die soms toch geïntroduceerd moeten worden bij volgende iteraties:

- 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 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 de helft van het kruispunt moet meeverlengen of moet in een wachtstand blijven hangen tot ook de andere helft klaar is voor een overgangsfase, dan gebeurt dit beter tijdens groen voor richtingen met hoge intensiteit. De kans is dan namelijk groter dat er iemand alsnog baat heeft bij dat groen. Kortom: in de starre basisregeling kan de ene fasenvolgorde efficiënter lijken, maar voor de uiteindelijke voertuigafhankelijke regeling kan een andere fasenvolgorde leiden tot een lagere verliestijd;
- 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 paragraaf 2.4.1.1);
- 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 conflictvrije” 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 paragraaf 3.1 al 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 al 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 een 'Verkeerskundige verkeersplannen' van AWW 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 ervoor 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 actieve 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 ervoor gekozen worden om bij voorkeur deze bewegingen conflictvrij te maken.

Het toevoegen van deelconflicten wordt gedetailleerd behandeld in paragraaf 3.2.3.

### **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:

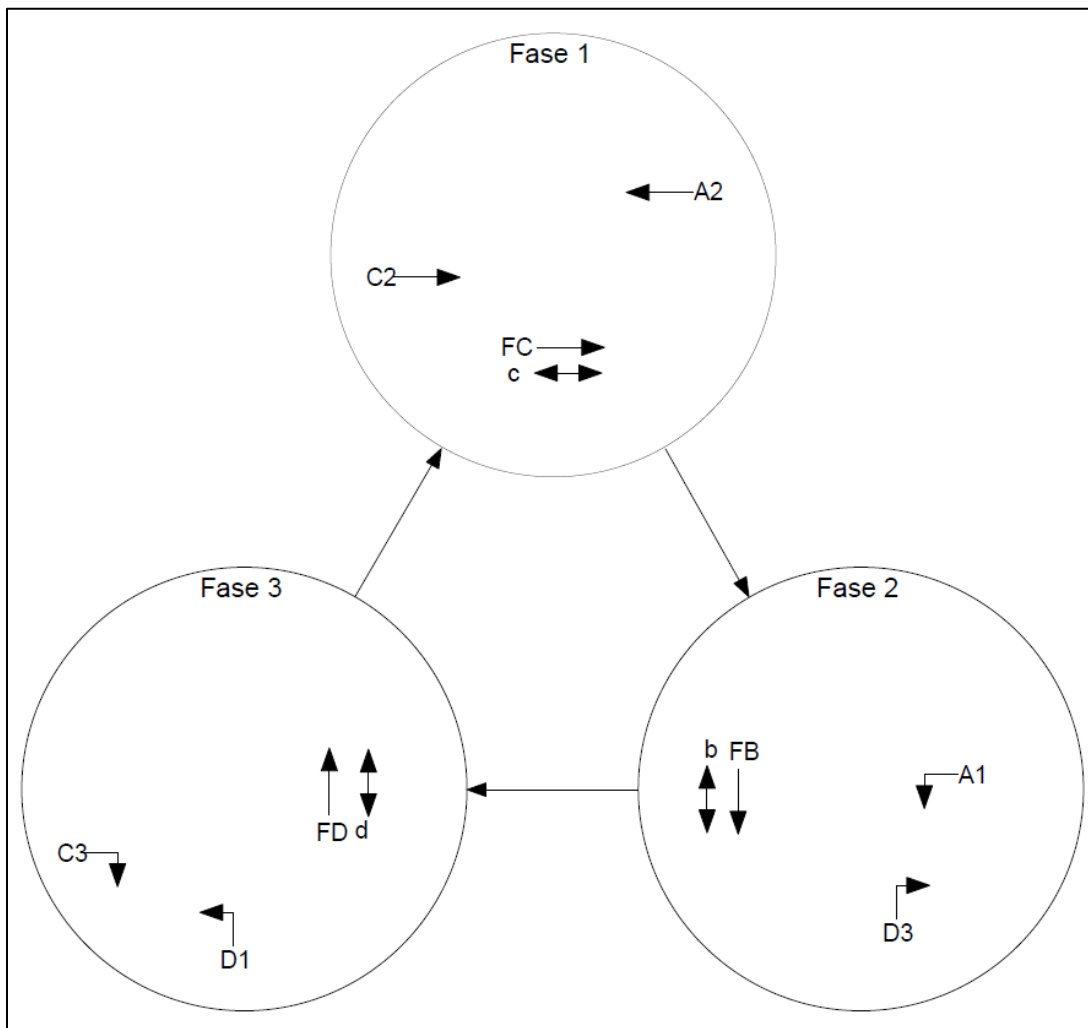
- Volledig conflictvrije regeling
- Gedeeltelijk conflictvrije regeling
- Niet-conflictvrije regeling

#### **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 actieve weggebruikers.

Bij 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.

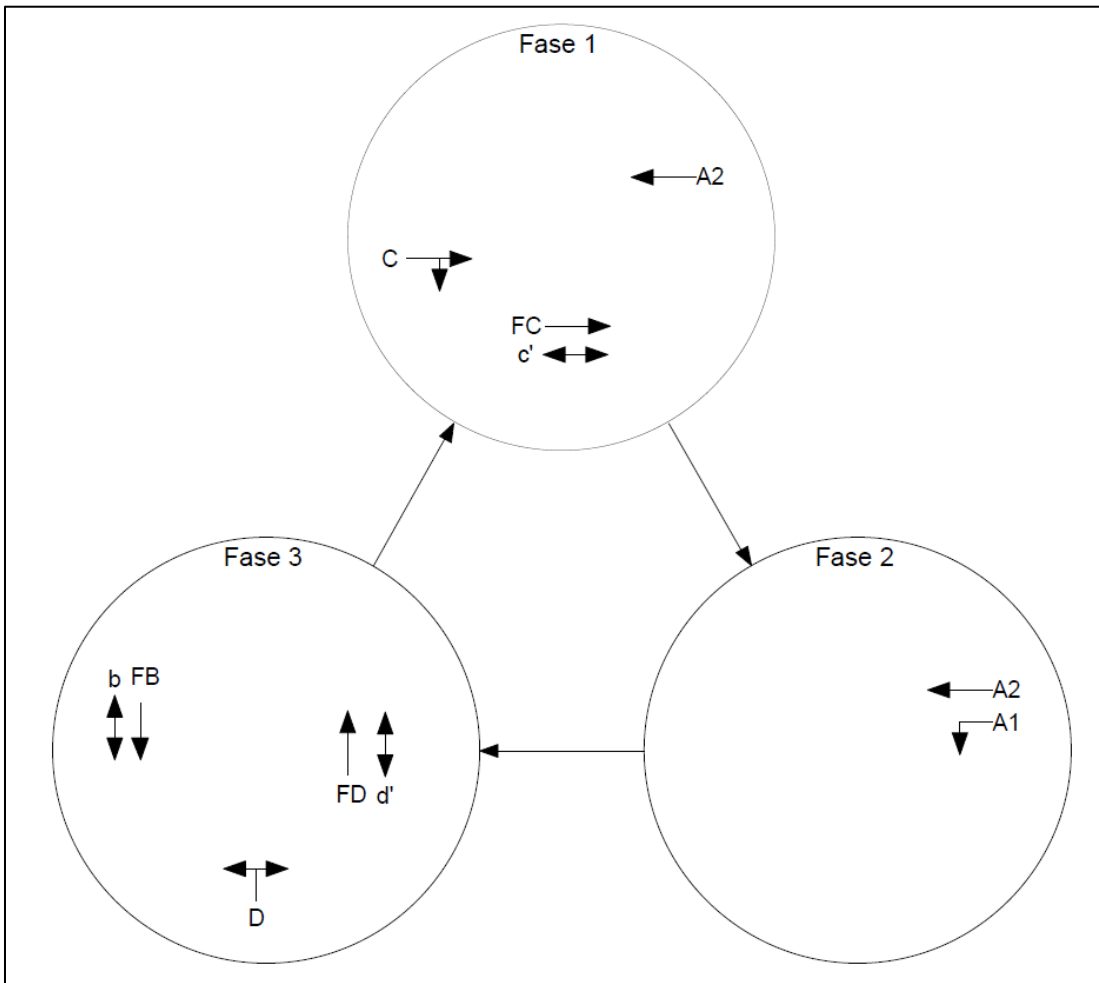


*Figuur 55 Voorbeeld van een conflictvrije regeling op een T-kruispunt*

### **b) Gedeeltelijk conflictvrije regeling**

Bij een gedeeltelijk conflictvrije (of semi-conflictvrije) lichtenregeling worden niet alle conflicten geregeld. Een veelvoorkomend voorbeeld hiervan is wanneer de linksafslagbeweging 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.

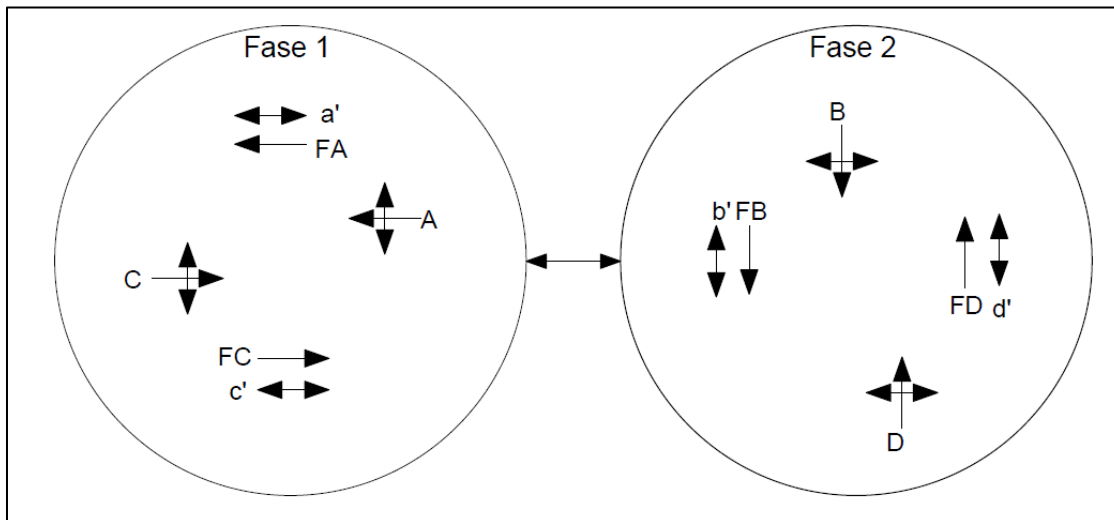


*Figuur 56 Voorbeeld van een gedeeltelijk conflictvrije regeling op een T-kruispunt*

### 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 tweefasenregeling, bijvoorbeeld zoals voorgesteld voor kruispunt met vier takken in Figuur 57.



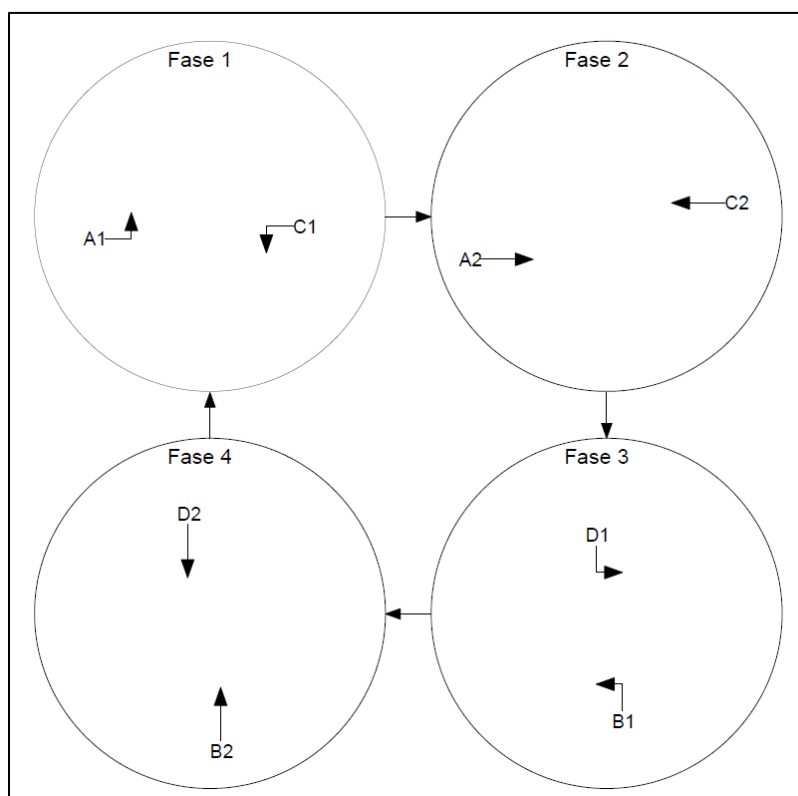
Figuur 57 Voorbeeld van een niet-conflictvrije regeling

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

### 3.1.5.3 Algemene aandachtspunten bij het opmaken van de fase-indeling

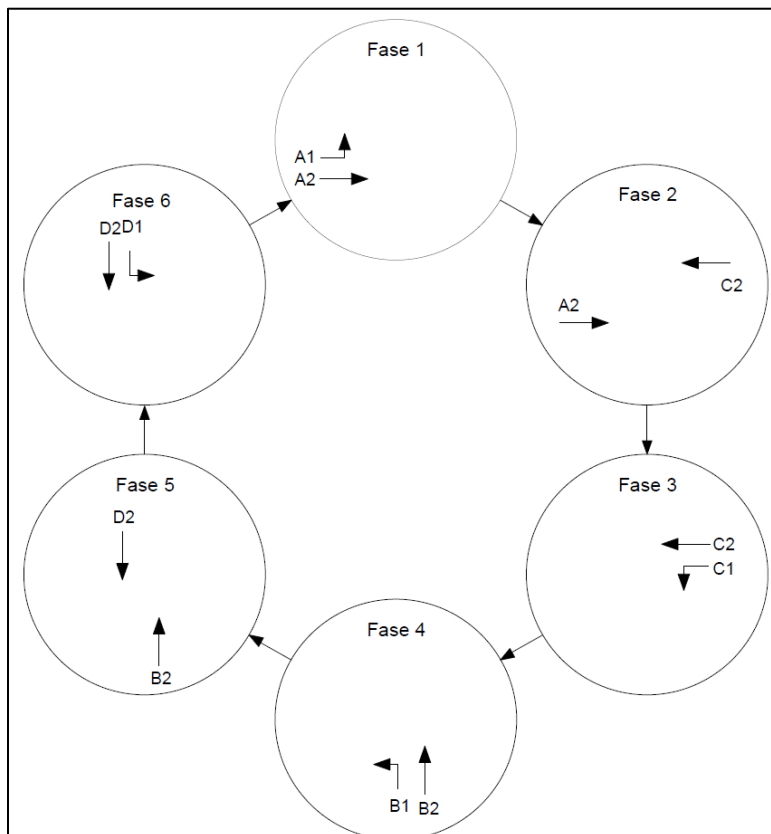
Daarnaast zijn er een aantal algemene aandachtspunten die in acht genomen moeten worden bij het maken van de fase-indeling van een maximaal conflictvrije regeling:

- Linksafslagbewegingen kunnen samen geregeld worden als 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 paragraaf 4.1.2.3) (zie Figuur 58)



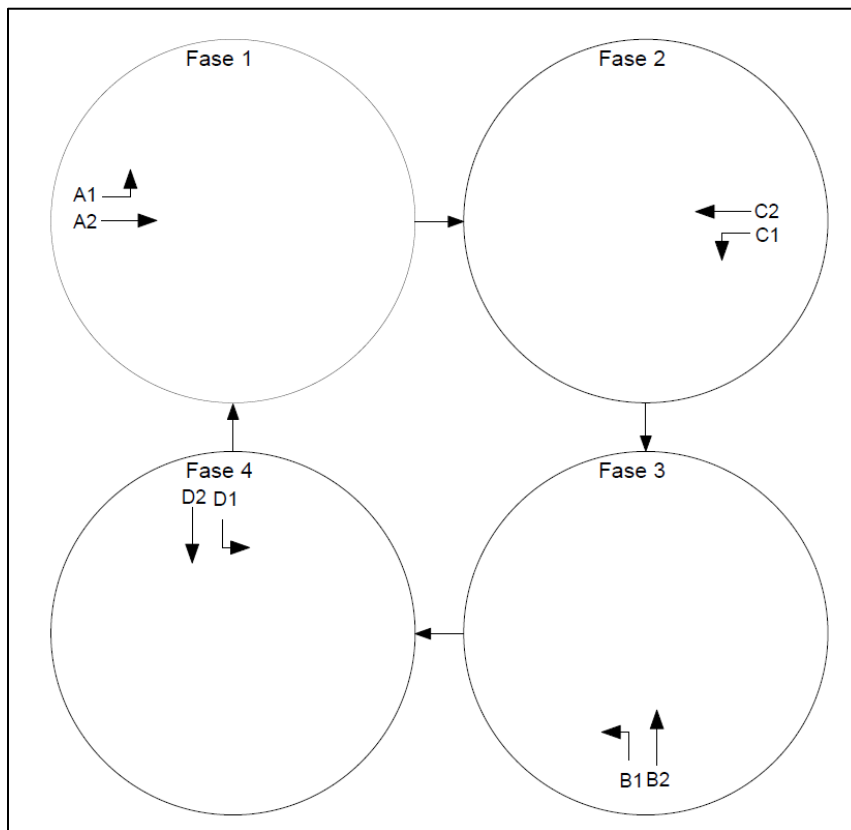
*Figuur 58 Voorbeeld linksafslagbewegingen die samen groen hebben*

- 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 55).
- De linksaf-bewegingen die tegenover elkaar liggen kunnen als 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 59). 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 59 Voorbeeld van linksafslagbewegingen die tegelijk met het rechtdoorgaand verkeer van dezelfde tak geregeld worden*

- Als 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 59, 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 rechts afslaande 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 55 of Figuur 62, Fase 1). Wanneer dit niet mogelijk is, kunnen fietsers en voetgangers (eventueel op aanvraag) een eigen fase hebben (zie paragraaf 3.1.5.4 en Figuur 62, 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 60). 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 60 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 (als deze op aanvraag geregeld is of in een aparte fase).

#### 3.1.5.4 Aparte fasen voor actieve weggebruikers

Eén van de mogelijkheden om deelconflicten met actieve weggebruikers te vermijden is om die enkel groen te geven in een fase waarin al het conflicterende gemotoriseerd verkeer rood heeft. Mogelijke verschijningsvormen daarvan zijn 'Vierkant groen' en 'de Roeselaarse oplossing'.

##### a) 'Vierkant groen'

Een mogelijk regelprincipe om de veiligheid van actieve 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 actieve 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. Voor actieve weggebruikers onderling blijven de conflicten bestaan, maar er zijn geen conflicten meer met afslaand autoverkeer. Een ongevalanalyse op Vlaamse kruispunten had als resultaat dat vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid geen bezwaar wordt gezien om dit principe toe te passen. De ontwerper van de lichtenregeling moet overwegen om vierkant groen tweemaal per verkeerslichtencyclus toe te passen als manier om de wachttijd van actieve weggebruikers te beperken bij een lange cyclustijd.

Voor vierkant groen gelden de volgende toepassingscriteria en -principes:

- Het fietsverkeer op het kruispunt moet worden geregeld d.m.v. aparte fietserslichten waarbij verkeerslichten voor het gemotoriseerd verkeer links van het fietspad geplaatst zijn. Dit geldt zolang de wegcode nog geen hiërarchie aanbrengt tussen cirkelvormige lichten en lichten met fietssilhouet.
- De minimale kwaliteitseisen op het vlak van doorstroming (zie afwegingskader in paragraaf 3.2.3) gelden ook voor vierkant groen.
- Het na te streven uitgangspunt is om vierkant groen tweemaal per cyclus te voorzien. Dit is echter zelden mogelijk, rekening houdend met de minimale kwaliteitseisen voor de afwikkelingskwaliteit van zowel actieve weggebruikers als van het gemotoriseerde verkeer.
- De vierkant groen fase wordt, afhankelijk van de intensiteiten van fietsers en voetgangers, voorzien op aanvraag. Ook deze afweging wordt voor een vierkant-groenregeling op dezelfde wijze gemaakt als bij de opmaak van 'reguliere' lichtenregelingen.
- Vierkant groen wordt bij voorkeur met vierkant-groenlichten met pijltjes geregeld als alle fietsers op alle takken tegelijkertijd groen hebben. Op de betreffende V-plannen wordt als opmerking vermeld op welke signaalgroepen de vierkant-groen-lenzen voor fietsers toegepast moeten worden.



*Figuur 61 Voorbeeld van een vierkant-groen-verkeerslicht*

In dit geval kunnen fietsers zich aangemoedigd voelen om diagonaal het kruispunt over te steken, dus daarmee moet rekening gehouden worden bij het berekenen van de ontruimingstijden. Voor alle duidelijkheid: er worden geen vierkant groenlichten voorzien voor voetgangers en voetgangers moeten de zebrapaden volgen. Verder is het niet wenselijk om vierkant groen slechts gedurende een bepaalde periode in de dag in te stellen omwille van de herkenbaarheid. Het principe van vierkant groen blijft dus doorheen de dag behouden, maar wachttijden kunnen eventueel wel variëren.

- Vierkant groen kan ook met traditionele fietserslichten geregeld worden. Dit is zelfs verplicht als bepaalde oversteken ook tijdens andere fasen conflictvrij groen kunnen krijgen.
- Vierkant groen is kansrijker op compacte kruispunten met veel kwetsbare weggebruikers.
- Vierkant groen kan zowel in de binnenstad als de periferie toegepast worden.

Ter info wordt nog meegegeven dat – zowel bij vierkant groen als op andere lichtengeregelde kruispunten – de voorrangssituatie tussen actieve weggebruikers als volgt wordt geregeld:

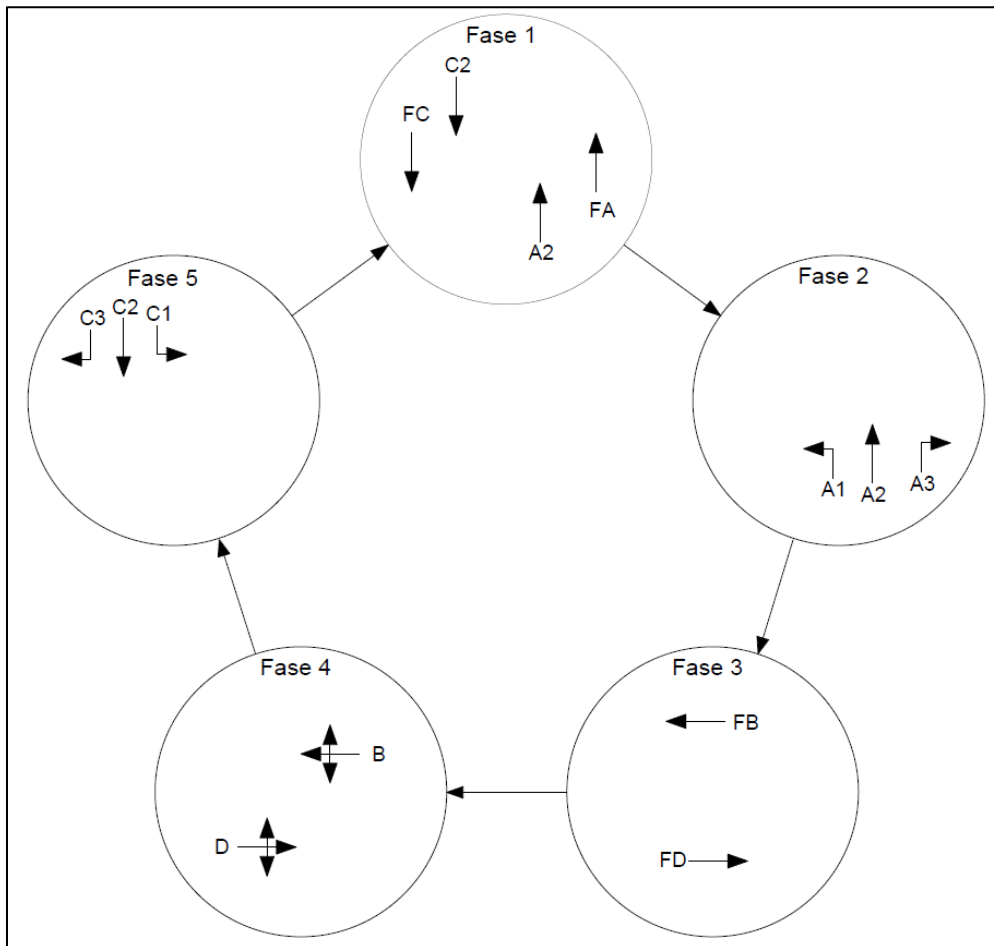
- Tussen fietsers onderling geldt voorrang van rechts.
- Tussen fietsers en voetgangers heeft de voetganger voorrang die zich op het zebrapad bevindt.

#### **b) Aparte fase voor overstekende actieve weggebruikers in één richting (de 'Roeselaarse oplossing')**

Het is ook mogelijk om fietsers (en eventueel voetgangers) langs slechts één van de twee dwarsende wegen groen te geven in een aparte fase, zonder dat de dwarsende fietsoversteken groen hebben (bv. de twee fietsersoversteken van een dwarsweg). Dit werd al 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 al starten na de laatste seconde oranjegeel van de fietsers. Wanneer de fase voor fietsers ná 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 als er enkel een fietser heeft gedrukt en deze fase kan overgeslagen worden indien er niemand heeft gedrukt.



Figuur 62 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:

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

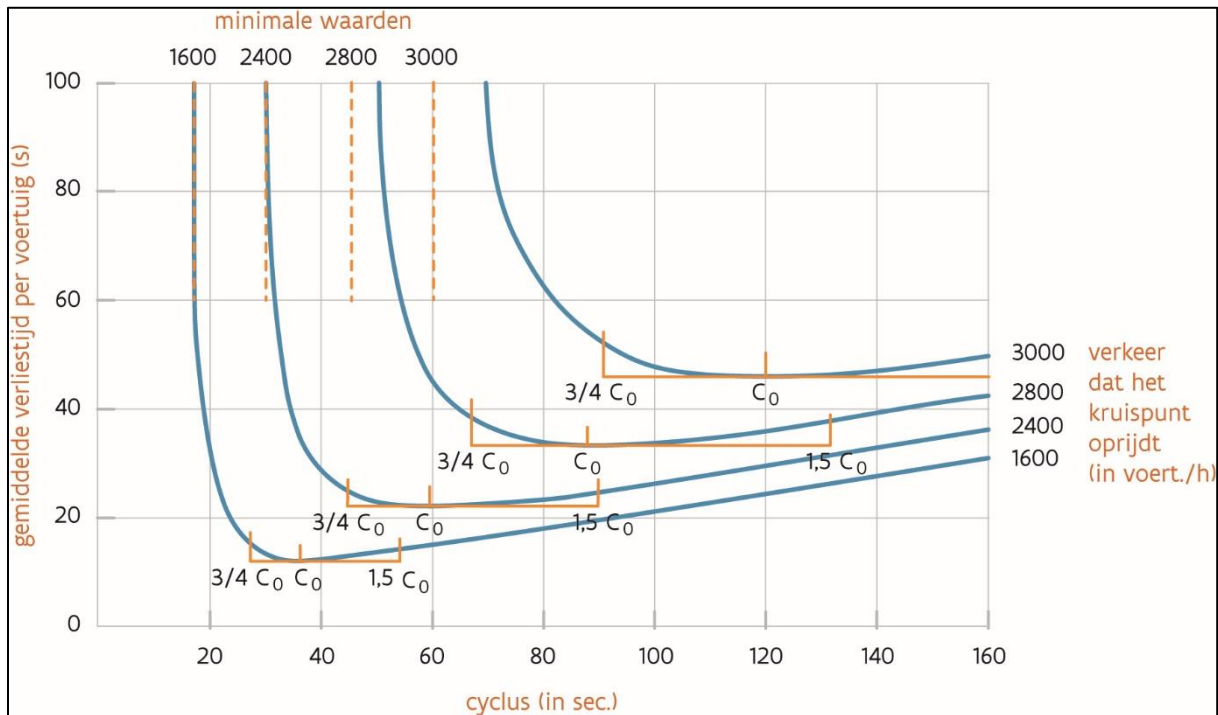
Hierin is:

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 63 is te zien, dat de gemiddelde verliestijd per voertuig slechts maximum 20% verhoogd wordt bij cyclusduren tussen  $0,75 * C_0$  en  $1,5 * C_0$ . Er is ook af te leiden uit Figuur 63 dat het minder nadelig is om een te lange maximale cyclustijd in te stellen dan een te korte. Een cyclus die aanmerkelijk 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 actieve weggebruikers. Om die binnen te perken te houden kan overwogen worden om die actieve 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 63 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 (Webster, 1958)

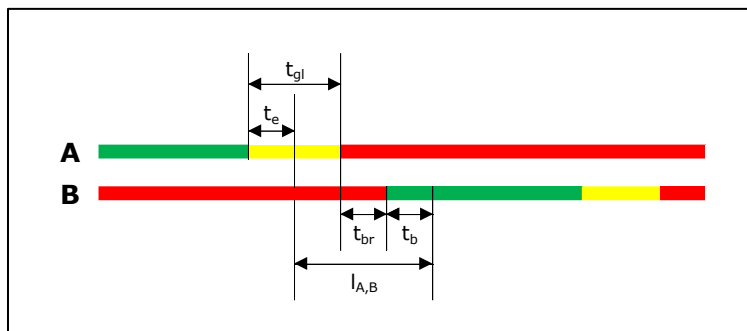
Bij lage verkeersintensiteiten is de optimale cyclusduur tamelijk kort, terwijl bij hogere verkeersintensiteiten het vaak aangewezen is de cyclusduur te verhogen. Er kan voor gekozen worden om de cyclusduur bij hoge intensiteiten al op te hogen tot maximaal  $1,5 x$  de berekende optimale cyclusduur. 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 veiligheidsstijden. 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 64 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 (CROW, 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. Voor de optrekverliezen wordt er met 2 à 3 s gerekend voor rechtdoorgaande bewegingen en eventueel nog meer (tot 5 s) voor afslaan bewegingen.)

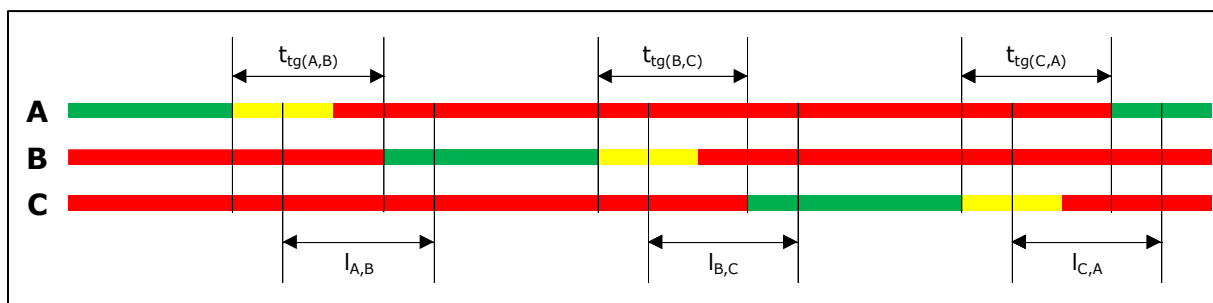
Deze verschillende berekeningsmethoden kunnen een verschil opleveren in de waarde van L van enkele seconden. Dit verschil heeft invloed op de bepaling van de optimale cyclusduur. Per seconde verliestijd die wordt aangenomen neemt de optimale cyclustijd toe met  $\frac{1.5}{1-Y}$ . Nemen we bijvoorbeeld een conflictbelasting 0.80 dan stijgt de optimale cyclusduur met 7,5 s 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 paragraaf 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 65 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 65 Voorbeeld verliestijden in een 3-fasenregeling

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

- de verliestijd tussen signaalgroep A en signaalgroep B ( $l_{A,B}$ )
- de verliestijd tussen signaalgroep B en signaalgroep C ( $l_{B,C}$ )
- de verliestijd tussen signaalgroep C en signaalgroep 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 signaalgroep A en signaalgroep 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 actieve weggebruikers is dat de verzadigingsintensiteit of afrijcapaciteit zelden een beperkende factor is bij de actieve weggebruikers. Wilson (2014) vermeldt als afrijcapaciteiten voor oversteken van actieve weggebruikers op kruispunten de volgende waarden uit Tabel 7.

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 7 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 2,0 m, en 30 s groentijd voor de fietsers op een cyclus van 90 s, dan komt men ongeveer op een maximale capaciteit van 2160 fietsers/uur.

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

Als 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 actieve 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 1,2 m/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 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, namelijk 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 actieve 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 minimumgroentijd goed te bepalen, omdat vermeden moet worden dat voetgangers terugkeren voor hun oversteek is voltooid 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 oversteek 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 paragraaf 5.4.3a) 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 paragraaf 5.4.3b)

### 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 (ook 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 groentijdverdeling zijn aanmerkelijk 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 op pagina 58-59 (Webster, 1958).

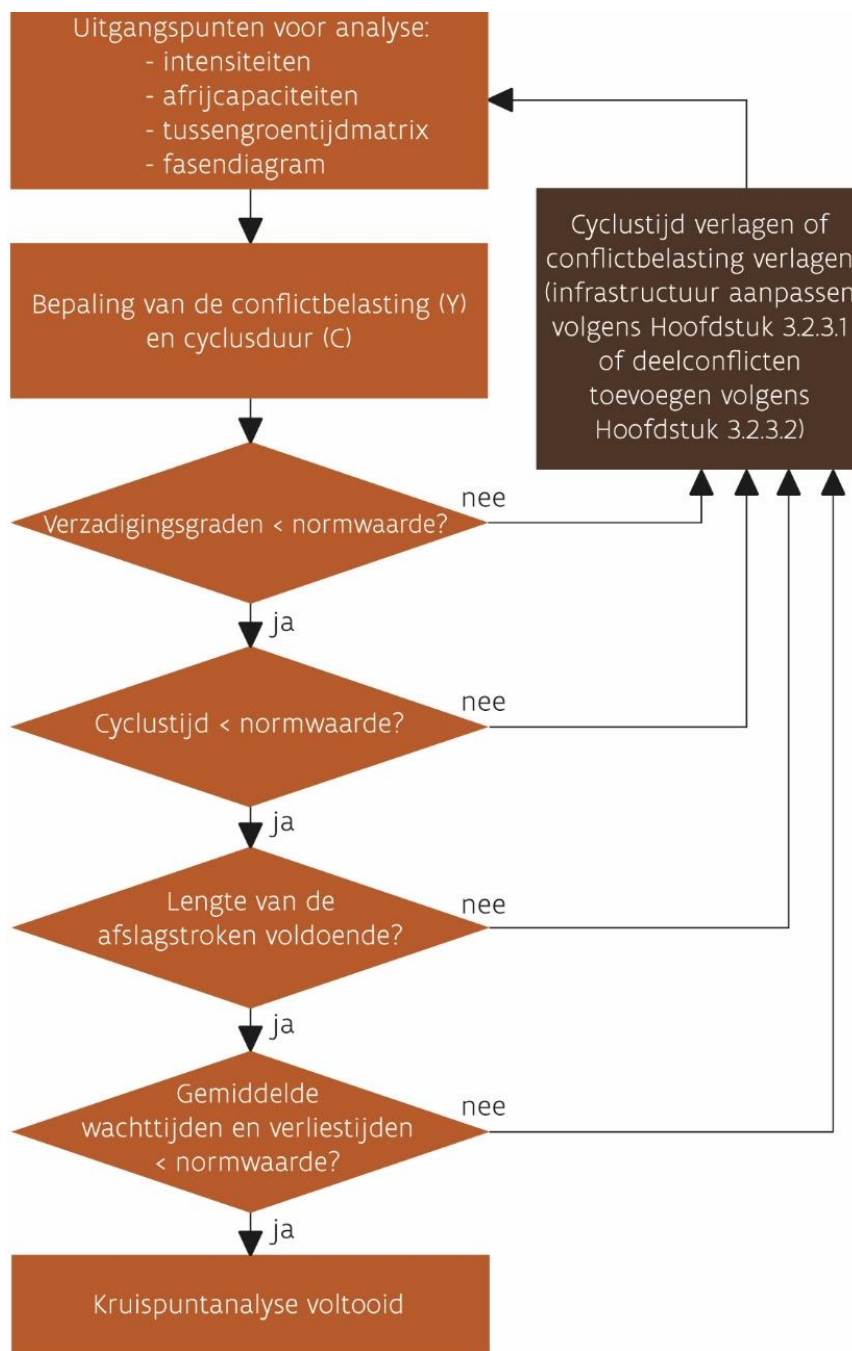
Naast de theoretische beschouwing i.v.m. de optimale afstelling moet er uiteraard ook rekening gehouden worden met veiligheidstijden. Lange ononderbroken voetgangersoversteken over brede wegen kunnen ervoor zorgen dat de groentijd die moet gegeven worden aan een bepaalde richting hoger is dan het theoretisch 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 overgegaan 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 al in voege zijn te analyseren. Een schematische weergave van dit iteratief proces is te zien in onderstaande Figuur 66.



Figuur 66 Proces Kruispuntanalyse

## 3.2.1 Analytische evaluatie

### 3.2.1.1 Verzadigingsgraad

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 (paragraaf 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. Als  $X \geq 0.85$  (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 signaalgroepen in de maatgevende conflictgroep trouwens even groot.

Verzadigingsgraad	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 8 Beschrijving verzadigingsgraden

### 3.2.1.2 Gemiddelde wachttijd voor voetgangers

Aangezien actieve 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. Als 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

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

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. Als in de ene cyclus de verwerkingscapaciteit wordt overschreden veroorzaakt dit extra verliestijden in de volgende cyclus. Er zijn namelijk 1 of meerdere voertuigen die al staan te wachten bovenop degene die in die cyclus toekomen.

In formules uitgedrukt geeft dit het volgende:

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

$$\bar{d} = \frac{C * (1 - u)^2}{2 * (1 - y)} + \frac{N_o * x}{q}$$

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 toekomende voertuigen per seconde

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 paragraaf 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. Als 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. Als 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-invloedsgebied) tot X aantal meter na de stopstreep
- Reistijden OV: gemiddelden per OV-lijn + uitschieters per OV-Lijn
- Gem. verliestijd per vervoerwijze 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 5 of 15 minuten gekeken tot waar (in m) 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 Afwegingskader voor maximaal conflictvrij regelen

---

De mate waarin lichtengeregelde kruispunten conflictvrij geregeld kunnen worden, wordt grotendeels bepaald door de kruispuntinfrastructuur. Daarom moet de infrastructuurontwerper de ruimtelijke mogelijkheden ten volle benutten. Van bij de start van het ontwerpen van een nieuw lichtengeregeld kruispunt moet het streefdoel zijn: volledig conflictvrij, minstens voor actieve weggebruikers. Een aparte, voldoende lange rijstrook per afslagrichting (ook bij weinig afslaand verkeer) en vrijliggende fietspaden rond het kruispunt zijn vaak noodzakelijke voorwaarden voor vlot én veilig verkeer op een kruispunt.

Het onderstaande afwegingskader is bestemd voor alle wegbeheerders, zowel op lokaal vlak als op gewestelijk vlak. Het uitgangspunt van dit afwegingskader is en blijft dat verkeersveiligheid primeert op doorstroming.

Tijdens het ontwerp van de lichtenregeling wordt via het doorlopen van een iteratief proces in eerste instantie nagegaan of een *volledig* conflictvrije regeling mogelijk is om vervolgens, waar het volgens bepaalde kwaliteitseisen niet volledig conflictvrij kan, toch te komen tot een *maximaal* conflictvrije regeling. Vierkant groen wordt als regelprincipe mee in overweging genomen als mogelijke oplossing om conflictvrij te regelen.

### 3.2.3.1 Minimale kwaliteitseisen

De kwaliteitseisen waaraan elke regeling wordt getoetst noemen we de 'minimale kwaliteitseisen op het vlak van doorstroming', maar ze zijn deels ook ingegeven door het vermijden van onveilige situaties. Ze moeten bijvoorbeeld vermijden dat zeer lang wachtende fietsers het rode licht gaan negeren en dat een wachtrij zou terugslaan tot op een autosnelweg. Bijkomende beleidsdoelstellingen m.b.t. doorstroming (zoals een ambitie voor de gemiddelde afwikkelingssnelheid) mogen nooit invloed hebben op het bepalen van de conflicten.

Alvorens de stappen van het iteratieve proces te overlopen, worden eerst per vervoerwijze de minimale kwaliteitseisen op het vlak van doorstroming beschreven.

#### Kwaliteitseisen voor actieve weggebruikers

- Per cyclus wordt steeds voldoende groentijd gegeven om alle fietsers en voetgangers te laten oversteken. Om fietsfiles te voorkomen geldt voor fietsers een maximale verzadigingsgraad van 80% als minimale kwaliteitseis op het vlak van doorstroming. En zelfs op drukke voetgangersoversteekplaatsen moet de groentijd voldoende lang zijn om te voorkomen dat de achterste wachtende voetgangers pas aan de oversteek kunnen beginnen als het voetgangerslicht alweer rood is geworden.
- Een weggebruiker die de pech heeft om juist in de eerste seconde rood te arriveren, moet gedurende de hele roodfase wachten en ondervindt dan de maximale wachttijd. De maximale wachttijd van een lichtenregeling wordt gedefinieerd als de roodtijd in de *basiscyclus*<sup>1</sup>, dus zonder beïnvloeding door openbaar vervoer. Deze maximale wachttijd wordt voor actieve weggebruikers tot een maximumwaarde beperkt, deels om te vermijden dat ze het rode licht gaan negeren.

	Maximumwaarde van de maximale wachttijd
In kerngebied <sup>2</sup> bebouwde kom	70 sec.
In bebouwde kom buiten kerngebied	90 sec.
Buiten bebouwde kom	110 sec.

Tabel 9 Maximumwaarden van de maximale wachttijd voor actieve weggebruikers

#### Kwaliteitseisen voor openbaar vervoer

Voor het openbaar vervoer worden in dit afwegingskader geen specifieke kwaliteitsgaranties op het vlak van doorstroming in rekening gebracht, omdat aan het openbaar vervoer prioriteit wordt verleend in de voertuigafhankelijke lichtenregeling, onafhankelijk van de impact op de minimale kwaliteitsgaranties voor de overige vervoerwijzen.

#### Kwaliteitseisen voor gemotoriseerd verkeer (personenwagens en vrachtwagens)

- Voor gemotoriseerd verkeer wordt niet toegelaten dat er structureel ernstige file ontstaat op belangrijke takken of assen. Dit wordt gekwantificeerd door te stellen dat de verwachte

<sup>1</sup> Tijdens het doorlopen van het afwegingskader moeten reeds de gewenste maximum-groentijden gehanteerd worden die ook in de voertuigafhankelijke regeling gehanteerd zullen worden. Een maximum-groentijd van 5 seconden wordt bijvoorbeeld te kort gevonden, ook al is de richting zo rustig dat de gemiddelde verzadigingsgraad aanvaardbaar lijkt bij 5 seconden groen. Daarom wordt de maximum-groentijd ingesteld op 9 of 10 seconden: ook in de basisregeling. De maximale wachttijd mag in principe alleen overschreden worden door openbaar vervoer of als er in de vorige cyclus geen groen gegeven werd bij gebrek aan een aanvraag, dus als er wordt gedrukt net nadat het groen had kunnen worden.

<sup>2</sup> 'Kerngebieden' zijn de centrale gedeelten van de bebouwde kommen waar wonen en handel sterk verweven en gebundeld zijn en waar het voetgangersgebeuren primeert.

verzadigingsgraad van het gemotoriseerd verkeer er niet hoger mag zijn dan 95%. Deze verzadigingsgraad wordt berekend op basis van de gemiddelde intensiteit in twee opeenvolgende uren van de drukste spits. Een inschatting van wat 'belangrijke' takken zijn kan door de ontwerper gebeuren met inachtnaam van de wegencategorisering en eventuele input van de betrokken gemeente.

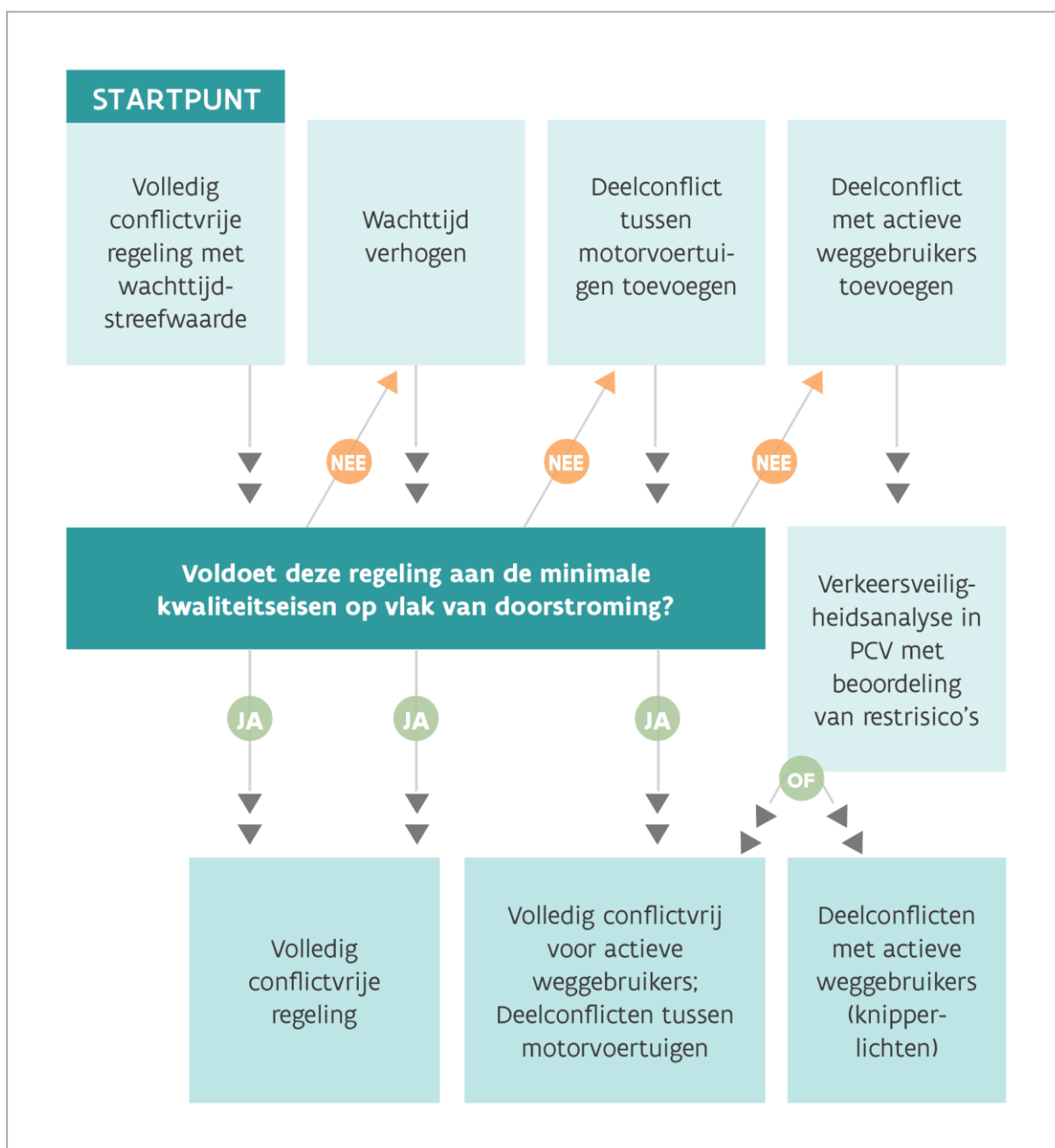
- Zowel op belangrijke als minder belangrijke takken mag filevorming geen negatieve invloed hebben op het functioneren van het verkeersnetwerk als geheel en niet leiden tot gevaarlijke situaties verderop in het netwerk. Fileopbouw tot op bijvoorbeeld een brugdek, spoorwegovergang of uitvoegstrook wordt dus niet aanvaard. Of fileopbouw tot voorbij een stroomopwaarts gelegen kruispunt(je) zou leiden tot onaanvaardbare verslechtering van het netwerk-functioneren of van de veiligheid, moet worden ingeschat op basis van het type en de vormgeving van dat kruispunt en op basis van de ordegraad van de afslaande intensiteiten. Dit alles kan tot gevolg hebben dat een verzadigingsgraad van 95% (berekend over twee uren) te hoog is, dus dat de verzadigingsgraad lager moet zijn voor een aanvaardbare filevorming. De 'Prognosetool wachtrijlengtes' kan behulpzaam zijn om vooraf in te schatten hoe lang de wachtrijen zullen zijn per spits. Deze tool kan op [wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling](https://wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling) gedownload worden.

### **3.2.3.2 Veiligheidsondergrens: verboden deelconflicten**

Het iteratief proces hieronder, dat doorlopen wordt bij het maximaal conflictvrij regelen van verkeerslichten, laat indien nodig deelconflicten toe. De volgende deelconflicten zijn echter nooit toegestaan, ongeacht de effecten op de doorstroming (de zogenaamde veiligheidsondergrens):

- Conflicten met een links- of rechts afslaande beweging vanop twee of meer rijstroken
- Links afslaande conflicten waarbij een voertuig twee of meer rechtdoorgaande rijstroken moet dwarsen
- Afslaande conflicten met de oversteek van tweerichtingsfietspaden (zowel links- als rechts afslaand)
- Conflicten tussen afslaande voertuigen en rechtdoorgaande trams op eigen bedding
- Conflicten tussen afslaande trams en andere verkeersdeelnemers

### 3.2.3.3 Het iteratief ontwerpproces van maximaal conflictvrije lichtenregelingen



Figuur 67 Iteratief proces dat doorlopen wordt bij het maximaal conflictvrij regelen van verkeerslichten

De stappen van het iteratieve ontwerpproces worden hieronder beschreven.

#### Startpunt: Volledig conflictvrije regeling met wachttijdstreefwaarde

Bij het startpunt wordt er gekeken of er met een volledig conflictvrije lichtenregeling aan de minimale kwaliteitseisen op vlak van doorstroming voor de verschillende vervoerwijzen kan voldaan worden, waarbij bovendien de onderstaande streefwaarden voor wachttijden gerespecteerd kunnen. Als dat kan, dan worden de verkeerslichten effectief volledig conflictvrij geregeld en worden de wachttijden van fietsers op fietssnelwegen en bovenlokale functionele fietsroutes (BFF) ingesteld volgens deze streefwaarden in de middelste kolom.

	Streefwaarde van de maximale wachttijd	Maximumwaarde van de maximale wachttijd
Fietssnelweg in kerngebied bebouwde kom	45 sec.	70 sec.
BFF in kerngebied bebouwde kom	60 sec.	70 sec.
Overig in kerngebied bebouwde kom	70 sec.	70 sec.
Fietssnelweg in bebouwde kom buiten kerngebied	45 sec.	90 sec.
BFF in bebouwde kom buiten kerngebied	60 sec.	90 sec.
Overig in bebouwde kom buiten kerngebied	90 sec.	90 sec.
Fietssnelweg buiten bebouwde kom	60 sec.	110 sec.
BFF buiten bebouwde kom	70 sec.	110 sec.
Overig buiten bebouwde kom	110 sec.	110 sec.

Tabel 10 Streefwaarden en maximumwaarden van de maximale wachttijd voor fietsers

### Wachttijd verhogen

Als dat niet mogelijk is, wordt opnieuw gekeken of er met een volledig conflictvrije lichtenregeling aan de minimale kwaliteitseisen op vlak van doorstroming voldaan kan worden, maar nu met wachttijden voor fietsers op fietssnelwegen en BFF die weliswaar hoger zijn dan de streefwaarden, maar nog steeds niet hoger zijn dan de maximumwaarden.

In de volgende stappen wordt steeds overwogen om één extra deelconflict toe te laten. Maar voordat dit wordt overwogen, moet telkens eerst worden nagegaan of het haalbaar is om de *infrastructuur* zodanig aan te passen dat zónder dit extra deelconflict voldaan kan worden aan de minimale kwaliteitseisen. Immers, enkel daar waar infrastructurele maatregelen geen optie zijn, is de tweede optie om de capaciteit op een kruispunt te verhogen door bepaalde deelconflicten toe te staan.

### Deelconflict tussen motorvoertuigen toevoegen

Als ook hiermee niet aan de kwaliteitseisen voldaan kan worden, wordt er gekeken welke deelconflicten tussen gemotoriseerd verkeer kunnen toegelaten worden. Hierbij worden eerst de minst onveilige deelconflicten geaccepteerd. De beoordeling gebeurt op basis van de lokale situatie, bijvoorbeeld door te kijken naar de configuratie van het kruispunt, de hoeveelheid afslaand verkeer, de snelheden die de ongeval-ernst bepalen, en op basis van de ongevalgegevens. Deze stap is zelf iteratief, want hij wordt een aantal keer herhaald om tot de best mogelijke, maar ook op het terrein haalbare oplossing te komen.

Als na het toelaten van de deelconflicten tussen gemotoriseerd verkeer, de minimale kwaliteitseisen op vlak van doorstroming voor de verschillende vervoerwijzen nog steeds niet behaald worden, dan zijn er twee mogelijkheden. Als het een nieuw ontworpen kruispunt betreft, dan moet het kruispuntontwerp eerst terug naar de tekentafel, want bij het ontwerp van nieuwe kruispunten moet ernaar gestreefd worden om het kruispunt daadwerkelijk volledig conflictvrij te maken voor actieve weggebruikers. Als het een bestaand kruispunt betreft waarvoor enkel een nieuwe lichtenregeling wordt ontworpen, dan kunnen in de volgende stap ook deelconflicten tussen gemotoriseerd verkeer en actieve weggebruikers toegelaten worden.

### Deelconflict met actieve weggebruikers toevoegen

Zoals hiervoor al vermeld, worden de daarbij toegestane deelconflicten qua aantal tot een strikt minimum beperkt en worden hoe dan ook bepaalde soorten deelconflicten nooit getolereerd. Ook deze stap kan een

aantal keer herhaald worden, met telkens een tussentijdse toetsing aan de minimale kwaliteitseisen op het vlak van doorstroming.

Deelconflicten moeten niet altijd symmetrisch op een kruispunt worden toegepast. Het is bijvoorbeeld beter om enkel de rechtsaffers uit het zuiden conflictvrij te regelen, dan om de rechtsaffers uit het zuiden én het noorden een deelconflict met actieve weggebruikers te geven.

### **Verkeersveiligheidsanalyse**

Voor kruispunten waarbij na het doorlopen van het iteratief proces deelconflicten blijven bestaan met actieve weggebruikers, wordt een beoordeling van de restrisico's gemaakt als onderdeel van een verkeersveiligheidsanalyse van het volledige kruispunt.

Ook daar waar door toenemend verkeer deelconflicten zouden worden toegevoegd ten opzichte van de huidige regeling volgt een bijkomende verkeersveiligheidsanalyse. Een toevoeging van deelconflicten betekent immers een stap achteruit op het vlak van verkeersveiligheid en vereist bijgevolg een bijkomende analyse.

In zo'n verkeersveiligheidsanalyse worden o.a. maatregelen voorgesteld die breder gaan dan de verkeerslichten, om het aantal deelconflicten met actieve weggebruikers te verlagen of om de impact van de restrisico's te milderen. Bijvoorbeeld:

- Ruimte creëren voor afslagstroken door het verwijderen van parkeerplaatsen
- Het afsluiten van takken
- Een gewijzigde circulatie
- Een aangepast snelheidsregime
- ...

Over deze voorstellen wordt vervolgens samen met alle belanghebbenden beslist, bijvoorbeeld op de Provinciale Commissie Verkeersveiligheid (PCV).

Omdat elk restconflict tussen gemotoriseerd verkeer en actieve weggebruikers als potentieel gevaarlijk wordt beschouwd, zijn er bij deze deelconflicten twee maatregelen verplicht:

1. Waar de oversteek van voetgangers en van fietsers naast elkaar liggen en ze een deelconflict hebben met afslaande auto's, daar mag een voetgangerslicht nooit rood zijn terwijl de lichten voor de fietsers en auto's groen zijn. Anders denken automobilisten onterecht dat ook de fietsers rood hebben. Aan deze eis kan bijvoorbeeld voldaan worden door het gelijktijdig beëindigen van het groen van fietsers en voetgangers.



*Figuur 69 Oranjegeel knipperlicht met fiets-silhouet*



*Figuur 68 Oranjegeel knipperlicht met voetganger-silhouet*

2. Er moeten oranjegele knipperlichten worden aangebracht die de afslaande automobilisten attenderen op de locatie van het deelconflict met actieve weggebruikers. (Departement MOW en AWW, 2022) Ze moeten enkel werken in de periodes waarin dat deelconflict zich werkelijk kan voordoen. Waar er enkel een deelconflict is met fietsers, heeft het knipperlicht de vorm van een fiets-silhouet. Waar er enkel een deelconflict is met voetgangers, heeft het knipperlicht de vorm van een voetganger-silhouet. Waar er een deelconflict is met beide, kan gekozen worden voor ofwel een enkel knipperend licht, ofwel twee afwisselend knipperende lichten.

Standaard wordt geen (variant van) bord F50 geplaatst bij een deelconflict met actieve weggebruikers. Maar dat kan wel overwogen worden wanneer extra duiding nodig is, bijvoorbeeld wanneer een brugpijler of gebouw het zicht van de afslaande automobilisten op actieve weggebruikers beneemt.



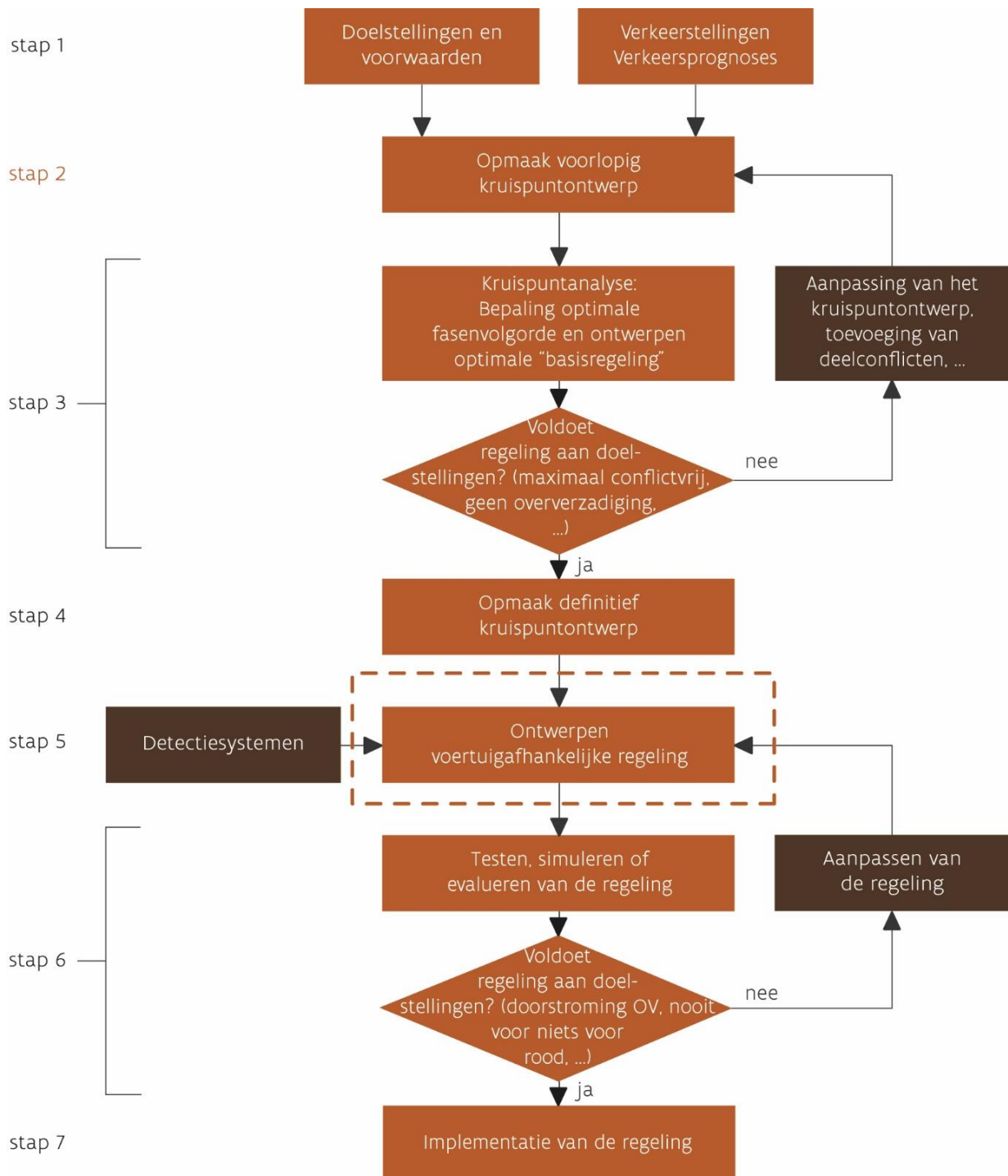
Bijkomend worden afhankelijk van de situatie, ook onderstaande punten overwogen:

- Een voorstart geven aan de actieve weggebruikers. Het is immers veiliger dat de eerste voorrangsgerechtigde verkeersdeelnemer eerder (zichtbaar) bij het gemeenschappelijk conflictvlak aankomt dan de eerste voorrangsplichtige verkeersdeelnemer. Dit veiligheidsvoordeel helpt enkel de actieve weggebruikers die stonden te wachten of arriveren bij de aanvang van hun groenfase, en niet wie pas arriveert als de groenfase al loopt.
  - Voorstart in tijd: Het fietsers- en/of voetgangerslicht één seconde of eventueel enkele seconden eerder groen laten worden dan het licht van het gemotoriseerd verkeer. Een voorstart in tijd heeft wel negatieve gevolgen voor de capaciteit van het kruispunt. Een "nastart" voor fietsers en voetgangers (d.w.z. dat fietsers en voetgangers in deelconflict later groen krijgen dan de afslaande voertuigen) is in geen enkel geval wenselijk.
  - Voorstart in ruimte: De stopstreep van de fietsers dicht bij het kruispunt leggen dan de stopstreep voor de voertuigen. Wanneer er een vrijliggend fietspad met een apart fietslicht aanwezig is, ontstaat deze voorstart vrijwel automatisch in het kruispuntontwerp.
- Het voorzien van een opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS, die eigenlijk ook een voorstart in ruimte impliceert) of een OFOS-variant.

- Het voorzien van een ontruimingspijl. Dat is een naar links gericht groene pijl die afzonderlijk geplaatst wordt bij het linksaf uitrijden van een kruispunt. Formeel betekent het branden van die pijl enkel dat tegenliggend verkeer tegengehouden wordt. Maar bij AWV laten we hem pas branden wanneer automobilisten conflictvrij linksaf kunnen slaan, dus rekening houdend met de ontruimingsafstanden en ook met voetgangers in de *omgekeerde* richting. De ontruimingspijl, bijvoorbeeld 'AO', blijft groen tijdens het oranjegeel van signaalgroep A en wordt standaard gedoofd na 2 seconden roodtijd. De ontruimingspijl laat linksaffers het kruispunt veilig en vlot ontruimen; althans gedurende een deel van de tijd, want voordat de ontruimingspijl ontbrandt kan zich nog wel een deelconflict voordoen. Het is primair een doorstromingsmaatregel. Een oude vuistregel luidt: vanaf een linksaf-intensiteit van circa 250 pae/u volstaat een tweefasenregeling niet voor de doorstroming en is minstens een ontruimingspijl nodig.



In dit hoofdstuk zullen eerst enkele principes worden uiteengezet van het voertuigafhankelijk regelen. In het daaropvolgende 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 71 Proces van de opmaak van een verkeerslichtenregeling (Stap 5)

## 4.1 Verlengen en afbreken van fasen

Een eerste groot 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. Als 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 ( $\Delta$ ). 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 actieve 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 paragraaf 5.1.3.9).

Hoelang 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 72. In de voorwaarden tot verlenging "1<sup>e</sup> Verlenging X" of "2<sup>e</sup> 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 [ $\Delta$ ]	1e Verlenging X	2e Verlenging X	-	-

Figuur 72 Groenverlenging - basisconcept

### 4.1.1 Timers

In sommige gevallen is het wenselijk minder rigide te zijn in hoelang 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. Als 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 mogelijks 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. Als 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 eerder. 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), als 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 73 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. Als 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. Als 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 voorname 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 als er een duidelijk onderscheid is tussen hoofdrichting en dwarsrichting. Als 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 een 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 rood moet stoppen, ook al is er geen conflicterend verkeer. Dit nadeel is nog groter als 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:

$d_{\text{rem}}$  : remweg van het voertuig

$v$  : snelheid van het voertuig (m/s)

$a$  : remvertraging voertuig (m/s<sup>2</sup>) (er wordt meestal 2 m/s<sup>2</sup> aangenomen wat overeenkomt met rustig afremmen)

$d$  : afstand tussen het detectieveld en de stopstreep

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

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

In de praktijk betekent dit:

Snelheid	Remweg (m) (a = 2 m/s <sup>2</sup> )	Afstand afgelegd tijdens oranjegeel en rood (m) ( $t_{\text{oranjegeel}} + t_{\text{rood}} = 5 \text{ s}$ )	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 rusttoestand rood is aanzienlijk kleiner aangezien de oranjegeeltijd en de ontruimingstijd dan al verstreken zijn.

Dit wil zeggen dat enkel de remweg overblijft:

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

#### c) Combinatie rusttoestand groen/rood

Eventueel kan ervoor 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 namelijk 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.

Uit een simulatie, uitgevoerd op één specifiek Vlaams kruispunt, is gebleken dat de combinatie van rusttoestand groen/rood daar 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 deelkruispunt groen is. Zulke standen noemen we 'wachtstanden'.

De wachtstand heeft geen maximumduur of kritische hiaattijd. Bij de beëindigingsvoorwaarde wordt omschreven aan welke voorwaarden voldaan moet worden vooraleer de wachtstand beëindigd 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 opgesomd, 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 deelpuntpunten op elkaar af te stemmen. Het is niet nodig dat 'deelpuntpunten' echt aparte kruispunten te zijn: vaak zijn het twee helften van hetzelfde kruispunt die in een gedeelte van de cyclus niet synchroon lopen (ten behoeve van de flexibiliteit) en in een ander gedeelte wel. Binnen de wachtstand wordt dan gewacht totdat het andere deelpuntpunt ook voor het gelijknamige correlatiepunt (bijvoorbeeld CP2) in de cyclus is gekomen. Wanneer dit correct wordt uitgevoerd bij beide kruispunten zullen de 2 deelpuntpunten dus op elkaar wachten totdat ze allebei klaar zijn om gezamenlijk verder te gaan met hun cyclus. Concreet kunnen in het ene deelpuntpunt de rechtdoorgaande beweging (A2) en de conflicterende linksaf beweging (C1) samengenomen worden en in het andere deelpuntpunt de tegenoverliggende conflicterende richtingen (C2 en A1). Op die deelpuntpunten 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 deelpuntpunt. Pas wanneer het veilig is op beide deelpuntpunten 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 deelpuntpunten boven elkaar afgebeeld, zodanig dat de gerelateerde correlatiepunten op één lijn staan (zie Figuur 74).

stand	1	2	3	4	5	6	7	
<b>A2</b>								
<b>C1</b>								
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	
							<b>CP1</b>	
<b>C2</b>								
<b>A1</b>								
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	

Figuur 74 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 ervoor 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) als aan bepaalde voorwaarden voldaan is. Meestal houdt deze voorwaarde in dat er een aanvraag geweest moet 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.

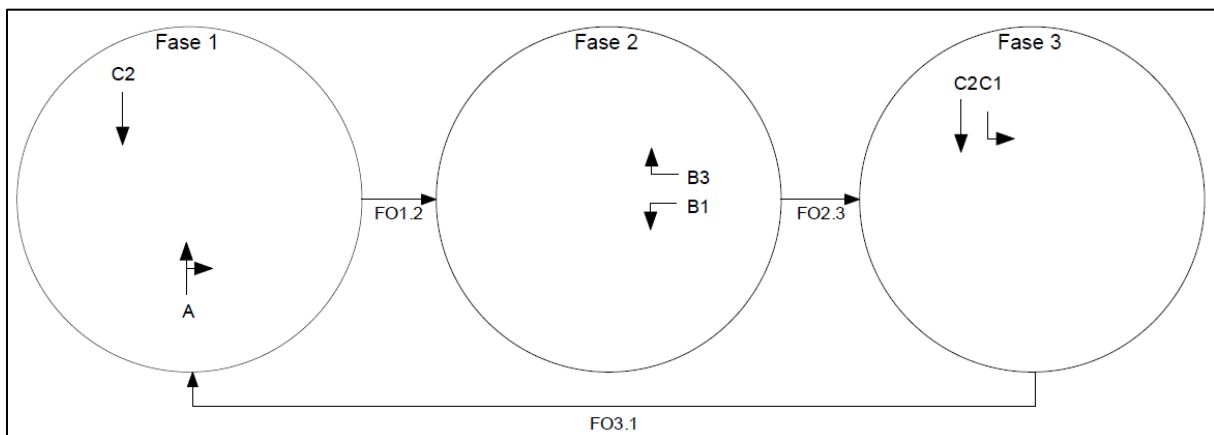
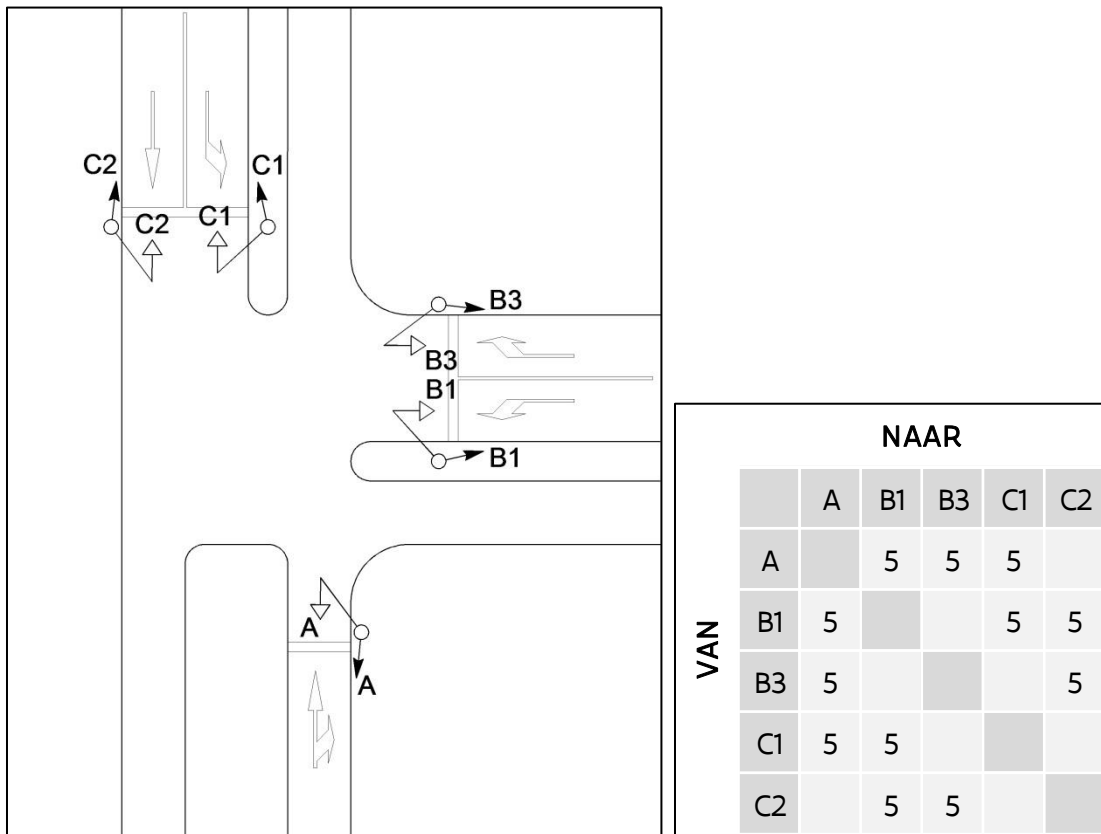
Als  $LX = 1$  dan fase X

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 paar seconden onafgebroken bezet is geweest (voor meer informatie hieromtrent, zie paragraaf 5.1.3.8).

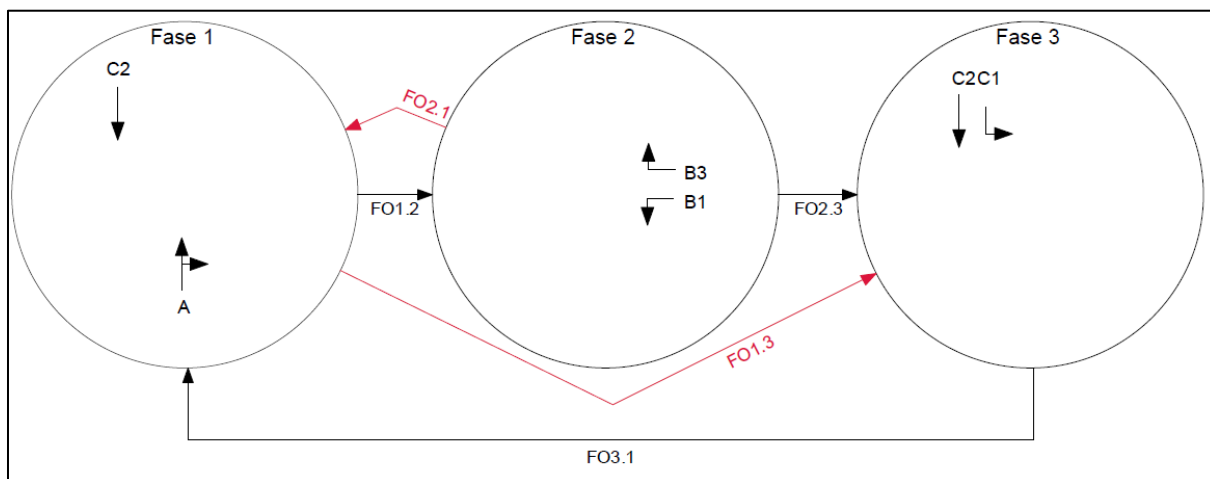
Bijvoorbeeld:



Figuur 75 Voorbeeldkruispunt met tussengroentijdmatrix en basisregeling met drie fasen

Voor het kruispunt in Figuur 75 is een basisregeling opgemaakt met drie fasen. We gaan er in dit voorbeeld vanuit dat Fase 1 een rusttoestand groen heeft (zie paragraaf 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, als 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 76 Fasediagram Driefasenregeling met mogelijkheid tot het overslaan van fasen*

Dit resulteert in het fasediagram in Figuur 76 met de volgende mogelijke overgangsfasen ("FO"):

Vanuit Fase 1:

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

Vanuit Fase 2:

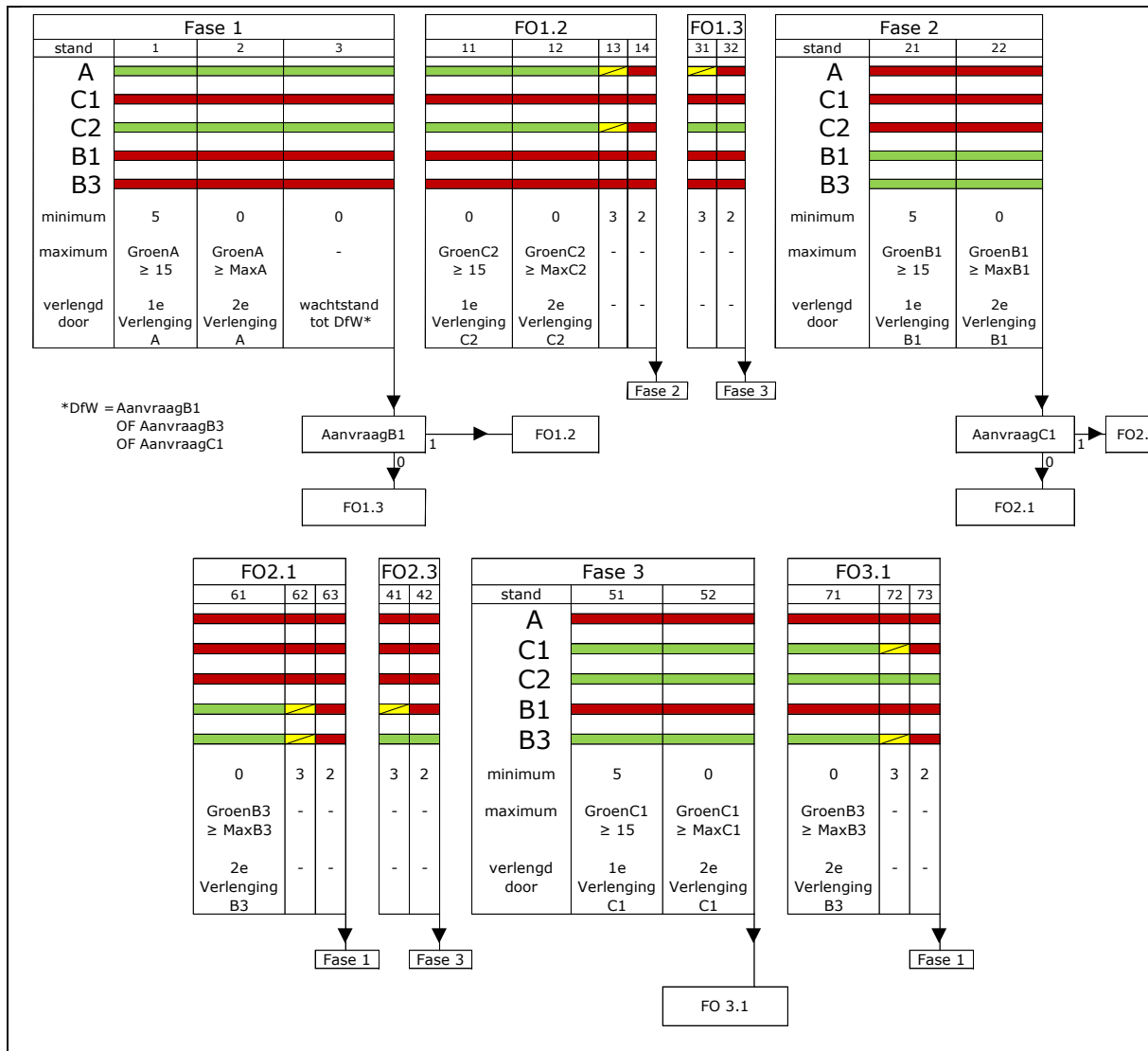
- Naar Fase 3 met FO2.3
- Naar Fase 1 met FO2.1

Vanuit Fase 3:

- Naar Fase 1 met FO3.1

In deze regeling zou het mogelijk gemaakt kunnen 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 77 Voorbeeldregeling van een Driefasenregeling met mogelijkheid tot het overslaan van fasen

## 4.2.2 Omwisselen en tussenvoegen van fasen

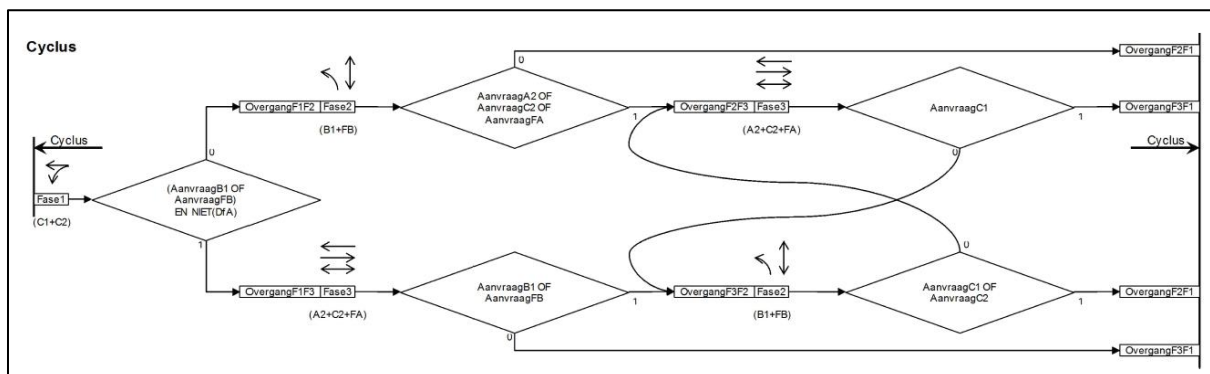
In het voortdurend streven naar flexibele en slimme verkeerslichten is het logisch om ook een flexibele fasenvolgorde te hanteren. Het gebruik van flexibele fasenvolgorde kan bijvoorbeeld worden toegepast om openbaar vervoer te bevoordelen of de wachttijd voor actieve weggebruikers te verkorten, maar 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 77), 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 80).

Als alternatief kan er ook gekozen worden voor een aparte weergave van een keuzestructuur zoals in Figuur 78. Aanvullend bij deze keuzestructuur worden dan alle fasen apart benoemd en uitgebeeld.



Figuur 78 Voorbeeld van een keuzestructuur die het mogelijk maakt om fasen om te wisselen

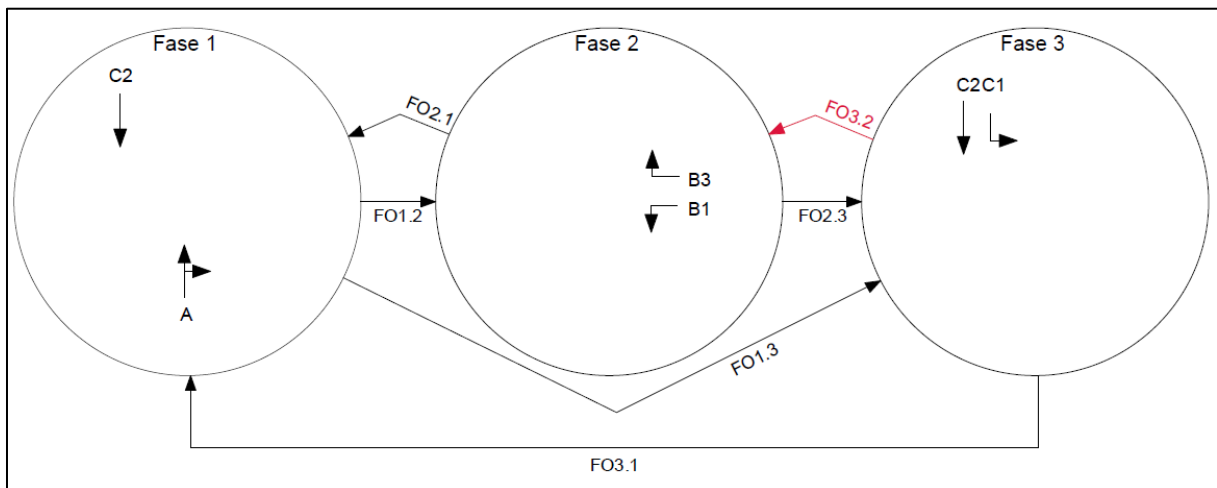
### 4.2.2.1 Fasen omwisselen

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

- Als 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.
- Als er een aanmelding van het openbaar vervoer is, maar de fase van het openbaar vervoer is 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 75.

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).



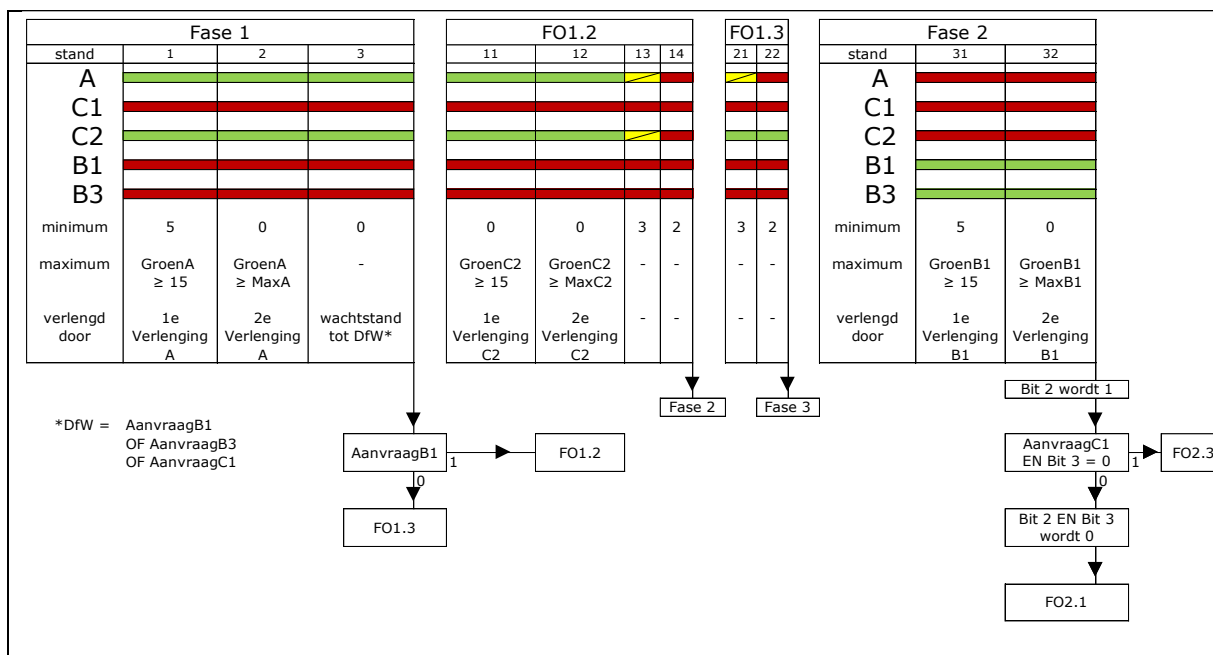
Figuur 79 Fasediagram driefasenregeling met mogelijkheid tot het omwisselen van fasen

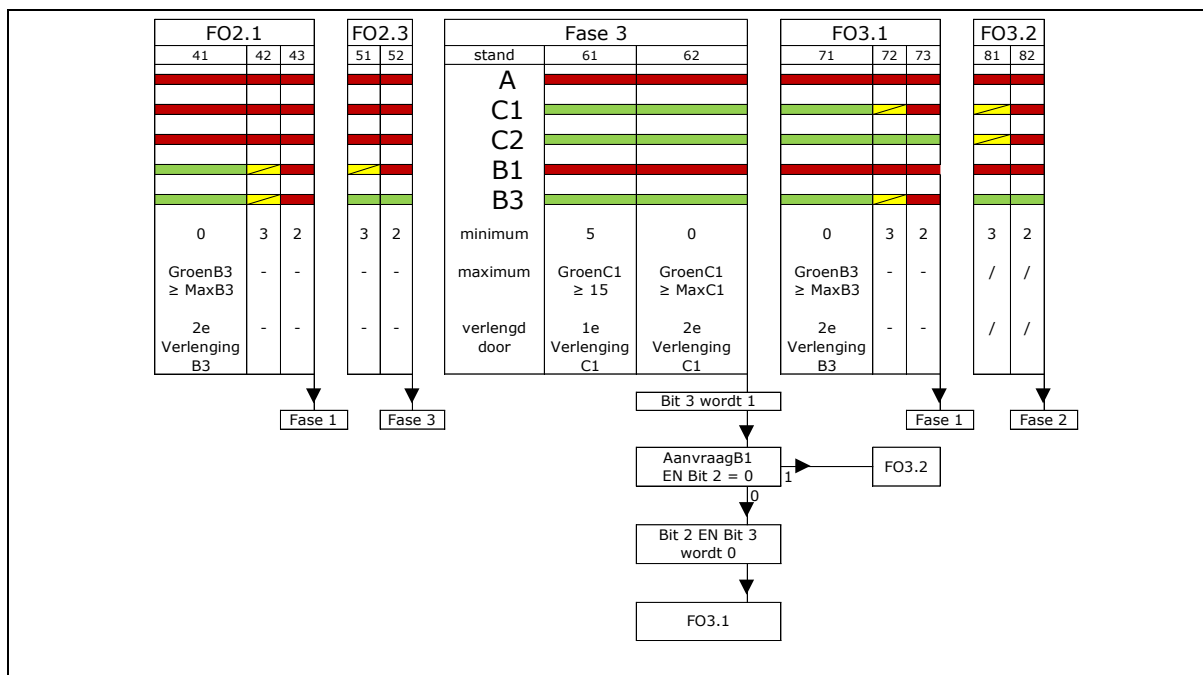
In deze regeling zou het mogelijk gemaakt kunnen worden om bv. voor een bus die beweging B1 dient te doen, Fase 2 te laten opkomen nadat deze al overgeslagen is in de cyclus (dus na Fase 3).

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 80 Voorbeeld van een driefasenregeling met mogelijkheid tot het omwisselen van fasen

Er wordt gecontroleerd of een bepaalde fase al eerder is opgekomen in de cyclus, omdat het anders zou kunnen gebeuren dat een fase meerdere keren in één cyclus opkomt (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 al is voorgekomen in de regeling. In het voorbeeld wordt dit m.b.v. Bit 2 en Bit 3 gedaan.

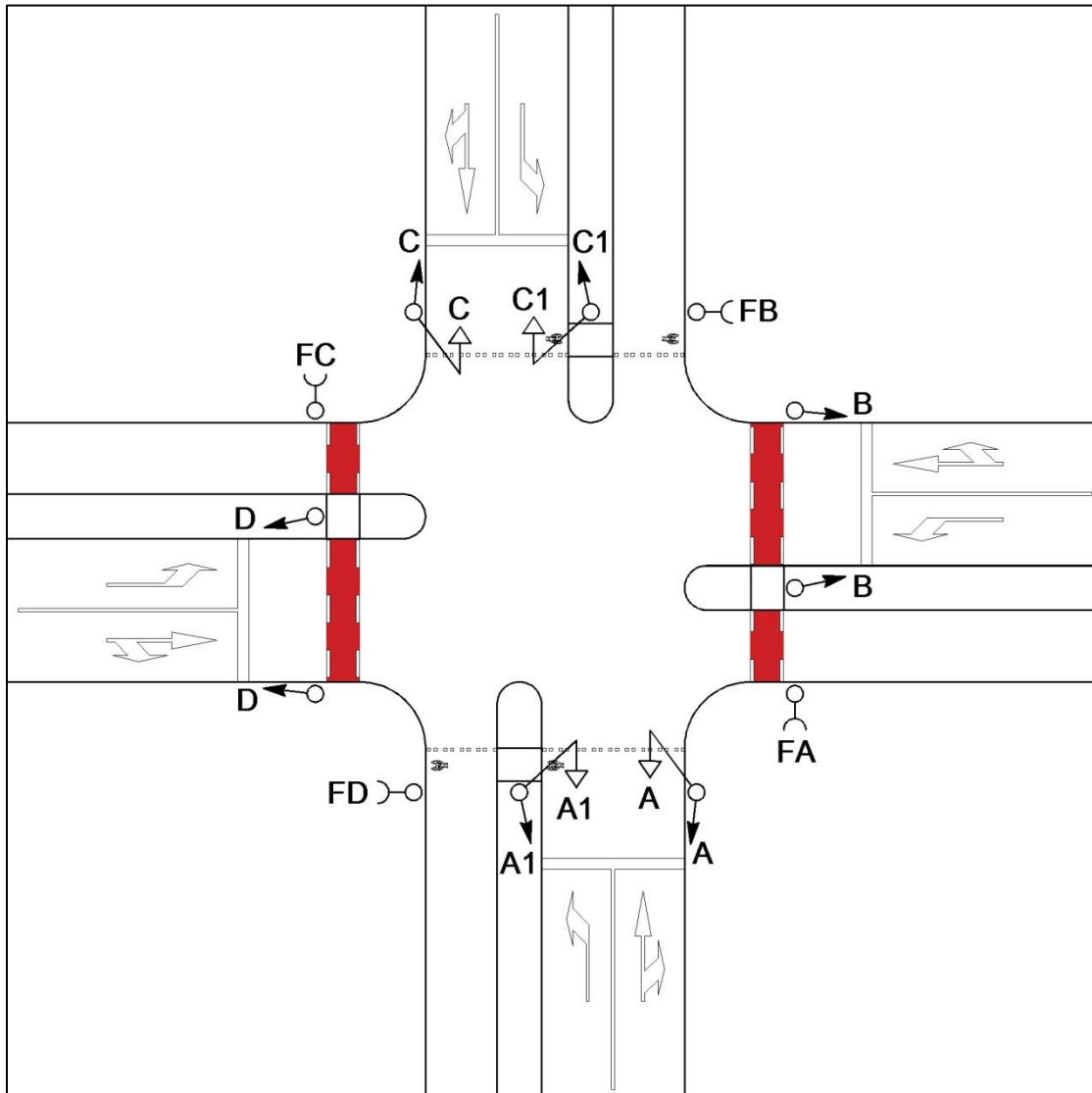
#### 4.2.2.2 Fasen tussenvoegen

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 paragraaf 5.2.6.1 volgt hierover meer informatie.

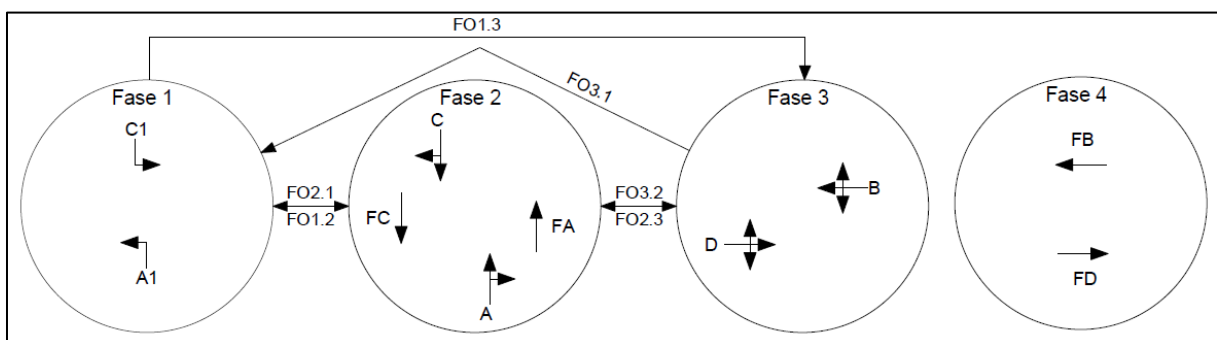
Een andere variant wordt soms gebruikt voor actieve weggebruikers. Zo zou er meerdere malen per cyclus een moment kunnen zijn waarop de actieve weggebruikers groen krijgen als er een aanvraag is geweest. Zo wordt het mogelijk gemaakt voor actieve weggebruikers om op twee verschillende momenten in de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

Voorbeeld:



Figuur 81 Voorbeeldkruispunt met vier takken

Voor het kruispunt in Figuur 81 is het uitgangspunt van de regeling om fietsers FB en FD conflictvrij te regelen (m.b.v. een eigen fase, Fase 4).



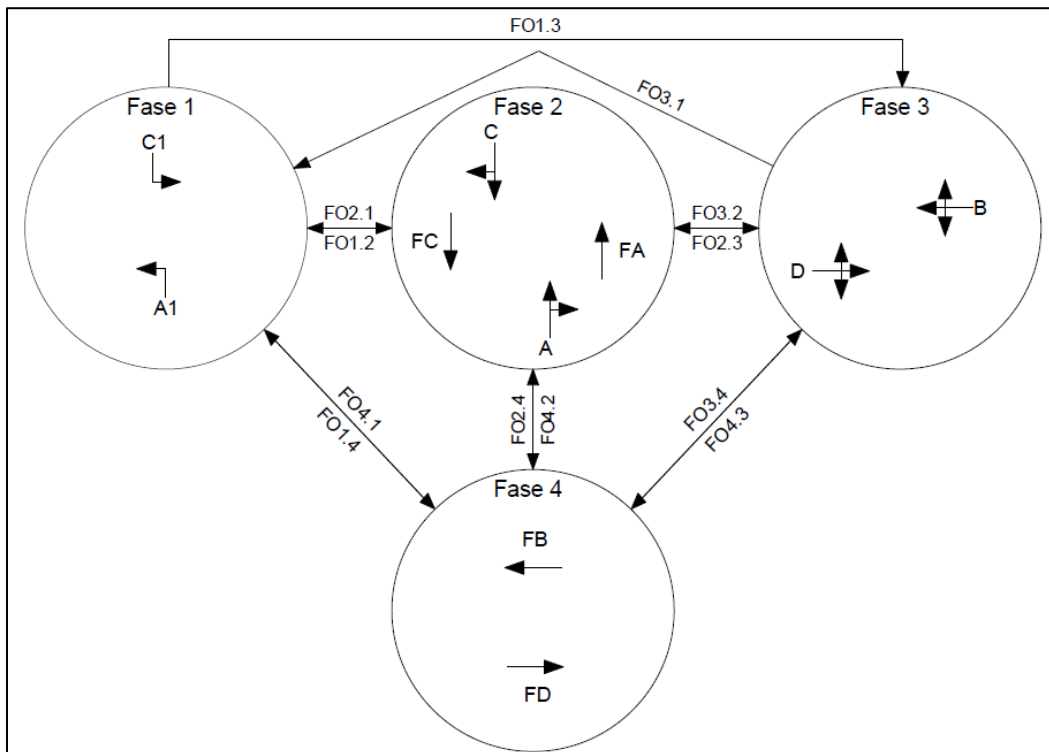
Figuur 82 Fasediagram driefasenregeling met een extra fase voor fietsers (Fase 4) die ingepast dient te worden in de regeling

Normale cycli volgen steeds de volgorde Fase 1 -> Fase 2 -> Fase 3 en hebben al de flexibiliteit om fasen over te slaan en ook Fase 4 dient overgeslagen te worden als 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 overgangsfasen:



Figuur 83 Fasediagramm driefasenregeling met de mogelijkheid tot het tussenvoegen van een extra fase (Fase 4)

Een mögliche cyclus ist dus als folgt:

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

Als die fase slechts één keer per cyclus mag opkomen, kan er mit einem "Bit" gewerkt werden (zöals in paragraaf 4.2.2.1) um zu kontrollieren ob die fase al dan nicht reeds in der cyclus ist vorgekommen.

### 4.3 Programmawerking

Die verkehrslichtenregeling wird opgemaakt op basis van der spitsuurintensiteiten. Die ochtendspits und die avondspits kunnen echter veel van elkaar verschillen op vlak van intensiteiten. Daarom ist het aangewezent um mindestens vor der ochtend- und avondspits aparte programma's zu laten programmieren. Ook in der daluren sind die intensiteiten vaak verschillend, bv. vor der uren zwischen der spitsuren oder tijdens der nacht. Diese spezifische cyclus noemen wir dan ein programm. Als er verschillende programma's entworfen werden, können diese eingeschakelt werden op verschillende momenten van der dag oder woche durch middel van ein uhrwerkregeling.

Die keuze van der verschillende programma's wird best bepaald an der hand van der verwachte oder gemeten intensiteiten op bepaalde momenten gedurende ein dag oder woche.

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 nachtperiodes (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 te worden voorzien in de regeling, zodat een eventuele drukkere piekperiode opgevangen kan worden.

Als 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:

- Tijdgebonden 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 verkeersstellingen, of door een betrokken verkeerscomputer, zoals het geval is bij de VLCC te Antwerpen. Hier zal verder worden op ingegaan in paragraaf 4.3.3.

### **4.3.1 Tijdgebonden programma's**

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

Zoals in de vorige paragraaf en gelet op de intensiteiten in Figuur 3 in paragraaf 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 dat 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 precies vallen, kunnen doorsnedetellingen uitgevoerd worden gedurende één of meerdere dagen, zoals al besproken (de meeste tijdgebonden 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 immers ook vroeger beginnen, later eindigen of langer duren dan mogelijks verwacht wordt. Ook zullen deze actoren beter geïnformeerd zijn over 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 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.

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	
<b>Logica geldig op (type dag en periode): alle dagen</b>	
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 vtg/uur
Beschikbaarheid voor validatie	Alle detectoren
Alternatieve meetstations	M103, M104
Drempelwaarde (som intensiteit)	> 900 vtg/uur

Figuur 84 Voorbeeld van een schakellogica voor het overschakelen van programma A100D naar B90M



Figuur 85 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 microsимулатie 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.

- Driekleurige lichten 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.

<b>KnO : Programma Knipperend Oranje-Geel</b>	
<b>A1, A2, A3, B, C1, C2, C3, D FA, FB, FC, FD</b>	<b>: Knipperend Oranje-geel</b>
<b>a, b1, b2, c, d1, d2</b>	<b>: Gedoofd</b>
<b>Ha, Hb, Hc, Hd</b>	<b>: Buiten werking</b>



Figuur 86 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<sup>1,2,3,4</sup> is gebleken dat dit tot significant meer ongevallen met gewonden leidt en zodoende de veiligheid op kruispunten 's nachts niet ten goede komt.

## 4.4 Nooit voor niets voor rood

In principe mag een lichtenregeling ‘conform Actieplan Verkeerslichten’ de weggebruikers nooit voor niets voor een rood verkeerslicht laten wachten. Aan dit principe wordt onder meer uitvoering gegeven door middel van uitgebreide detectie met redundantie, korte minimum-groentijden, het overslaan van fasen en het toevoegen van alternatieve fasen. Deze paragraaf bepaalt aan de hand van standaardsituaties en voorbeelden wat de minimumvereisten aan regelingen zijn om te voldoen aan het principe ‘Nooit voor niets voor rood’. Hierbij worden bepaalde signaalgroepen als voorbeeld gebruikt, maar andere signaalgroepen worden in gelijke gevallen hetzelfde behandeld.

Dat een weggebruiker het *gevoel* heeft dat die voor niets voor rood staat omdat die geen conflicterend verkeer ziet, wil nog niet zeggen dat die werkelijk voor niets voor rood staat. Het licht kan bijvoorbeeld rood blijven om een soort groene golf tot stand te brengen. Of de huidige fase kan te kort zijn om een groot deel van de wachtrij af te wikkelen, waardoor het beter is om pas in een volgende fase langdurig

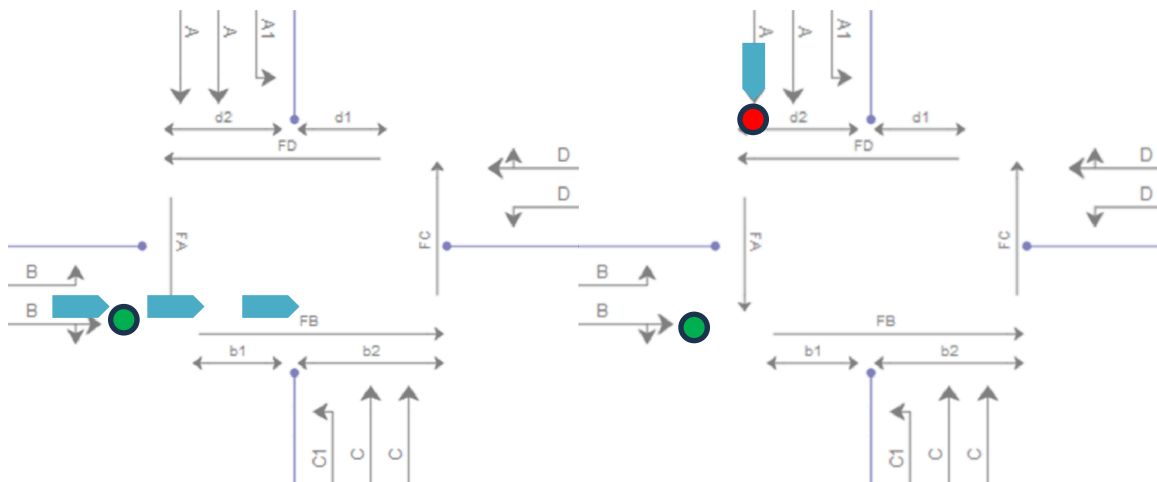
<sup>1</sup> S.F. Polanis, “Right-Angle Crashes and Late-Night/Early- Morning Flashing Operation: 19 Case Studies,” ITE Journal, April 2002 + “Removal of signal flashing mode during late-night / early-morning operation, Winston-Salem, 2004”

<sup>2</sup> 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

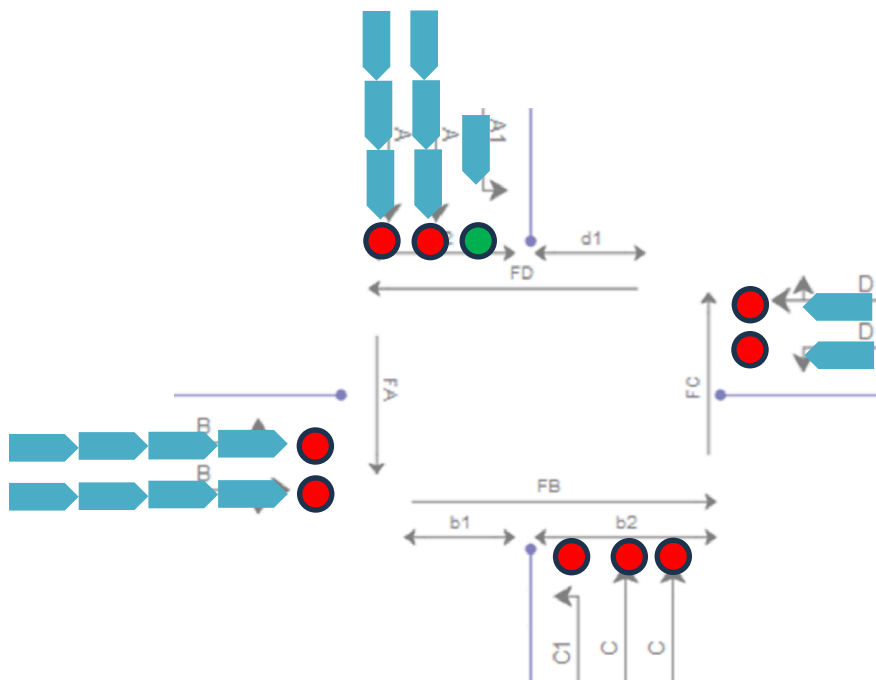
<sup>3</sup> Maier, R., Scholz, Th. & Enke, Markus (2007). „Untersuchung zur Wirkung von unterschiedlichen Betriebszeiten der Lichtsignalanlagen in Städten (Schlussbericht).“ (An Investigation into the Effect of Different Operating Hours of Traffic Signals in Cities (Final Report)) Technische Universität Dresden

<sup>4</sup> Ahmed Abdelghany, Ph.D. Billy Connor, P.E. (2006). Guidelines for Operating Traffic Signals during Low-Volume Conditions, TransNow, August 2006

groen te geven. Een hoger doel is immers om niet alleen de gewogen verliestijden maar ook de aantallen stops te minimaliseren.



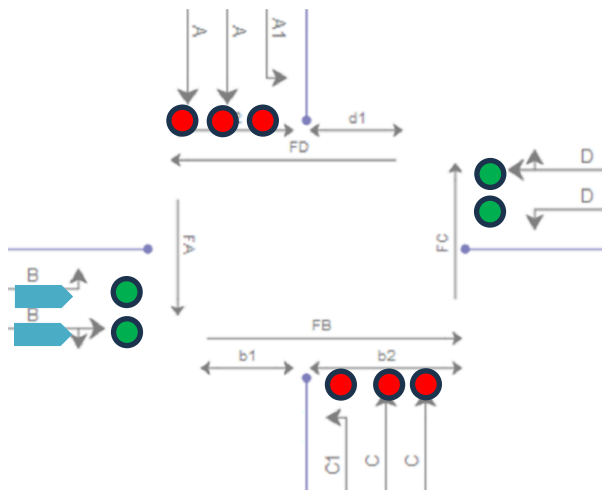
Figuur 87 De automobilist uit het noorden ziet nog geen conflicterend verkeer maar staat niet voor niets voor rood: het is optimaler om B groen te laten zodat de reeks automobilisten bij het tweede kruispunt niet zal moeten stoppen.



Figuur 88 Ook A zou nu nog veilig kort groen kunnen worden, maar voor het overgrote deel van de daar wachtende automobilisten zou daardoor een extra keer moeten optrekken en opnieuw moeten stoppen.

#### 4.4.1 Mee-aanvraag, gelijkstart en meeverlengen

Om nodeloos voor rood staan te vermijden, dienen richtingen B en D in deelconflict een onderlinge meeaanvraag te krijgen, dus ze worden beide groen als er voor één van beide een aanvraag is.

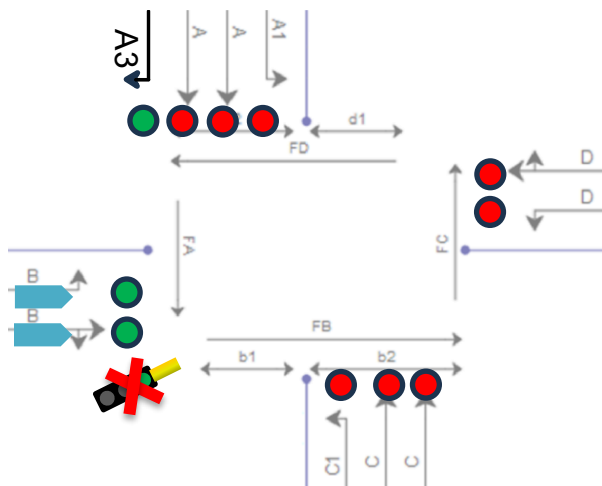


*Figuur 89 Een aanvraag door verkeer bij B moet hier leiden tot een mee-aanvraag voor groen bij D, ook al werd daar nog geen verkeer gedetecteerd. Niemand ondervindt immers nadeel van onnodig groen bij D.*

Die verplichte mee-aanvraag geldt echter niet als

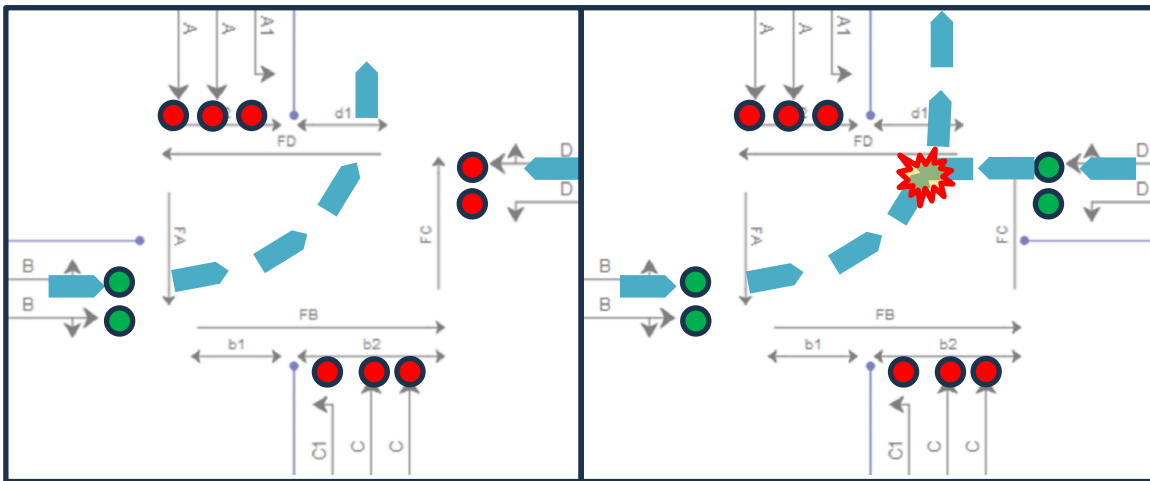
- er aparte rechtsafrichtingen A3 en/of C3 op het kruispunt aanwezig zijn
- én er bovendien geen herhalingslantaarn B of D aan de overzijde van het kruispunt aanwezig is, want een dergelijk herhalingslicht vormt een bezwaar tegen verschil tussen B en D.

Dan mag B bijvoorbeeld tegelijk groen zijn met rechtsaffers A3 i.p.v. met D.



*Figuur 90 Een herhalingslicht van D aan de overzijde maakt het onveilig om D rood te laten worden terwijl B groen blijft. Maar op dit kruispunt bestaat dat bezwaar niet en zou A3 wel nadeel kunnen hebben van onnodig groen bij D.*

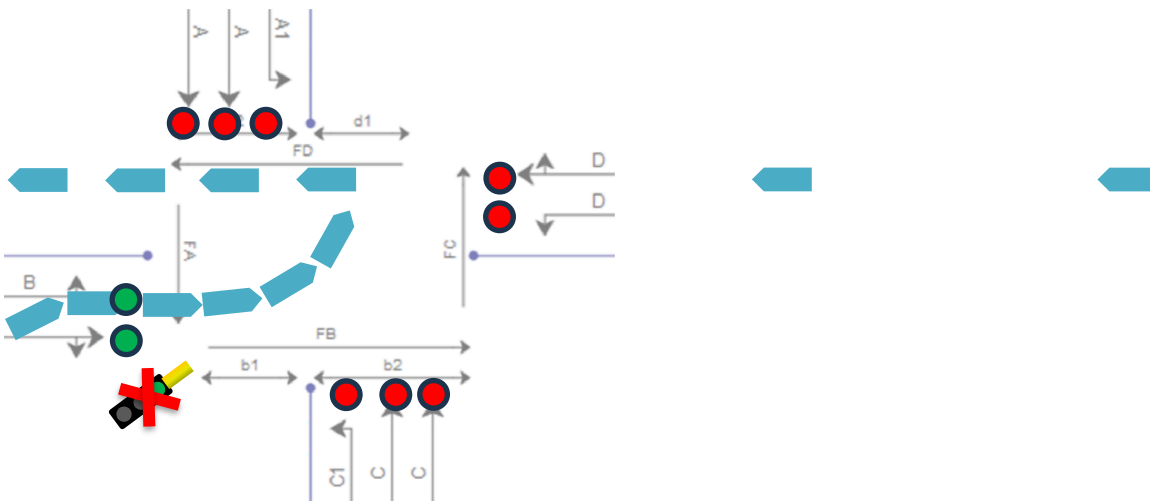
Indien de dwarsrichtingen B en D beide groen gaan worden in een bepaalde fase, dan moet hun groen tegelijk starten. Anders zou een voorrangsgerechtigde richting een nastart krijgen.



*Figuur 91 Illustratie van een onveilige nastart. Op het eerste plaatje is nog enkel B groen. D wordt pas op het tweede plaatje groen en is dan voorrangsgerechtigd, maar linksaffers van B verlenen dan vaak geen voorrang meer.*

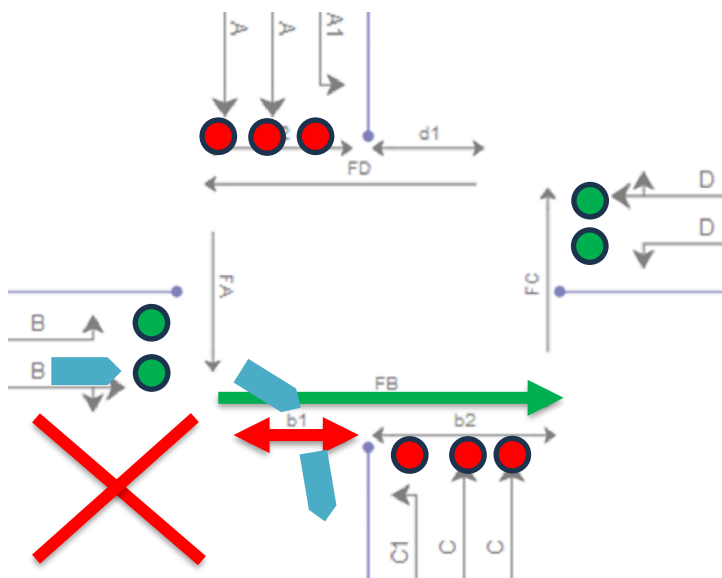
Indien er een ontruimingspijl D0 is en er is een deelconflict tussen D en linksaffers B, dan mag er aan de overzijde geen herhalingslantaarn B hangen. En indien er wel een herhalingslantaarn B hangt aan de overzijde van het kruispunt, dan mag de groenfase van B niet eerder eindigen dan de groenfase van D. Links afslaande automobilisten interpreteren die herhalingslantaarn namelijk vaak onterecht als 'doorkijklicht', alsof ze zo kunnen weten of tegemoetkomend verkeer nog groen heeft. Indien er dus aan beide overzijden een herhalingslantaarn B respectievelijk D hangt, dan moeten hun groenfasen ofwel tegelijk eindigen, ofwel conflictvrij geregeld worden.

Indien er geen herhalingslantaarn aan de overzijden hangt, dan is het niet verplicht om de richtingen B en D met elkaar te laten meeverlengen. Het kan immers voordelig zijn om het kruisingsvlak zo snel mogelijk vrij te geven als er geen verkeer meer is uit tegenovergestelde richting. Dit om een veilige situatie te creëren en om de volledige afwikkelingscapaciteit op de drukste richting te kunnen benutten.



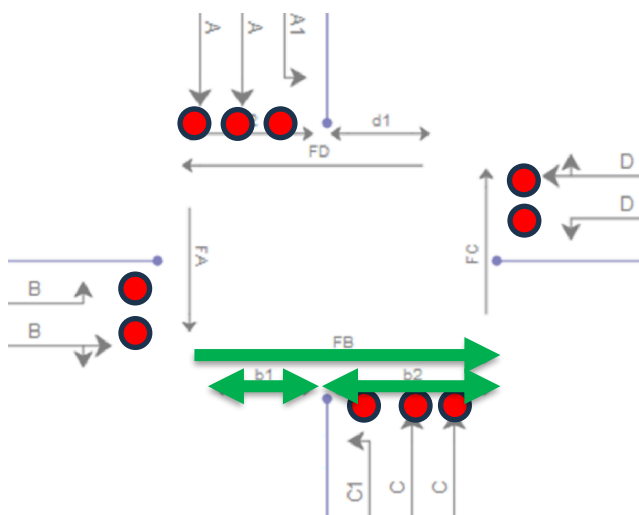
*Figuur 92 In deze situatie is het toegestaan – en wellicht beter – om D eerder rood te laten worden dan B.*

Als B een deelconflict heeft met bijvoorbeeld FB en b1, dan mogen B en FB niet groen zijn terwijl b1 rood is. Dus voor een fase waarin B minstens groen is wanneer FB groen is, krijgt b1 een mee-aanvraag van FB, krijgt b1 een gelijkstart met FB of voorstart voor FB, en moet het groen van b1 eindigen gelijk met of na het einde van het groen van FB.



*Figuur 93 Deze situatie is niet toegestaan, wegens de kans dat een afslaande automobilist bij het zien van het rode voetgangerslicht b1, verkeerdelijk veronderstelt dat ook FB rood is.*

Als FB en b1 geen deelconflicten hebben, dan krijgt FB een mee-aanvraag van b1 en b2. Over het algemeen zal het optimaal zijn om FB te laten meeverlengen met b1 en b2 (en met eventuele andere richtingen zoals B2 en D2), maar om b1 en b2 niet te laten meeverlengen.



*Figuur 94 Ook als er enkel van een voetganger een aanvraag is, wordt toch ook het fietserslicht groen: een nog niet gedetecteerde fietser heeft daar voordeel bij en niemand heeft er nadeel bij.*

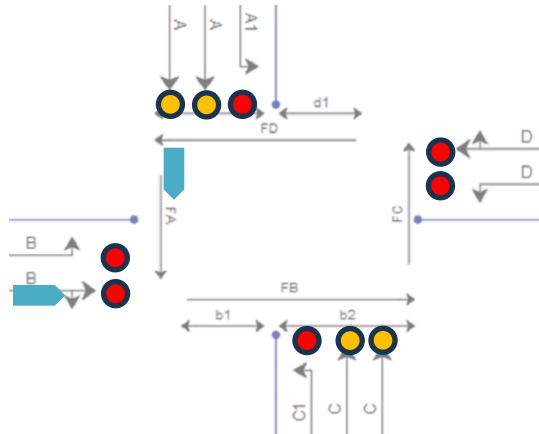
Om nodeloos voor rood staan te vermijden, moet er geprobeerd worden om het maximaal aantal richtingen mee groen te geven met een richting waarvoor er een aanvraag is gebeurd, voor zover andere weggebruikers daar niet of nauwelijks nadeel van kunnen ondervinden. Dus zelfs als er voor die extra richtingen (nog) geen aanvraag is geregistreerd. Neem het voorbeeld van een T-kruispunt met richtingen A1, A2, C, D1, D3, FC en c. Als A2 en C groen zijn en er komt een aanvraag op A1, dan zal C naar rood gaan en A1 groen worden. Het is dan altijd beter om ook D3 groen te laten worden i.p.v. rood te houden. In alle gevallen die zich kunnen voordoen is rood houden niet nuttig:

- Als er nog een voertuig aankomt op D3, moet dat niet stoppen.
- Als er fietsers of voetgangers willen oversteken op FC/c: De tussengroentijd van A1 naar FC/c is nooit korter dan van D3 naar FC/c. Dus D3 kan altijd op tijd rood worden in de overgang waarin A1 wordt afgebroken.
- Als de hoofdrichting C weer groen wordt: De tussengroentijd van A1 naar C is nooit korter dan van D3 naar C. Dus D3 kan altijd op tijd rood worden in de overgang waarin A1 wordt afgebroken.

- Als er een voertuig komt op D1, dan kunnen D1 en D3 samen groen zijn.

#### 4.4.2 Kort rood

Wanneer een bepaalde signaalgroep rood wordt om een conflicterende richting groen te geven, dan mag die bepaalde signaalgroep in principe niet enkele seconden daarna toch alweer groen worden zonder dat een conflicterende richting intussen groen heeft gehad. Het is immers niet wenselijk om weggebruikers te laten remmen en direct te laten optrekken, zonder dat andere weggebruikers daar baat bij hebben gehad.



*Figuur 95 Wanneer A rood wordt om B groen te geven, dan mag A in principe niet enkele seconden daarna toch alweer groen worden.*

Er zijn echter enkele acceptabele uitzonderingen op dit principe, waarbij de korte minimum-roodtijd van standaard 2 seconden wel effectief haar nut bewijst.

1. Wanneer er bij de VRI een signaal binnenkomt dat een brug of spoorwegovergang binnenkort gesloten zal worden voor het wegverkeer, dan moet de signaalgroep die het verkeer in staat stelt om het brugdek of de overweg te ontruimen, zo snel mogelijk groen worden.
2. Wanneer een hulpdienstvoertuig – kort nadat zijn licht oranjegeel is geworden – via C-ITS prioriteit aanvraagt en zich al zodanig dicht bij het kruispunt bevindt dat zijn licht z.s.m. weer groen moet worden, dan mag dit direct na het verstrijken van de minimum-roodtijd gebeuren.
3. Bij toeritdosering laat een verkeerslicht slechts druppelsgewijs motorvoertuigen toe tot de invoegstrook van een autosnelweg om te voorkomen dat daar file ontstaat. Er wordt telkens kort groen en kort rood gegeven.
4. Bij het minimaliseren van gewogen verliestijden en stops, en bij het vermijden dat men voor niets voor rood komt te staan, moet de regelingontwerper er op basis van intensiteiten rekening mee houden dat er vaak een verschil is tussen relatief drukke hoofdrichtingen en rustige, ondergeschikte richtingen. Wanneer er een tijdje nergens verkeer is gedetecteerd, dan is de kans het grootst dat het eerstvolgende voertuig op een *hoofdrichting* zal naderen. Het meest optimaal is dan dat die uitgesproken hoofdrichting groen krijgt in de rusttoestand. (Rusttoestand rood is immers niet aangewezen op kruispunten waar het detectiegebied van de meeste voertuigen te klein is om aankomend verkeer zonder noodzakelijke rembeweging groen te kunnen geven.) Het is dus niet voor niets dat een klassieke regeling op een standaard-kruispunt de signaalgroepen A en C groen geeft in de rusttoestand. Een consequentie daarvan is dat ondergeschikte richtingen wel

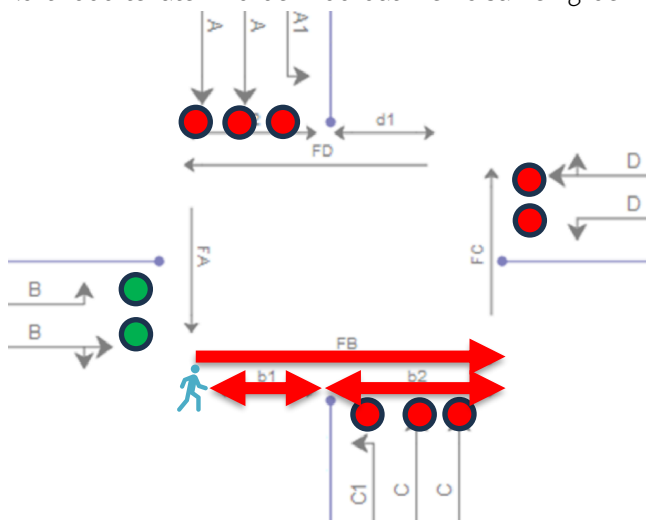
rood kunnen krijgen zodra daar voor zover bekend geen verkeer meer is<sup>1</sup>, zelfs als er op dat moment ook op andere richtingen geen verkeer is gedetecteerd. Wanneer op diezelfde ondergeschikte richting kort na einde groen opnieuw groen wordt aangevraagd, dan is het acceptabel en zelfs wenselijk dat die richting direct na het verstrijken van de minimum-roodtijd weer groen krijgt.

Maar 'kort rood' geven op een uitgesproken *hoofdrichting* om een dergelijke reden is onacceptabel. Stel dat op hoofdrichtingen A en C een hiaat is gevallen. Indien er geen conflicterend verkeer is gedetecteerd, dan moeten A en C groen blijven, want de kans is het grootst dat het eerstvolgende voertuig enkel ongehinderd door kan rijden als A en C dan al groen zijn. Indien er wél conflicterend verkeer is en A en C worden rood, dan moet dat conflicterend verkeer vervolgens groen krijgen, zelfs als er intussen alsnog een voertuig op richting A of C is gedetecteerd: dat zal dan even moeten wachten.

5. Het is acceptabel om kort rood te geven als dat nodig is om aan een randvoorwaarde of veiligheidsprincipe te voldoen, bijvoorbeeld om een nastart van voorrangsgerechtigd verkeer te voorkomen.

Als bijvoorbeeld een ontruimingspijl A0 heeft gebrand samen met het groen van A, en vervolgens is er geen verkeer gedetecteerd dat conflicteert met A en C, dan is het acceptabel om A even rood te laten worden en vervolgens tegelijk met C groen te laten worden. Dat roept misschien vragen op van weggebruikers, maar is uitlegbaar: links afslaande automobilisten die daarnet nog conflictvrij konden afslaan zullen niet allemaal geneigd zijn om voorrang te verlenen aan tegemoetkomende automobilisten als die plotseling groen krijgen.

Een ander voorbeeld: weggebruikers B hebben groen, maar de parallelle voetgangers b (die hier tegelijk groen *mogen* hebben) hebben nu rood i.v.m. hun veel langere ontruimingstijd. Als er enkel een aanvraag van een voetganger b komt, dan is het acceptabel om B na een gedetecteerd hiaat kort rood te laten worden voordat B en b samen groen worden.



Figuur 96 Als er enkel een aanvraag van een voetganger b komt, dan mag B na een gedetecteerd hiaat wel kort rood worden.

Echter, in veel andere situaties is er een betere oplossing waarmee een nastart én kort rood worden voorkomen. Stel hoofdrichting A en fietsrichting FA mogen tegelijk groen hebben, maar er moet worden voorkomen dat het groen van FA start nadat het groen van A is gestart. Aangezien de tussengroentijden na het groen van FA niet of nauwelijks langer zijn dan die van A, is het beter

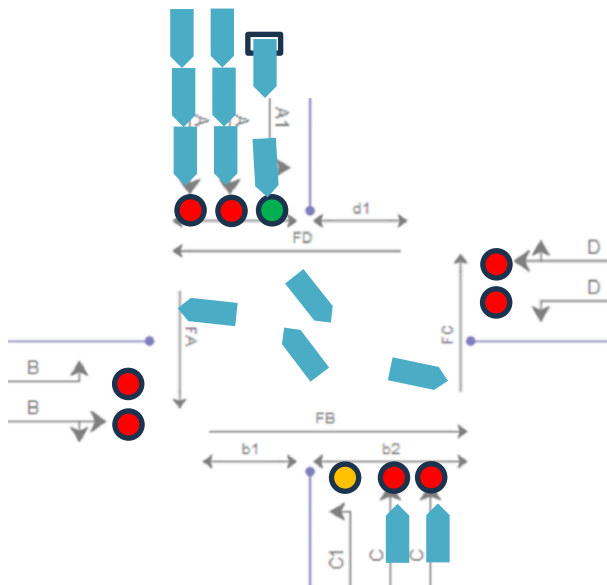
<sup>1</sup> Mits dat potentieel nuttig is. Vaak voorkomt meeverlengen nodeloos voor rood staan, omdat er gezien de tussengroentijden toch niemand baat bij kan hebben om een licht direct rood te laten worden.

om het groen van FA te laten mee-aanvragen en meeverlengen met het groen van A, bijvoorbeeld door ze allebei groen te geven in de rusttoestand. Beter dat dan om standaard FA rood te geven als A groen is, en om A steeds kort rood te geven na een groenaanvraag voor FA of als de maximum wachttijd van de fietsers bijna verstrijkt.

#### 4.4.3 Driekleurige pijllichten linksaf vanuit tegenovergestelde richtingen

Indien linksaffers tegelijk groen mogen hebben met linksaffers vanuit de tegenovergestelde richting, dan geldt het volgende:

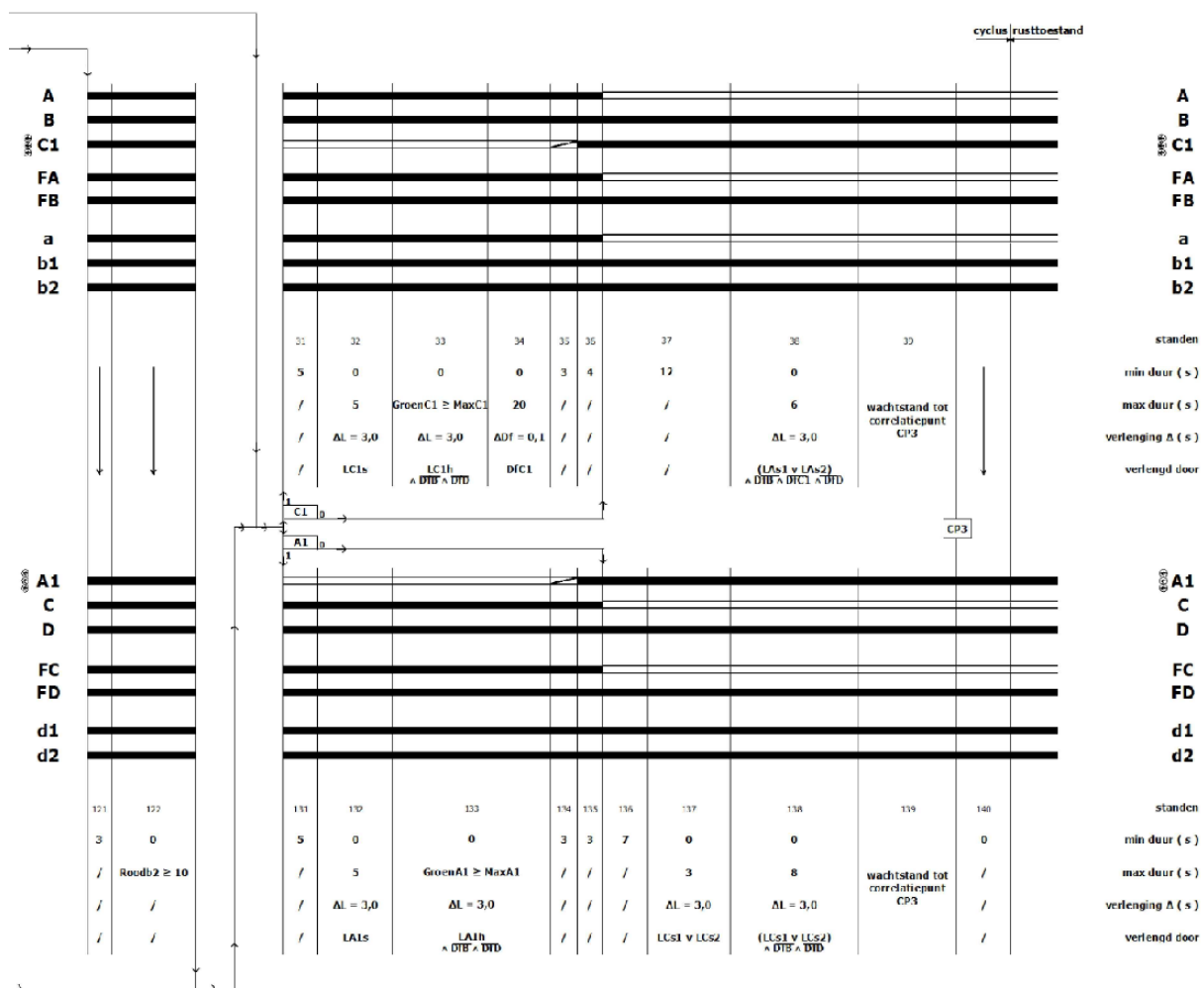
Het moment van overgang tussen een linksafrichting en de tegemoetkomende rechtdoorrichting, moet onafhankelijk zijn van het moment van overgang tussen de tegenovergestelde linksaf- en rechtdoorrichtingen.



Figuur 97 Het moment dat C1 oranjegeel wordt moet hier onafhankelijk zijn van het moment dat A1 oranjegeel wordt.

Dit vereist een niet puur fasegestuurde regelingsstructuur, maar minstens gedeeltelijk een signaalgroepgestuurde regelingsstructuur, bijvoorbeeld bestaande uit deelstructuren ('softwarematig onderscheiden deelskruispunten binnen een kruispunt met één gezamenlijke tussengroentijdenmatrix').

Een voorbeeld staat in het onderstaande fragment. Het is overgenomen uit V012569v07.



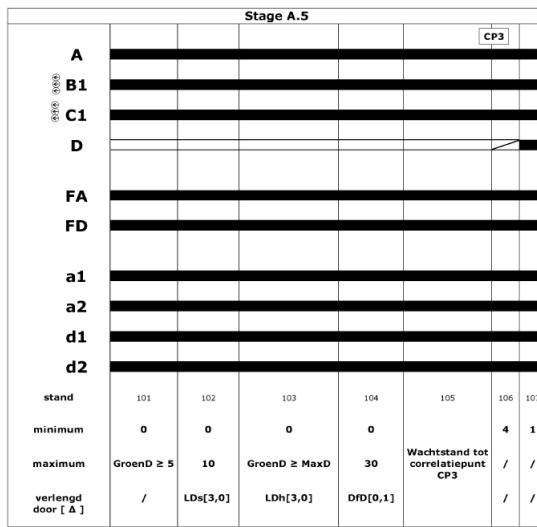
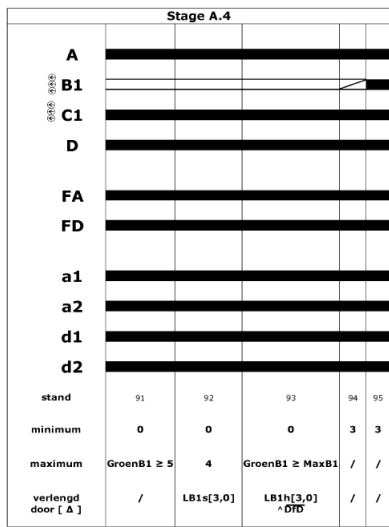
Het moment om van C1 naar A te gaan is hier onafhankelijk van het moment om van A1 naar C te gaan. Vervolgens zorgen wachtstanden en een correlatiepunt ervoor dat de twee deelstructuren wel tegelijk naar de rusttoestand gaan. (Ditzelfde is ook goed mogelijk met een weergavewijze waarin elke fase en elke overgangsfase als een apart blok wordt weergegeven en waarin blokken van verschillende 'deelkruispunten' niet door een lijnstuk met elkaar verbonden worden. Alleen zijn er dan iets meer correlatiepunten nodig om ervoor te zorgen dat bijvoorbeeld B en D wel tegelijk groen worden.)

Als de overgang van A1 naar C zou moeten wachten tot de overgang van C1 naar A voltooid is, dan zouden automobilisten C en fietsers FC tot zeven seconden voor niets voor rood staan.

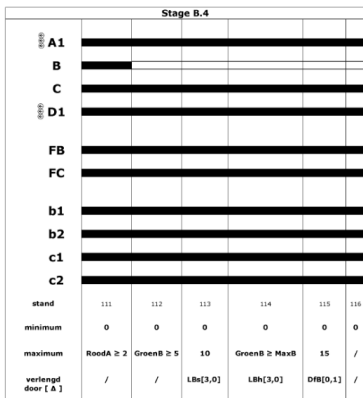
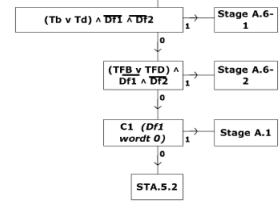
Als de overgang van A1 naar C zou moeten wachten tot ook de overgang naar A kan starten wanneer er geen linksaffers C1 meer gedetecteerd worden, dan zouden automobilisten C en fietsers FC nog langer voor niets voor rood staan.

Als A1 pas na C groen zou kunnen krijgen om een overlap tussen beide linksafrichtingen te vermijden, dan zou A1 in een wachtstand groen krijgen of moeten meeverlengen met een andere richting, terwijl juist de drukste richtingen groen moeten hebben in wachtstanden of tijdens het meeverlengen om die groentijd zo nuttig mogelijk te besteden. Automobilisten C zouden hier een grote kans hebben om voor niets voor rood te staan.

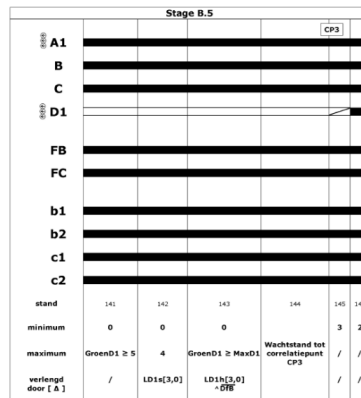
Uiteraard kan een linksafrichting soms wel in een wachtstand groen krijgen, als die even druk of drukker is dan de tegemoetkomende rechtdoorrichting. In het onderstaande fragment, overgenomen uit V012795v11, worden de fasen als blokken weergegeven en krijgen linksaffers D1 groen in een wachtstand. Ook hier zijn de twee startmomenten van overgangsfasen onafhankelijk van elkaar.



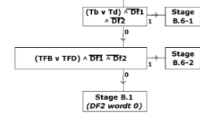
Stage A.5



STB.4.5



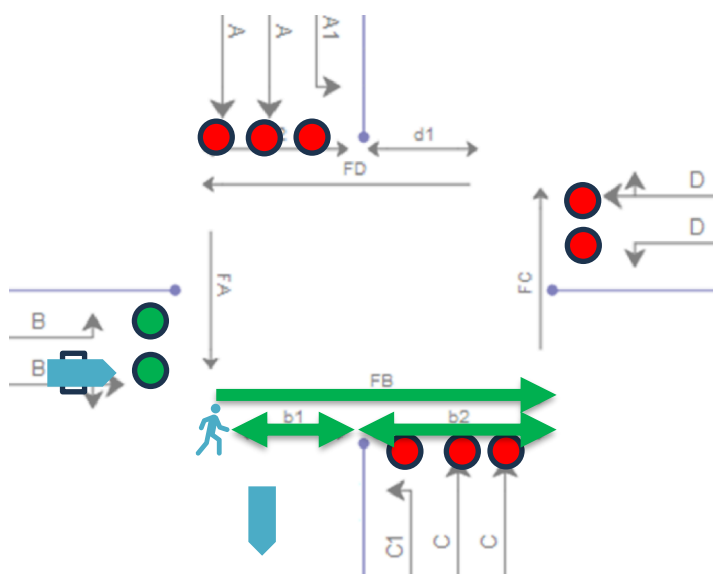
Stage 5



#### 4.4.4 Zo laat mogelijk beslissen

Pas vlak voordat een fase begint, mag beslist worden welke mogelijke (variant van die) fase gestart moet worden.

Stel bijvoorbeeld dat voetgangers b tegelijk met auto's en fietsers B groen mogen hebben in deelconflict, maar door de langere groen- en ontruimingstijd van voetgangers is er een afzonderlijke fase-variant waarin enkel B groen wordt. Stel bovendien dat de groenfase van A eindigt en er is dan enkel een groenaanvraag voor B. Het is niet optimaal om dan al definitief te kiezen voor de variant waarin enkel B groen wordt, want tijdens de overgangsfase kan er alsnog een voetganger b op de knop drukken. Die zou dan lang voor niets voor rood kunnen staan. De roodtijd in de basiscyclus zou dan geen correcte maat meer zijn om de maximum wachttijd van voetgangers voldoende te respecteren. Pas aan het eind van de overgangsfase mag beslist worden welke fase-variant gestart wordt.

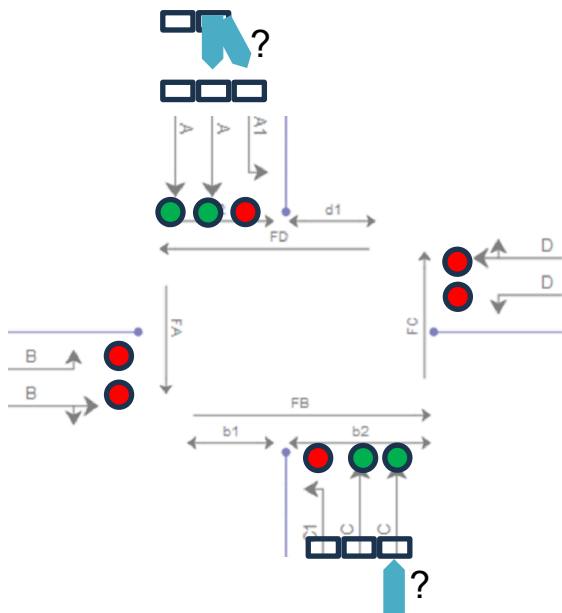


Figuur 98 Als een voetganger b pas drukt vlak voordat B groen wordt, dan wordt hier alsnog beslist om toch ook FB, b1 en b2 groen te laten worden.

Dat zo laat mogelijk beslist moet worden wil niet zeggen dat elke beslissing acceptabel is. Paragraaf 4.4.2 over het vermijden van 'kort rood' blijft geldig.

#### 4.4.5 Zekerheid nodig om voor de zekerheid rood te geven

Stel A2 en C2 zijn groen en er is enkel op tak A een voertuig gedetecteerd, nog voor het begin van de linksafstrook. Bij een normale intensiteitsverdeling is er slechts een kleine kans dat die automobilist linksaf zal slaan (dus A1 groen wil laten worden). In dit geval is het niet acceptabel om C2 alvast rood te laten worden voor het geval dat A1 groen moet worden, tenzij zeker is dat er geen verkeer nadert op tak C. Om dat voldoende zeker te weten is het niet voldoende dat de gewone afstandsflus geen verkeer heeft gedetecteerd, wegens de beperkte afstand, maar is het wel voldoende dat ook op het stroomopwaarts gelegen kruispunt gedetecteerd is dat er geen verkeer naar tak C is gereden.

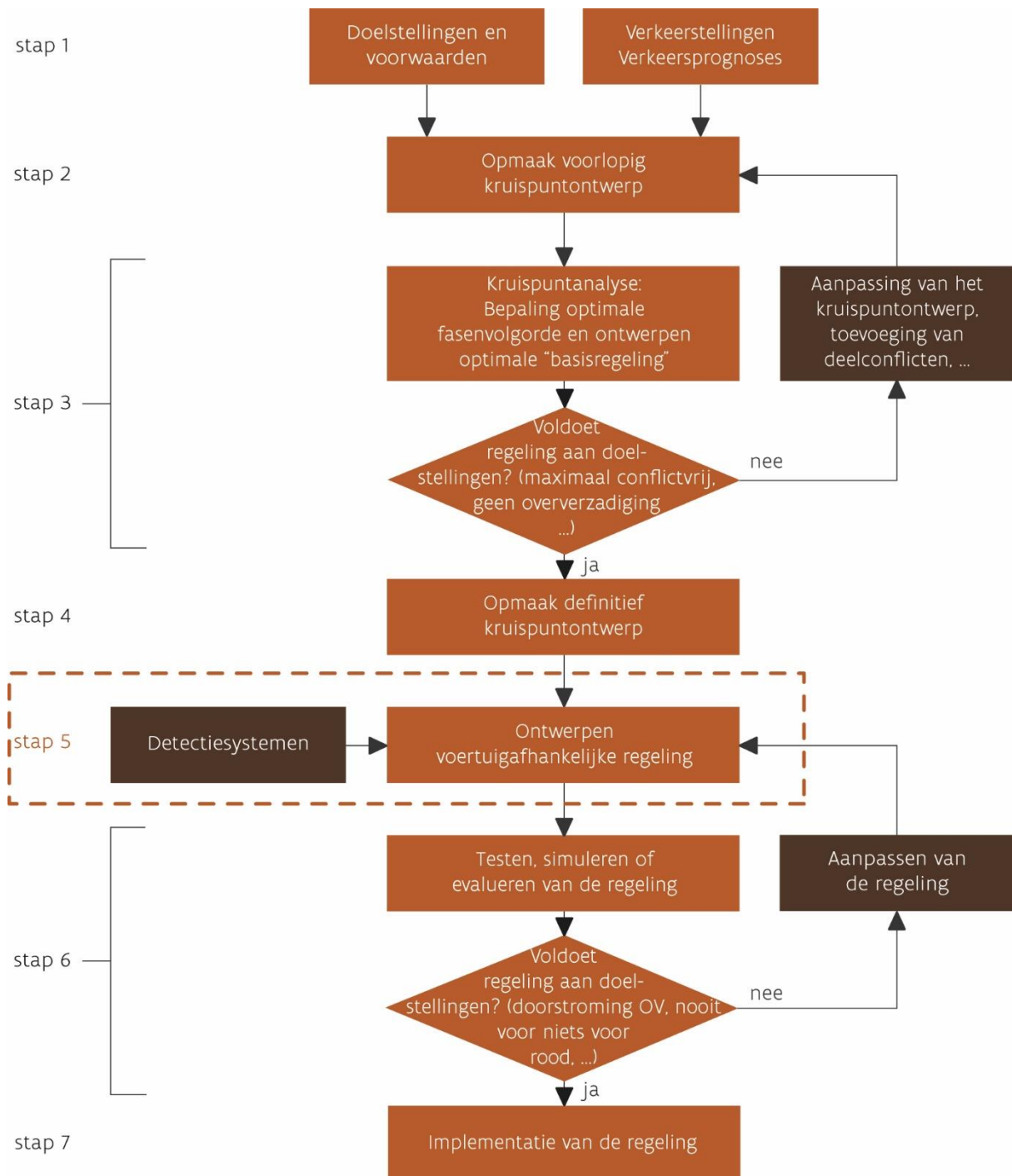


*Figuur 99 Bij een normale intensiteitsverdeling is het niet acceptabel om C alvast rood te laten worden voor het geval dat A1 groen moet worden, tenzij zeker is dat er geen verkeer nadert op tak C.*

## 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 100 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 bij vrije afstroom, dus op rijstroken waar het verkeer niet of nauwelijks wordt gehinderd door bijvoorbeeld deelconflicten.

### 5.1.1 Opbouw van de Vlaamse standaarddetectieconfiguratie bij vrije afstroom

#### 5.1.1.1 Detectortypen

Op de Vlaamse gewestwegen zijn er momenteel verschillende detectortypen in gebruik voor gemotoriseerd verkeer, zodat deze hun groen kunnen aanvragen en/of verlengen:

- Inductieve lussen
- Gewone radars
- Allerlei camera's (optische, thermische en doppler-detectoren) met verschillende resoluties en intelligentieniveaus, waarmee meerdere detectiegebieden (virtuele lussen) per camera ingetekend kunnen worden

Deze fysieke detectoren kunnen eventueel met C-ITS worden aangevuld. Onder meer CAM-berichten worden vanuit een deel van de voertuigen verstuurd om hun gps-locatie en voertuigtype aan de ITS-applicatie te laten weten.

De keuze van het meest geschikte detectortype gebeurt in overleg met de elektrotechnisch uitvoerende AWW'ers om zo tot de meest geschikte detectie voor iedere locatie te komen.

#### a) Inductieve lussen

Een inductieve lus bestaat uit windingen koperdraad in het wegdek of tussen de spoorstaven<sup>1</sup>. 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 op basis daarvan de verkeerslichten aanstuurt. Inductieve lussen hebben als nadeel dat er meer kabelwerken nodig zijn bij aanleg en dat ook het herstel meer werk vergt.

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 meestal kleiner dan de breedte om individuele voertuigen te kunnen onderscheiden en te tellen.
- 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.

---

<sup>1</sup> Voor meer informatie over de technische werking wordt verwezen naar het Nederlandse Handboek verkeerslichtenregelingen, hoofdstuk 11.1 (CROW, 2022)

## b) Gewone radars

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. Gewone radars worden gebruikt om groen te verlengen bij vrije afstroom. Ze kunnen geen stilstaande voertuigen detecteren.

Gewone radars zijn niet geschikt voor het aanvragen van groen, omdat ze dan valse aanvragen zouden genereren: vogels, bewegende deuren en takken in de wind kunnen ze niet altijd van naderend verkeer onderscheiden.

Radardetectoren voor auto's hebben ook bij het verlengen met vrije afstroom 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 groenfasen 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 stopstreeplus: om de verlenging tot 15 s te verzekeren als daar behoefte aan is.

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.

Als hiaattijd voor radars die voertuigen dienen te detecteren wordt standaard 0,5s gehanteerd.

## c) Allerlei camera's

Maar ook andere detectortypen kunnen worden gebruikt, zoals optische en thermische camera's. 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-lussen, kasseien, etc.). Elk type stelt zijn eigen eisen aan de positie, hoogte en de windstijfheid van de steun. Ook de beperkingen verschillen: het ene type werkt niet bij sneeuw, het andere type werkt niet goed als een vrachtwagen het 'zicht' op een ander voertuig blokkeert. Wanneer meerdere detectiegebieden op een rijstrook door één camera worden gezien, dan moet er toch een andere detector (zoals een inductieve stopstreeplus) op die rijstrook worden toegevoegd, omdat er anders geen redundantie zou zijn. Wanneer op een kruispunt het verkeer op bepaalde rijstroken enkel door één camera zou worden gedetecteerd, dan zou een kleine verdraaiing of een defect er langdurig voor verkeerschaos kunnen zorgen.

Bij deze andere detectortypen kunnen ook andere benamingen op het V-plan gehanteerd worden.

Bijvoorbeeld: OLA1s is een optische lus die in de plaats komt van inductieve stopstreeplus LA1s.

In de legenda voor V-plannen staan al symbolen voor de meest voorkomende detectortypen, bijvoorbeeld voor videodetectie:

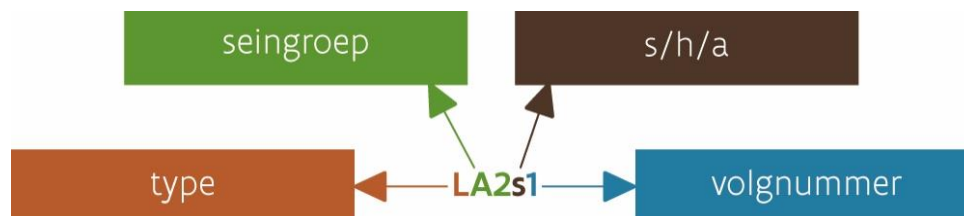


Wanneer bij het opmaken van het V-plan bekend is dat een detectietechniek zal worden gebruikt die niet in de legenda voorkomt, dan wordt die techniek vermeld bij het detectiegebied op het grondplan.

### 5.1.1.2 Naamgeving van detectoren voor motorvoertuigen

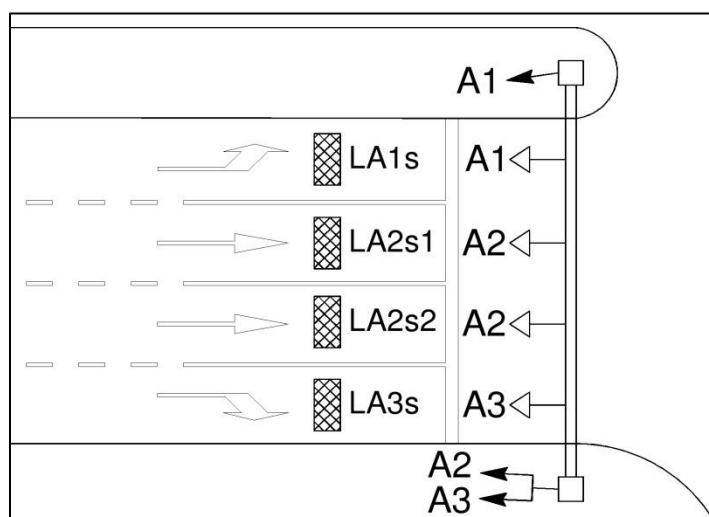
Een detectornaam is opgebouwd uit:

L(us)/R(adar) – Signaalgroepnaam – evt. s(stopstreepluS)/h(iaatlus)/a(fstandslus) – evt. Volgnummer (van linker linksafstrook naar rechter rechtsafstrook)



Figuur 101 Opbouw detectornaam

Bijvoorbeeld: de vier stopstreeplussen LA1s, LA2s1, LA2s2 en LA3s liggen naast elkaar. (zie Figuur 102)

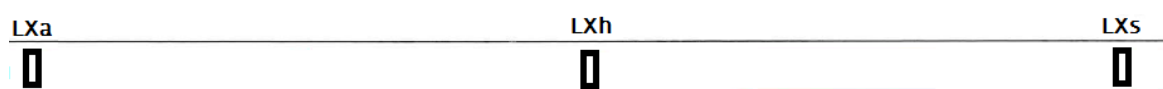


Figuur 102 Voorbeeld van stopstreeplussen en hun benaming

Een radar detecteert soms het verkeer van meerdere signaalgroepen, maar wordt toch toegerekend aan de signaalgroep 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 paragraaf 2.5.2)

### 5.1.1.3 Vlaamse standaarddetectieconfiguratie per rijstrook bij vrije afstrook



Figuur 103 Positie van de optionele afstandslus, de hiaatlus en de stopstreepluS t.o.v. de stopstreeP bij vrije afstrook

We onderscheiden dus de stopstreepluS 'LXs', de hiaatlus 'LXh' en optioneel de afstandslus 'LXa' van een signaalgroep 'X'. Alle lussen ("□") meten 1 m in de lengterichting van de weg en zijn standaard 2 m breed. 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 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) StopstreepluS

De stopstreepluS is nodig om voertuigen voor signaalgroep 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 paragraaf 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 tijdverlies verkleint.

Ook wanneer de stopstreeplussen niet gebruikt zullen worden in de regeling, worden ze aangebracht; dit omwille van verschillende redenen:

- Redundantie: Een stopstreepluS kan een hiaatluS vervangen bij defecten;
- Toekomstige functionaliteit: Het is mogelijk dat de stopstreepluS in de toekomst toch een functionaliteit zal krijgen in de regeling, bijvoorbeeld in een ITS-applicatie;
- Telfunctionaliteit: Met een stopstreepluS kunnen er (weliswaar gebrekkige) 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 begrensde 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, 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.

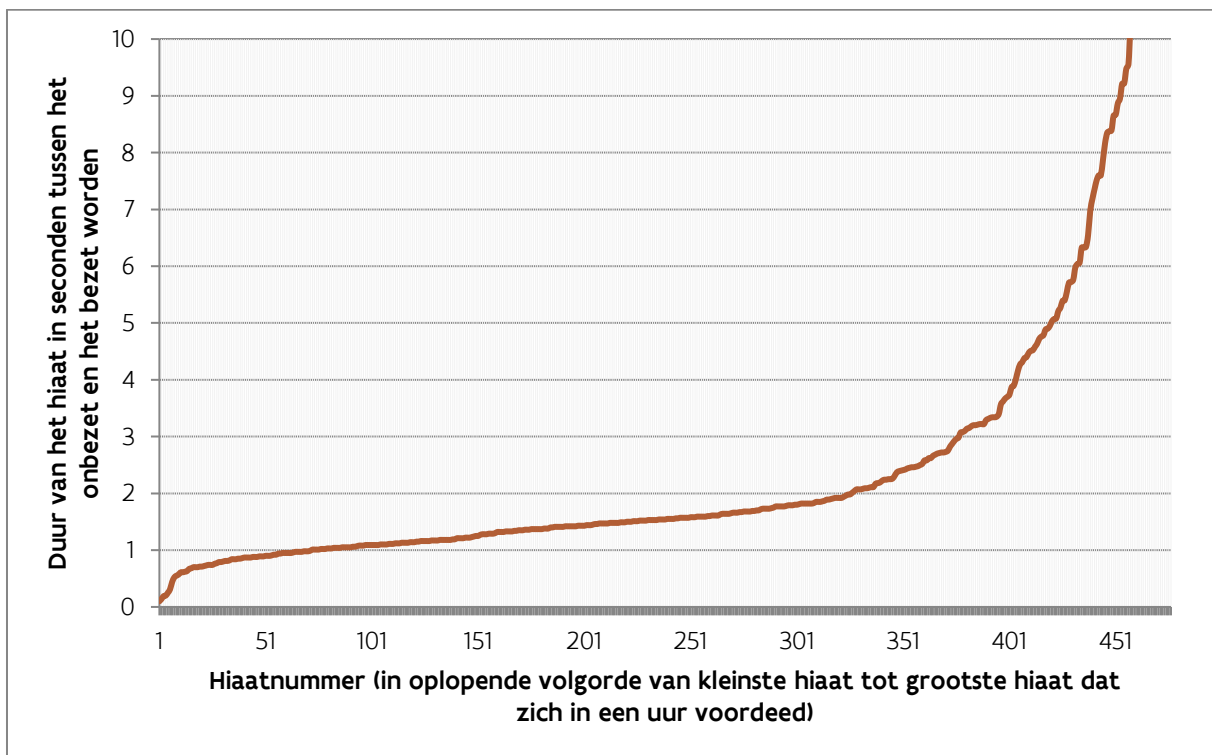
#### c) AfstandsluS

Vooral bij hogere maximumsnelheden en bij lange maximum-groentijden is het nuttig zijn om ook een luS op grotere afstand toe te voegen. Deze lussen zijn echter steeds optioneel. De 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.

### 5.1.1.4 Bepaling van hiaattijdgrenswaarden

De optimale lusafstanden hangen samen met de hiaattijdgrenswaarde. Die waarde wil zeggen: hoe lang na de laatste detectie moet het groen nog verlengd worden voordat geconcludeerd mag worden dat het volgende voertuig hoogstwaarschijnlijk niet meer in de wachtrij stond, dus dat het groen (indien nuttig) beëindigd mag worden? Want wanneer er veel tijd tussen de voertuigen zit, dan wordt het licht groen laten inefficiënt, omdat er dan waarschijnlijk meer voertuigen per tijdseenheid verwerkt kunnen worden door andere lichten groen te laten worden.

Een afrijcapaciteit van 1800 pae/u veronderstelt dat er tijdens de wachtrijafwikkeling gemiddeld elke 2 seconden een voertuig over de stopstreep rijdt. Door de voertuiglengte is de gemiddelde hiaattijd tussen twee voertuigen dus iets lager: maximaal 1,8 s, afhankelijk van hun snelheid. Onderstaande grafiek toont een duidelijke buiging omhoog vanaf een hiaattijd van 2 s. Dit toont aan dat bij het instellen van de hiaattijd hoger dan 2 s er ook verlengd zal worden op voertuigen die niet in de wachtrij stonden, dus de groentijd minder efficiënt gebruikt wordt. Anderzijds is het ook niet de bedoeling om iedereen die een net iets langer hiaat dan 2 s laat vallen, af te straffen met rood licht: enige tolerantie is wenselijk.



Figuur 104 Hiaattijden gemotoriseerd verkeer op de stopstreep lus van een rechtdoorgaande rijstrook (Proefproject Dendermonde, 2014)

Webster spreekt van 2,5 s als waarde. Uit ervaring in Vlaanderen is gebleken dat de **hiaattijdgrenswaarde van stopstreepplussen het best standaard op 2,5 s** ingesteld wordt (dit is ook noodzakelijk om een korte minimum-groentijd van 5 s te realiseren als er één auto staat te wachten) en dat die van de **hiaatlussen en afstandslussen het best standaard op 3,0 s** ingesteld wordt. Het gebeurt dan nog slechts sporadisch (vooral voor vrachtwagens) dat de verlenging al tijdens het afwikkelen van de wachtrij beëindigd wordt.

Op kruispunttakken met een duidelijke helling omhoog – zoals vaak na een afrit – wordt de hiaattijdgrenswaarde standaard met één seconde verhoogd, omdat daar bij het optrekken grotere hiaten ontstaan.

#### 5.1.1.5 Bepaling van lusafstanden bij vrije afstroom

##### a) Bepaling afstand "afstandslus" (LXa)

Voor de afstand tussen de afstandslus LXa en de stopstreep, gaan we ervan uit dat in het laatste deel van een lange 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 nog net oranjegeel ziet worden, maar dat die dan de stopstreep al zo dicht is genaderd dat die niet meer zal overwegen om er nog te stoppen.

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 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 ( $5 \text{ m/s}^2$ ) 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 ( $19,4 \text{ m/s} = 70 \text{ km/h}$ ). Voor het eind van de dilemmazone moet rekening worden gehouden met de minimumontruimingssnelheid ( $15 \text{ m/s} = 54 \text{ km/h}$ ).

Met de volgende formule kan het einde van de dilemmazone worden berekend (IVER, 2002):

$$S = (T_r * V) + \frac{V^2}{2 * a}$$

Hierin is:

S : afstand tot stopstreep (m)

$T_r$  : reactietijd (s)

V : minimale snelheid (m/s)

a : remvertraging (m/s<sup>2</sup>)

Rekening houdend met:

- een minimumsnelheid van 54 km/h (V)
- een remvertraging van 5 m/s<sup>2</sup> (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/s<sup>2</sup> (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

Het laatste voertuig moet het einde van de dilemmazone hebben bereikt (met de minimale ontruimingssnelheid) wanneer er 3 seconden zijn 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 is een gevolg van de keuze van de hiaattijdgrenswaarde op de afstandslussen.

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 een afstandslus-afstand van 40, 60, 80 en 100 meter bij respectievelijk 30, 50, 70 en 90 km/h.

Noot: Deze gehanteerde afstandslus-afstanden zijn niet geschikt voor een rusttoestand rood zonder nadeel, omdat je licht dan pas groen zou worden als je al afgeremd hebt.

## b) Bepaling afstand "hiaatlus" (LXh)

Er bestaat niet één vaste ideale positie van de hiaatlus. 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 plus liggen om zo snel mogelijk niet meer op de stopstreep plus te moeten 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 plus 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 hiaatlus juist vrij ver van de stopstreep liggen. Want als bij vrij hoge snelheden een hiaatlus dicht bij de stopstreep een hiaat van (minstens) 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.

De middenpositie tussen afstands lus en stopstreep blijkt een goed evenwicht tussen de twee bovenstaande bedenkingen.

Dit betekent een **hiaatlusafstand van 20, 30, 40 en 50 meter bij respectievelijk 30, 50, 70 en 90 km/h**, althans bij vrije afstroom. De middenpositie heeft als voordeel dat, bij constante snelheid, de tijd van afstands lus tot hiaatlus gelijk is aan de tijd van hiaatlus tot stopstreep. In 3 s wordt die afstand afgelegd met een snelheid van respectievelijk 24, 36, 48 en 60 km/h, wat bij vrije afstroom redelijk lijkt als ondergrens om verlenging te garanderen in het middelste deel van de groenfase.

## c) Bepaling afstand "stopstreep plus" (LXs)

De stopstreep lus moet enerzijds voldoende dicht bij de stopstreep liggen om een motorvoertuig dat volledig tot aan (of net over) de stopstreep is gereden te detecteren. Anderzijds moet hij ook het voorste voertuig detecteren wanneer dat al enkele meters voor de stopstreep tot stilstand is gekomen. In normale omstandigheden, waarin het verkeerslicht goed zichtbaar is voor een automobilist die tot aan de stopstreep doorreed, wordt de **stopstreep plus het best op een afstand van 3 meter** voor de stopstreep gelegd. Wanneer het verkeerslicht echter enkel goed zichtbaar is voor automobilisten die op enige afstand voor de stopstreep stoppen, bijvoorbeeld als het verkeerslicht in het verlangde van de stopstreep staat, dan is een stopstreep plus-afstand van 4 m of zelfs 5 m beter.

### 5.1.1.6 Gebruik van de lussen om het groen te verlengen

#### a) Minimum-groenduur

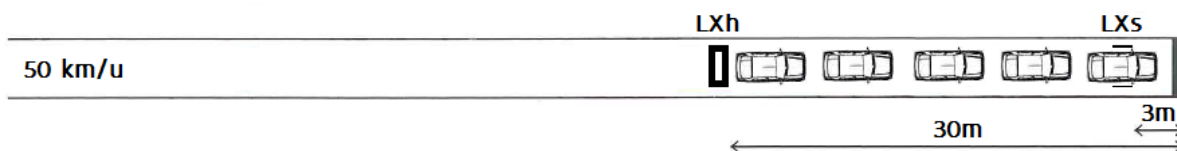
Van de 1e tot en met de 5e seconde van de groenfase is het licht (op voorwaarde van aanvraag) hoe dan ook groen. Kortere dan 4 à 5 s groen kan door weggebruikers als een defect worden gezien.

#### b) Verlengduur onafhankelijk van openbaar vervoer

Als er conflicterend openbaar vervoer nadert, dan kunnen motorvoertuigen hun groentijd standaard tot maximaal (9 of) 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 signaalgroep slechts vijf seconden groen krijgt terwijl er een lange wachtrij voor staat: dat zou de regeling ongeloofwaardig maken. Eventueel kunnen bepaalde (H)OV-bewegingen, bruggen, hulpdiensten of spoorwegovergangen wel al vanaf de zesde seconde een groenfase afbreken.

#### c) Verlengduur op de stopstreep plus

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 105 De verlengduur op de stopstreepluS moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de stopstreepluS en de hiaatluS te laten afrijden

De conservatieve 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-wachrijlengte van minstens 6 m/pae;
- het mag oranjegeel worden 1 seconde voordat het laatste voertuig met zijn voorzijde over de stopstreepluS rijdt, dus gebruikmaking van de eerste seconde oranjegeel;
- steeds een afronding naar boven.

Met de volgende formule kan de verlengduur op de stopstreepluS – gerekend vanaf begin groen – worden berekend (IVER, 2002):

$$VD_{sl} = \left( \frac{x_{hl}}{6} * 2,5 \right) + 1,5 - 1$$

vereenvoudigd:

$$VD_{sl} = (x_{hl} * 0,42) + 0,5^1$$

Hierin is:

$VD_{sl}$  : verlengduur stopstreepluS (s)

$x_{hl}$  : afstand hiaatluS tot stopstreepluS (m)

<sup>1</sup> af te ronden naar boven vanaf ,4

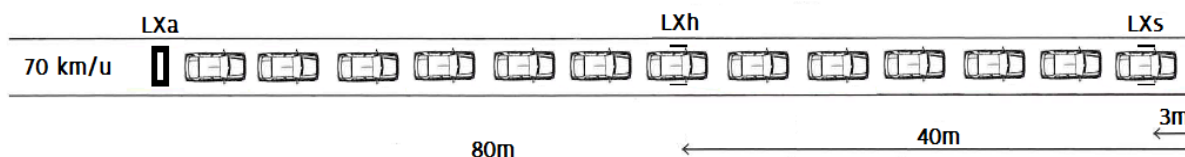
Rekening houdend met de standaardafstanden voor de hiaatluS, volgen hieruit de volgende verlengduren voor de stopstreepluS, gerekend vanaf begin groen:

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

#### d) 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 wachrij tussen stopstreepluS en afstandsluS af te wikkelen.



Figuur 106 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-wachrijlengte 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 stopstreepluus worden berekend (IVER, 2002):

$$VD_{hl} = VD_{sl} + \left( \frac{x_{al}}{6} * 2,5 \right) + 1,5 - 1$$

vereenvoudigd:

$$VD_{hl} = VD_{sl} + (x_{al} * 0,42) + 0,5$$

Hierin is:

$VD_{hl}$  : verlengduur hiaatlus (s)

$VD_{sl}$  : verlengduur stopstreepluus (s)

$x_{al}$  : afstand hiaatlus tot stopstreep (m)

Rekening houdend met de standaardafstanden voor de afstandsluus, volgen hieruit de volgende verlengduren voor de hiaatlus, gerekend vanaf begin groen:

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

#### e) Gebruik van de afstandslussen

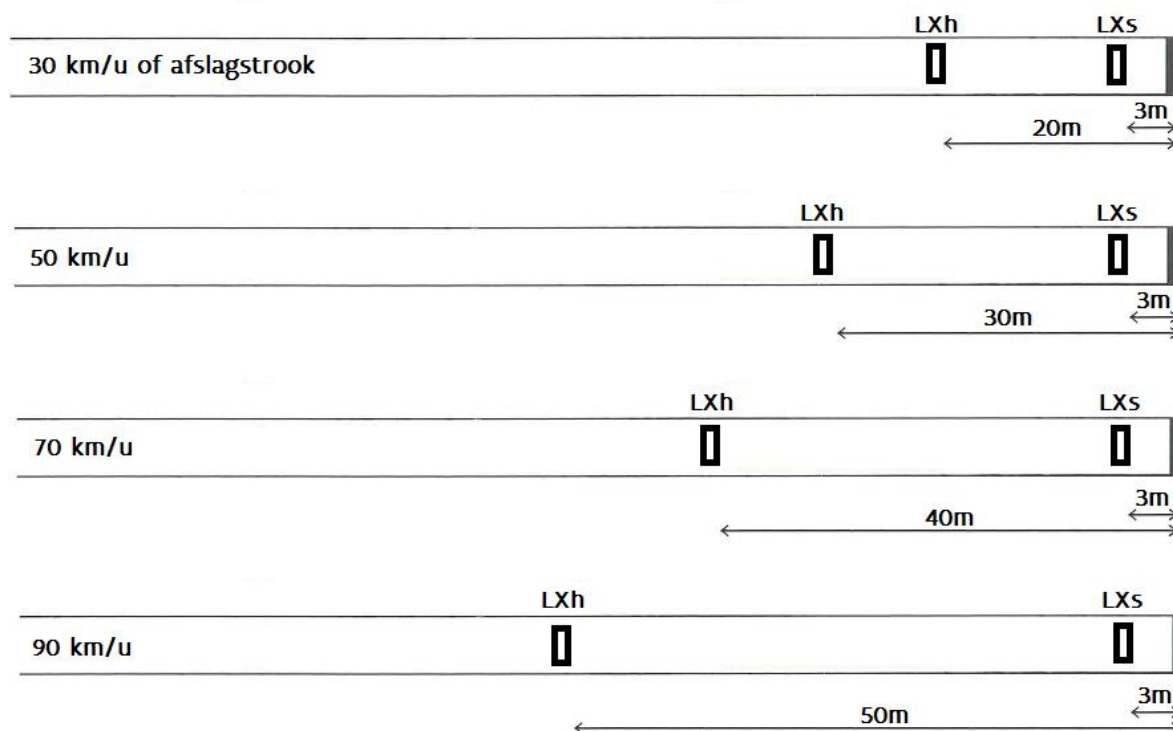
In vele gevallen is de periode waarin op de hiaatlus verlengd moet worden (om de wachrij tot aan de afstandsluus te verwerken) langer of gelijk aan de maximale groentijd die aan deze richting gegeven wordt. In deze gevallen is het nut van de afstandslussen verwaarloosbaar.

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 indicaties zijn dat deze wel nuttig zijn, bijvoorbeeld groentijden die de verlengduur op de hiaatlus (resp. 18, 26 35 en 42 s) sterk overschrijden.

Eventueel kan het nut van deze lussen aangetoond worden met een microsimulatie.

### 5.1.1.7 Standaarddetectieconfiguratie bij vrije afstroom zonder afstandslussen



Figuur 107 Luslocaties ten opzichte van de stopstreep (rechts) bij vrije afstroom zonder afstandslussen

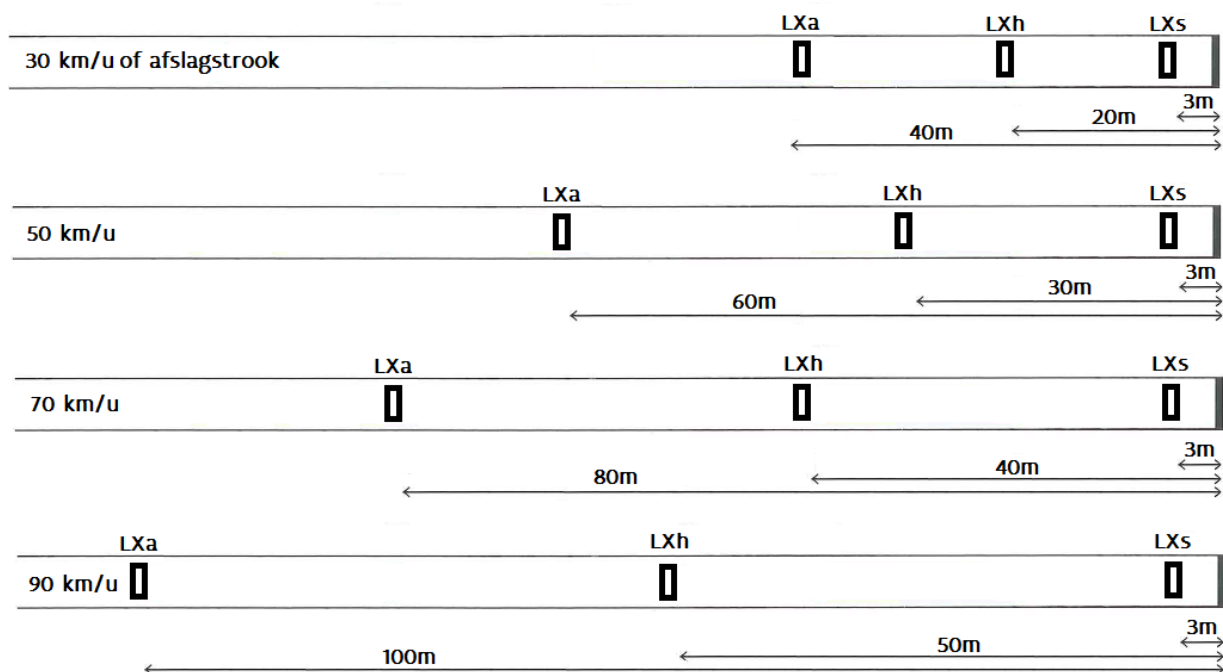
Maximum-snelheid	Afstand LXs	Verlengduur LXs [ $\Delta 2,5$ s]	Afstand LXh	Verlengduur LXh [ $\Delta 3,0$ s]
30 km/h of afslagstrook	3 m	tot 9 s na begin groen	20 m	tot einde groen
50 km/h	3 m	tot 13 s na begin groen	30 m	tot einde groen
70 km/h	3 m	tot 17 s na begin groen	40 m	tot einde groen
90 km/h	3 m	tot 22 s na begin groen	50 m	tot einde groen

Tabel 17 Lusaafstand, [hiaattijdgrenswaarde] en verlengduur bij vrije afstroom zonder afstandslussen

In de periode waarin op de stopstreep plus verlengd moet worden (dus tot einde 'Verlengduur LXs'), wordt ook verlengd op de hiaatlus om een betrouwbaardere groenverlenging te bekomen.

In de periode waarin niet meer op de stopstreep plus verlengd moet worden (dus na het verstrijken van 'Verlengduur LXs'), wordt enkel verlengd op de hiaatlus.

### 5.1.1.8 Standaarddetectieconfiguratie bij vrije afstroom met afstandslussen



Figuur 108 Luslocaties ten opzichte van de stopstreep (rechts) bij vrije afstroom met afstandslussen

Maximum-snelheid	Afstand LXs	Verlengduur LXs [ $\Delta 2,5$ s]	Afstand LXh	Verlengduur LXh [ $\Delta 3,0$ s]	Afstand LXa	Verlengduur LXa [ $\Delta 3,0$ s]
30 km/h of afslagstrook	3 m	tot 9 s na begin groen	20 m	tot 18 s na begin groen	40 m	tot einde groen
50 km/h	3 m	tot 13 s na begin groen	30 m	tot 26 s na begin groen	60 m	tot einde groen
70 km/h	3 m	tot 17 s na begin groen	40 m	tot 35 s na begin groen	80 m	tot einde groen
90 km/h	3 m	tot 22 s na begin groen	50 m	tot 42 s na begin groen	100 m	tot einde groen

Tabel 18 Lusaafstand, [hiaattijdgrenswaarde] en verlengduur bij vrije afstroom met afstandslussen

In de periode waarin op de stopstreeplijn verlengd moet worden (dus tot einde 'Verlengduur LXs'), wordt ook verlengd op de hiaatlus, maar niet op de afstandslus.

In de periode waarin niet meer op de stopstreeplijn maar wel op de hiaatlus verlengd moet worden (dus tussen de verlengduur van LXs en LXh), wordt verlengd op de hiaatlus en de afstandslus.

In de periode waarin niet meer op de hiaatlus verlengd moet worden (dus na het verstrijken van 'Verlengduur LXh'), wordt enkel nog verlengd op de afstandslus.

## 5.1.2 Werkingsdiagrammen

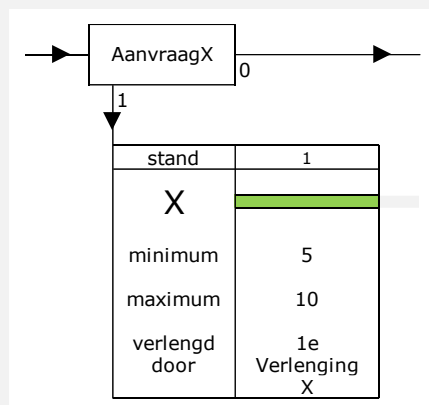
### 5.1.2.1 Aanvraag van groenfase door motorvoertuigen

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 geregistreeerde 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(variant) 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 signaalgroep 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 daar 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. 'AanvraagX' mag ook worden weergegeven als '?X'.)

$AanvraagLXa = LXa(\text{Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood } X)$

$AanvraagLXh = LXh(\text{Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood } X)$

$AanvraagLXs = LXs(\text{Aanvraag met memorisatie vanaf begin rood } X)$

(Dit betekent dat een aanvraagvariabele actief ('1') moet worden vanaf bezetting van de lus en dat ook een korte bezetting na begin rood onthouden moet worden zodat de variabele "1" blijft, maar dat de memorisatie vergeten moet worden op het moment dat X rood wordt. Zo zorgen voertuigen die tijdens oranjegeel 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.

$t_{\text{VerlengingX}} = L_{\text{Xs}}[\Delta 2,5\text{s}] \text{ OF } L_{\text{Xh}}[\Delta 3,0\text{s}]$

(Deze variabele voor het eerste deel van de verlenging moet dus actief zijn indien de stopstreep in de afgelopen 2,5 seconden nog bezet is geweest en/of de hiaatlus in de afgelopen 3,0 seconden nog bezet is geweest.  $L_{\text{Xa}}$  en  $D_{\text{fX}}$  hebben nog geen invloed op deze eerste verlenging. 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, net als voertuigen die sinds begin rood over een lus gereden zijn en nu ergens tussen de lussen aan het rijden zijn. Dus bij de beslissing of een signaalgroep 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 signaalgroep rood werd. Bij aanvragen wordt de memorisatie gereset bij begin rood van de bijbehorende signaalgroep. 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 (hiaatlussen en afstandslussen).
- Zowel detectoren die enkel verkeer op die richting detecteren ('zekere aanvraag') als detectoren die een kleine kans hebben om ook verkeer op andere richtingen te detecteren ('waarschijnlijke 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. Het onderscheid tussen een waarschijnlijke en een onwaarschijnlijke aanvraag wordt gemaakt op basis van de intensiteiten. Wanneer bijvoorbeeld de intensiteiten van B1 veel lager is dan de intensiteit van B2, dan is een detectie op hun gezamenlijke afstandslus LBa waarschijnlijk van een rechtdoorgaand voertuig, dus aanleiding om wel AanvraagB2 en niet AanvraagB1 te activeren.

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 richtingen is, maar zijn vooral bedoeld voor groenverlenging.

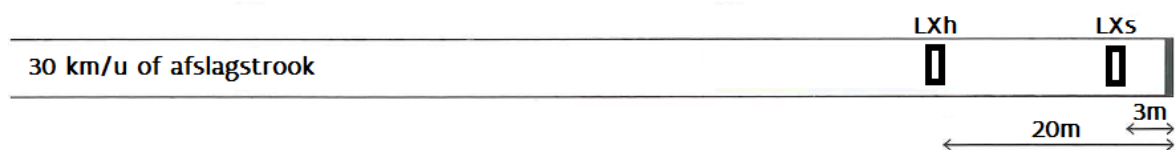
Ook niet alle inductieve lussen zijn geschikt om voor zekere aanvragen te dienen. Het gaat dan om lussen die ook door verkeer in andere richtingen worden geactiveerd.

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 verlenging signaalgroep X bij 30 km/h of afslagstrook

In de komende voorbeelden wordt de complexiteit stapsgewijs opgebouwd.

Voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie zonder afstandslus gebruikt:



Voorbeeld werkdigram

stand	1	2	3	4
<b>X</b>				
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.

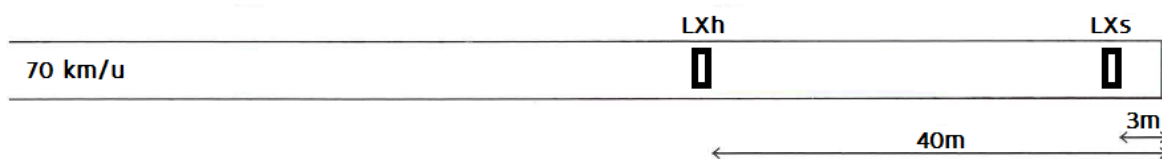
1eVerlengingX = LXs[ Δ 2,5s] OF LXh[ Δ 3,0s]

2eVerlengingX = LXh[ Δ 3,0s]



### 5.1.2.4 Werkingsdiagram van verlenging signaalgroep X bij 70 km/h

Ook voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie zonder afstandslussen gebruikt:



Voorbeeld werkingsdiagram

stand	1	2	3	4	5	6	7
<b>X</b>							
minimum	5	0	0	0	<b>0</b>	4	2
maximum	GroenX ≥ 10	GroenX ≥ 17	GroenX ≥ MaxX	-	<b>30</b>	-	-
verlengd door	1e Verlenging X	2e Verlenging X	3e Verlenging X	wachtstand tot AanvraagY OF NIET(3eVerlengingX)	<b>DfX</b>	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

MaxX = de maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

1eVerlengingX = LXs[ Δ 2,5s] OF LXh[ Δ 3,0s]

2eVerlengingX = (LXs[ Δ 2,5s] OF LXh[ Δ 3,0s]) EN NIET(DfY)

3eVerlengingX = LXh[ Δ 3,0s] EN NIET(DfY)

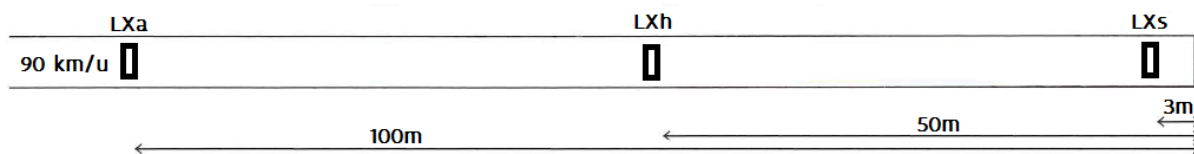
**DfX = fictieve detector die door inmelding van openbaar vervoer op selectieve lus SiX actief wordt en die weer inactief wordt door uitmelding op SuX of door het verstrijken van een time-out van 90 seconden. (Deze verlenging mag niet vóór de wachtstand of rusttoestand plaatsvinden, omdat er ook verlengd moet worden als het OV-voertuig zich pas tijdens die wachtstand of rusttoestand inmeldt.)**

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 voor rood 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 bijvoorbeeld bij de derde verlenging een haattijdgrenswaarde van 4 s i.p.v. 3 s in te stellen.

### 5.1.2.5 Werkingsdiagram van verlenging signaalgroep X bij 90 km/h

Voor dit voorbeeld wordt de standaarddetectieconfiguratie gebruikt met afstandslussen:



Voorbeeld werkdigram

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	<b>3e Verlenging X</b>	<b>4e Verlenging X</b>	wachtstand tot AanvraagY OF NIET( <b>4e</b> VerlengingX)	DfX	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

MaxX = de maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

1eVerlengingX = LXs[ Δ 2,5s] OF LXh[ Δ 3,0s]

2eVerlengingX = (LXs[ Δ 2,5s] OF LXh[ Δ 3,0s]) EN NIET(DfY)

3eVerlengingX = (LXh[ Δ 3,0s] OF LXa[ Δ 3,0s]) EN NIET(DfY)

**4eVerlengingX = LXa[ Δ 3,0s] EN NIET(DfY)**

AanvraagY = een aanvraag voor één of meer conflicterende signaalgroepen.

### 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 erop 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 waarin geen lus geslepen kan worden, of verkeer voor meerdere signaalgroepen.

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 5.1.1.6b):

$$\text{Verlengduur stopstreepluS: } VD_{sl} = (x_{hl} * 0,42) + 0,5$$

$$\text{Verlengduur hiaatluS: } VD_{hl} = VD_{sl} + (x_{al} * 0,42) + 0,5$$

(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 signaalgroep zelfs in de piekuren zodanig kort dat de standaard-verlengduur op de verste lus niet of nauwelijks wordt gehaald. Neem bijvoorbeeld een rechtdoorstrook waar 50km/h gereden mag worden, dus waar standaard tot 13 s na begin groen op de stopstreepluS verlengd zou worden. Maar bijvoorbeeld bij een maximum-groentijd van 13 s in de ochtendspits en 16 s in de avondspits wordt maar 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 moet 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 signaalgroepen: (on)zekerheid

Vaak ligt een afstandsluS voor het punt waar de bestuurders kunnen voorsorteren. Dan kan verkeer voor de linksaf-signaalgroep X1 bijvoorbeeld gebruik maken van de afstandsluS LXa op de rijstrook waar ook rechtdoorgaand verkeer rijdt. Het is dan onzeker voor welke signaalgroep een detectie op zo'n luS een aanvraag vormt. Dat is echter geen reden om die detectie te negeren: als er zeker geen verkeer is op een conflicterende richting, dan kan die onzekere aanvraag zowel X als X1 groen laten worden. En als er misschien wel conflicterend verkeer nadert dat nog niet gedetecteerd is, dan wordt op basis van de intensiteit ingeschat welke keuze de gewogen verliestijden minimaliseert.

In principe kunnen alle aanwezige detectoren die verkeer op een bepaalde richting detecteren in sommige omstandigheden gebruikt worden 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.

Maar wanneer conflicterende richtingen op dat moment (waarschijnlijk) 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 stopstreeplassen 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 op het grondplan 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.

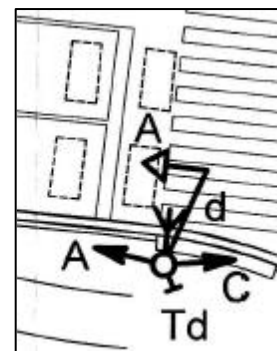
Soms komt het voor dat er aan weerszijden zulke rijstroken aanwezig zijn. Een apart geregelde linksafstrook bijvoorbeeld kan ingesloten liggen tussen een rechtdoorstrook en de strook voor tegemoetkomend verkeer. In dergelijke gevallen wordt de afstand van 0,75 m of 1 m aan beide zijden ongeveer gerespecteerd en wordt de lusbreedte gereduceerd, maar met een minimum lusbreedte van 1 m.

Een mogelijk nadeel van de beperkte luslengte van de standaard stopstreep lus (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 Stopstreeplassen en roodlichtcameralussen

Inductieve lussen moeten een absolute minimumafstand van 1,00 m t.o.v. roodlichtcameralussen bewaren om interferentie te voorkomen. (Selectieve lussen moeten zelfs minstens 5,00 m t.o.v. RLC-lussen bewaren.) Wanneer toch een nieuwe stopstreep lus wordt aangebracht, dan wordt bij voorkeur een minimumafstand 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 conflicterende 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 kritische 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.



### 5.1.3.6 Richtingsgevoelige detectoren

Een richtingsgevoelige detector is soms nodig op smalle kruispunttakken om te voorkomen dat een voertuig dat het kruispunt verlaat onterecht een aanvraag doet op een lus. In de praktijk liggen er dan meestal eigenlijk twee lussen, waarvan de volgorde van bezetting wordt geregistreerd. Deze dienen op het V-plan ook als twee lussen getekend te worden met één lange pijl erdoor, gericht naar het kruisingsvlak, met de vermelding 'richtingsgevoelig'. De lussen worden genummerd met het verkeer mee. Dat geheel wordt in de regeling als één detector beschouwd en krijgt er één naam.



Figuur 109 Voorbeeld van een richtingsgevoelige detector

Onder de detectietabel op het V-plan wordt de werking ervan standaard verduidelijkt met de volgende tekst m.b.t. motorvoertuigen:

“Voor  $X = Bs$  (bijvoorbeeld) geldt: Richtingsgevoelige stopstreep-detector LX bestaat uit twee lussen 1 en 2. LX wordt 'nu' actief indien eerst lus 1 actief werd terwijl lus 2 nog inactief was en vervolgens 'nu' ook lus 2 actief wordt terwijl lus 1 nog actief is.

Gedurende een vermoedelijk defect is de detector niet richtingsgevoelig.

Indien lus 1 wel en lus 2 niet defect lijkt te zijn, dan geldt  $LX = \text{lus 2}$ .

Indien lus 2 wel en lus 1 niet defect lijkt te zijn, dan geldt  $LX = \text{lus 1}$ .

Indien lus 1 en lus 2 beide defect lijken te zijn, dan lijkt LX defect te zijn.”

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.

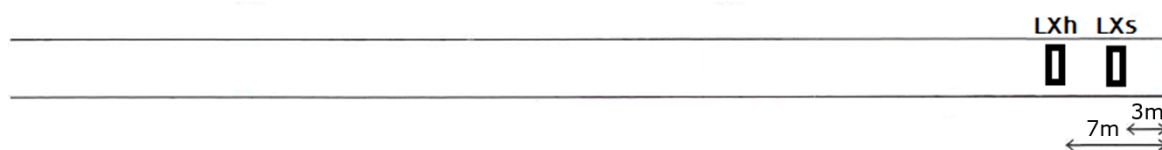
### 5.1.3.7 Gehinderde afstroom

Tot hiertoe werd verondersteld dat het verkeer op de betreffende rijstrook vrij kan afstromen wanneer het groen is. Maar er bestaan ook veel 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.

Daarom dient op deze stroken met gehinderde afstroom de hiaatluss veel dichter bij de stopstreep getekend te worden dan bij vrije afstroom, zodat steeds minstens ofwel de stopstreepluss, ofwel de hiaatluss bezet is als er gewacht wordt. Op deze manier wordt het groen voldoende verlengd. De afstand tussen hiaatluss en stopstreepluss wordt bepaald door de maatgevende voertuiglengte. Personenwagens zijn gemiddeld zo'n 4,5 meter lang; slechts ongeveer 4 procent van de nieuwe wagens is korter dan 3,7 meter. Het aandeel motorvoertuigen korter dan 3 meter lang is verwaarloosbaar. Daarom wordt de hiaatluss bij gehinderde afstroom 3 m (of 4 m) voor de stopstreepluss geslepen, dus standaard  $3+1+3 = 7$  m (of 8 m) voor de stopstreep, onafhankelijk van de maximumsnelheid. Zolang de wachtende auto's niet meer dan 5 m (of 6 m) afstand houden tot hun voorligger, worden ze dan zeker correct gedetecteerd.



Figuur 110 Luslocaties ten opzichte van de stopstreep (rechts) bij gehinderde afstroom

In de verlengvoorwaarden dient voorzien te worden dat op beide lussen tegelijk verlengd wordt.

#### Voorbeeld werkingdiagram bij gehinderde afstroom

stand	1	2	3	4
X	[Green bar]			
minimum	5	0	3	2
maximum	GroenX $\geq$ 9	GroenX $\geq$ MaxX	-	-
verlengd door	1e Verlenging X	2e Verlenging X	-	-

GroenX = de huidige groenduur van signaalgroep X.

MaxX = de maximumgroentijd die volgt uit de telling van bv. de ochtend- of avondspits.

1eVerlengingX =  $LXs[\Delta 2,5s]$  OF  $LXh[\Delta 3,0s]$

2eVerlengingX =  $(LXs[\Delta 2,5s]$  OF  $LXh[\Delta 3,0s])$  EN NIET(Dfx)

#### 5.1.3.8 Detectie bij ontruimingspijlen

Bij het gebruik van ontruimingspijlen om enkel in het tweede deel van een groenfase het links afslaan conflictvrij te laten geschieden, wordt gemeten in hoeverre er linksaffers staan te wachten om te bepalen of de ontruimingspijl al dan niet moet 'opkomen'.

De standaarddetectieconfiguratie schrijft enkel korte lussen van 1m voor, die individueel niet geschikt zijn om te detecteren of ergens op een strook wachtende voertuigen staan tijdens groen: de positie van die voertuigen is dan namelijk onbekend en onafhankelijk van de stopstreep.

Indien een ontruimingspijl enkel als doorstromingsmaatregel zou worden gezien, dan zou daar de detectieconfiguratie voor gehinderde afstroom uit de vorige paragraaf volstaan. Of de ontruimingspijl moet ontbranden zou dan worden bepaald op basis van de vraag of de wachtrij linksaffers op het kruispunt zodanig lang is dat die terugslaat tot meer dan 3 meter voor de stopstreep.

Maar tegenwoordig wordt een ontruimingspijl ook gezien als een mitigerende verkeersveiligheidsmaatregel die overwogen moet worden waar exclusief conflictvrij links afslaan niet mogelijk is volgens kwaliteitseisen. De vraag is dan eerder of er minstens één wachtende auto op het kruispunt staat. Als dit het geval is op het moment dat er bijvoorbeeld op C een groot hiaat is gedetecteerd terwijl A en C groen zijn, dan moet standaard worden beslist om C niet mee te laten verlengen met A, maar om C oranjegeel en rood te laten worden. Dan moet (na de ontruimingstijd) ontruimingspijl A0 groen worden, zodat men vanaf dat moment wel conflictvrij kan afslaan.

Op het kruisingsvlak zouden nog twee korte lussen aangebracht kunnen worden met 3 m (of 4 m) tussenruimte. Het is goedkoper om er één **lus LA0 van 5,0 m lang en 1,0 m breed** aan te brengen. (Grote lussen kunnen specifieke motorvoertuigen niet detecteren, maar in dit geval is 100% detectie niet essentieel). Die lange lus dient zich dan te bevinden waar het voorste links afslaande voertuig tijdens groen waarschijnlijk zal staan te wachten op het kruisingsvlak. Een aandachtspunt is wel dat er minstens 1,00 m afstand moet worden gehouden ten opzichte van (toekomstige) RLC-lussen. De lange lus LA0 kan worden gecombineerd met enkel een stopstreepluss LAs die dient voor aanvraag van de groenfase van A en om mee te tellen.

Er wordt gebruik gemaakt van detectie met uitsteltijd. Dit wil zeggen dat de regeling de detector pas als actief beschouwt na een continue detectie van x aantal seconden. Want een *ongehinderd rijdende* links afslaande auto moet de ontruimingspijl niet laten branden; een (vrijwel) stilstaande wel. We veronderstellen dat een ongehinderd links afslaande auto een snelheid van minstens 2,5 m/s = 9 km/h heeft en dat het detectiegebied van de lus ongeveer 5,0 m lang is. De aanvraagdetecteur mag dan enkel als actief beschouwd worden wanneer die de afgelopen (5,0/2,5=) **2,0 seconden uitsteltijd** onafgebroken bezet is geweest.

Bovendien moet deze aanvraagdetecteur **zonder memorisatie** werken. Immers, indien de lus in het verleden wel een paar seconden actief is geweest maar nu niet meer, dan staan er geen linksaffers meer te wachten en is het niet nodig om nu het groen van de tegenliggers te beëindigen.

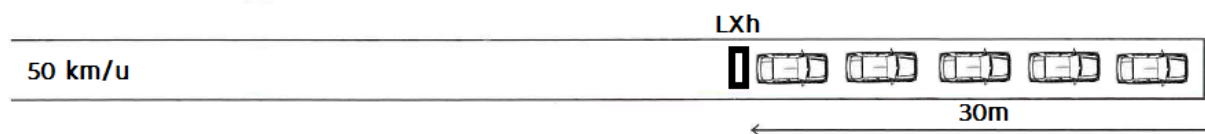
Een praktisch nadeel aan het (her)slijpen van één of meer lussen op het kruisingsvlak, is dat er echt in het verkeer gewerkt moet worden. Dit veroorzaakt een langere uitvoeringsduur, misschien zelfs een omleiding en bij defect zal het ook lang duren vooraleer de onderhoudsaannemer hiervoor een vergunning krijgt van de lokale overheid. Dit praktisch nadeel dient door de wegbeheerder afgewogen te worden tegen het veiligheidsvoordeel van een conflictvrije fase voor een klein aantal linksaffers.

### 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 bijvoorbeeld 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 111 De vastgroentijd moet voldoende lang zijn om de opgestelde voertuigen tussen de stopstreep en het detectieveld (in dit geval een lus) te laten afrijden

### 5.1.3.10 Regelaars met ander takt dan 0,1-seconde-takt

Nieuwe verkeersregelaars van AWW kunnen elke 0,1 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 3,099 seconden hebben geduurd voordat er wordt afgebroken. Gemiddeld is dit dus 3,05 s.

Oudere regelaars werken nog met een takt van 1,0-seconde-takt. Daar moet een interval van "3,0 s" dus in werkelijkheid tussen de 3,0 en 3,99 s hebben geduurd. Er werd afgesproken om geen afwijkende grenswaarde van de hiaattijd in te stellen afhankelijk van het type regelaar.

## 5.2 Beïnvloeding door openbaar vervoer ('BOV')

In deze paragraaf 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 laagfrequente 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 verkeersdrukte (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 wegennet, 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.

In het kader van Basisbereikbaarheid werd met De Lijn afgesproken dat AWV in principe enkel selectieve lussen aanbrengt waar dat nodig is voor het kernnet of voor regelmatige bussen op het aanvullend net. Er worden geen selectieve lussen aangebracht waar enkel functionele lijnen rijden (bijvoorbeeld enkel in de spits of enkel voor schoolleerlingen) of waar enkel Vervoer-Op-Maat-busjes rijden.

## 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

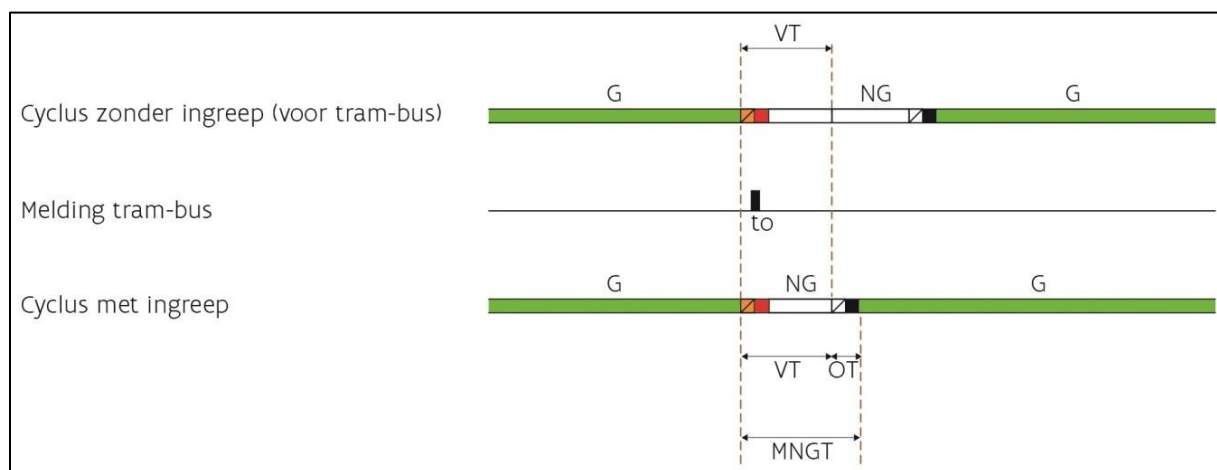
DKT	Detector–kruispunt tijd: de gemiddelde tijd die een tram/bus nodig heeft om de afstand detector–kruispunt af te leggen. Deze tijd kan berekend worden aan de hand van de vermoedelijke gemiddelde snelheid.
MVTG	Maximale verlengingstijd van het groen van de tram – bus fase.  Bij de vaststelling van 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”)

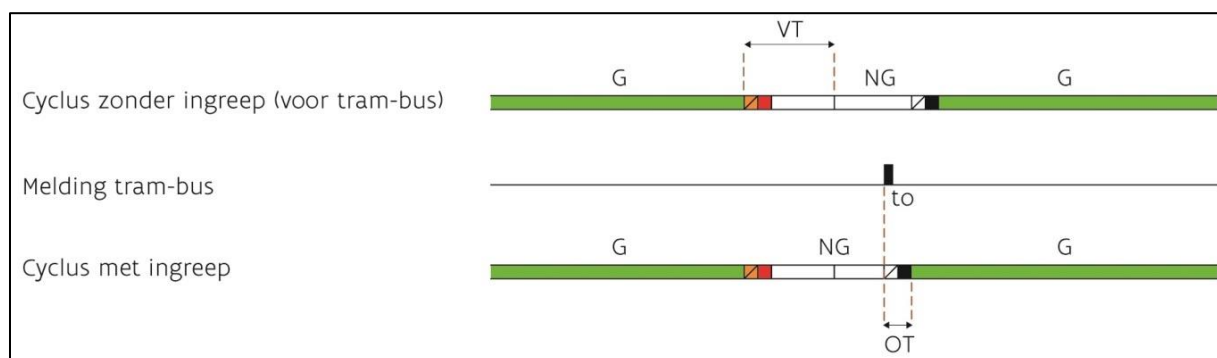
Wanneer het sein van de te volgen richting door het openbaar vervoer niet groen is op het moment dat de bus/tram gedetecteerd wordt, dient zo snel mogelijk overgegaan te worden naar de groenfase voor de bus/tram. Dit kan in een aantal mogelijke gevallen.

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 112.



Figuur 112 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 113.



Figuur 113 Verkorting van een groenfase, tweede geval

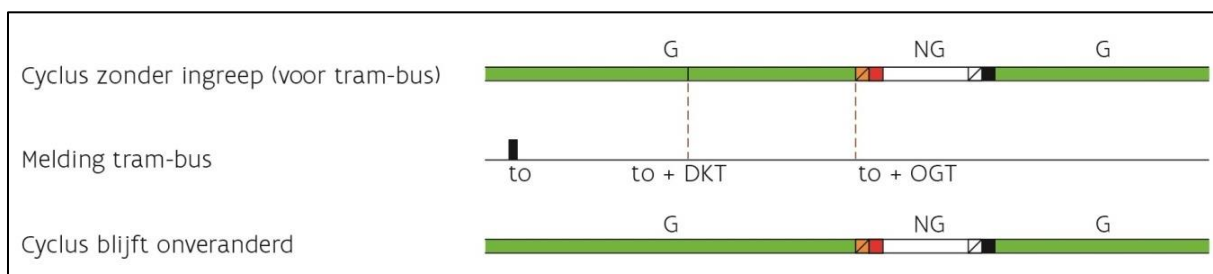
Een mogelijk derde geval doet zich voor wanneer de tram/bus wordt gedetecteerd tijdens de oranjegeeltijd en roodtijd van een conflicterende fase. Er moet in dat geval niet ingegrepen worden, het kan zelfs niet, omdat de cyclus per definitie zo snel mogelijk overgaat naar de hoofdrichting.

### 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

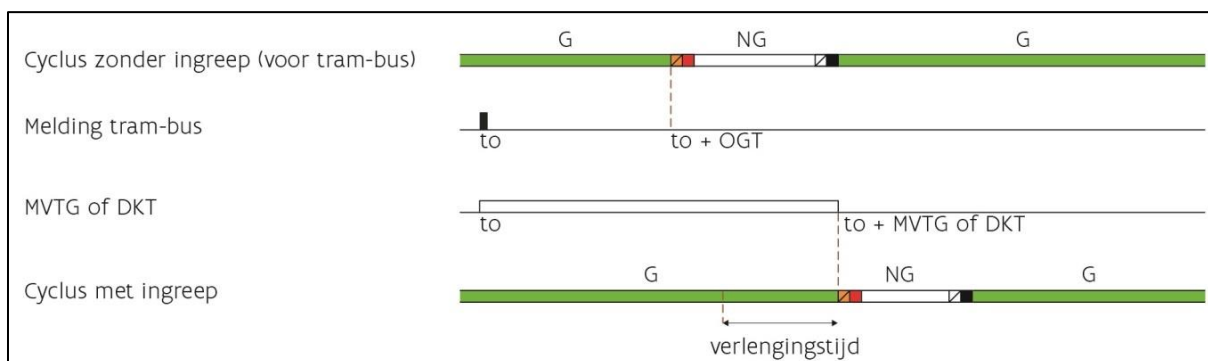
Het licht is groen op het ogenblik van detectie van de tram/bus en er blijft genoeg groen over om de tram door te laten:  $OGT \geq DKT$ . Dan wordt er niet ingegrepen in de cyclus; zoals weergegeven in Figuur 114.



Figuur 114 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:  $G1T - to < DKT$  en  $to > X$ . In dit geval wordt de groenfase verlengd met DKT tot eventueel MVTG; zoals weergegeven in Figuur 115.



Figuur 115 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 maximumsnelheden:

Omgeving	Gemiddelde snelheid (km/h) [bron: De Lijn West-Vlaanderen 2016]	minimum-snelheid (km/h)	maximum-snelheid (km/h)
Buitengebied in eigen bedding	$\geq 60$	50	90
Woongebied in eigen bedding	40	30	50
Stedelijk gebied in gemengd verkeer	25 à 30	15	50

Tabel 19 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)

$k \leq 1$ <sup>1</sup>

Reserve (s) : reserve om wachtende voertuigen te evacueren

<sup>1</sup> Indien gekozen wordt voor 75% van de maximum toegelaten snelheid, dient de waarde voor k 0,75 te zijn.

Indien de (verwachte) wachtrijlengte in het drukste kwartier groter is dan de inmeldafstand van OV in gemengd verkeer, dan dient overwogen te worden om die inmeldafstand te verhogen, bijvoorbeeld door direct na een stroomopwaarts gelegen kruispunt in te melden. Op een filegevoelige kruispunttak met OV in gemengd verkeer, dienen de maximale extra verlenging voor OV en de time-out hoger ingesteld te worden. Bijvoorbeeld bij 200m filelengte kan een bus niet ongehinderd tot de stopstreep rijden. Dan is de inmeldafstand niet maatgevend en moet de maximale OV-verlenging duren tot (filelengte na inmeldlus/7)\*3600/afrijcapaciteit = (200/7)\*3600/1650 = 63 s vanaf begin groen. Ook de time-out dient voldoende hoog ingesteld te worden om voortijdig afbreken te vermijden.

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 reservetijd. 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 diverse detectortypen in gebruik om bussen en trams te detecteren, zodat die hun groen kunnen aanvragen en verlengen:

- Inductieve lus
- Selectieve lus ('Buslus' / 'Tramlus'), meest gebruikt
- Virtuele detector ('Virtuele lus') met korte-afstandsradio ('KAR')
- Drukknop
- Innovatieve detectietechnieken zoals camera's die voertuigtypen onderscheiden of C-ITS, zie paragraaf 5.1.1.1

### 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 bericht naar deze lussen. Dat bericht 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.

Beïnvloeding door openbaar vervoer				
Van inmelding op:	door lijnnummer:	tot uitmelding op:	of tot time-out na:	blijft actief:
SiB	5942	SuB1	90 s	DfB1
SiB	5941; 5944	SuB2	90 s	DfB2
Per stel van in- en uitmeldlussen dienen minimaal 3 fictieve detecties mogelijk te zijn om de voertuigen te tellen.				

Tabel 20 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)

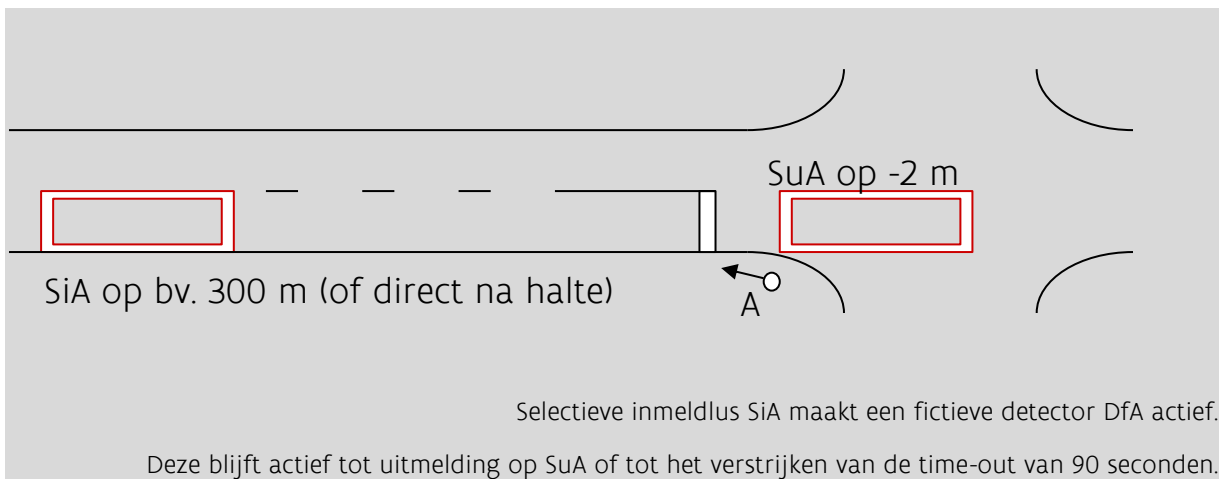
In deze formule wordt verondersteld dat de tram/bus de geldende maximale toegelaten snelheden respecteert, ook als hij in eigen bedding rijdt.

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, zebraapad of kruispunt waar het voertuig vertraging kan oplopen: altijd er voorbij.

AWV plaatst geen selectieve inmeldlussen voor openbaar vervoer indien er een halte binnen de 100m voor het kruispunt is, tenzij er een substantiële verkeerskundige meerwaarde is.

Bij een singuliere lichtengeregelde voetgangersoversteekplaats (VOP) wordt in principe geen beïnvloeding door openbaar vervoer (BOV) toegepast, behalve als er trams rijden of er hoogwaardig openbaar vervoer (HOV) rijdt.

De lengte van in- en uitmeldlussen in meters bedraagt 1/10 van de maximumsnelheid 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 116 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 meestal 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. De interferentie door selectieve lussen is namelijk groter dan de interferentie door gewone inductieve lussen. Bovendien begint de buitenste lus in werkelijkheid 30 cm eerder dan de dubbele lijn die op het V-plan wordt getekend. Daarom wordt op het V-plan een minimumafstand 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 117.

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[ Δ 2,5s] OF LAh[ Δ 3,0s]

2eVerlengingA = (LAs[ Δ 2,5s] OF LAh[ Δ 3,0s]) EN NIET(DfB)

3eVerlengingA = LAh[ Δ 3,0s] EN NIET(DfB)

1eVerlengingB = LBs[ Δ 2,5s] OF LBh[ Δ 3,0s]

2eVerlengingB = (LBs[ Δ 2,5s] OF LBh[ Δ 3,0s]) EN NIET(DfA)

3eVerlengingB = LBh[ Δ 3,0s] EN NIET(DfA)

Figuur 117 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 wordt bij voorkeur ongeveer gelijkgesteld 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. Het 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 gevallen extreem complex maken.

Enkele optimalisaties worden enkel toegepast met behulp van virtuele detectoren. Deze optimalisaties zijn aangeduid met de volgende toevoeging in de titel: “(enkel met virtuele lussen)”.

### 5.2.6.1 Fasen omwisselen of tussenvoegen

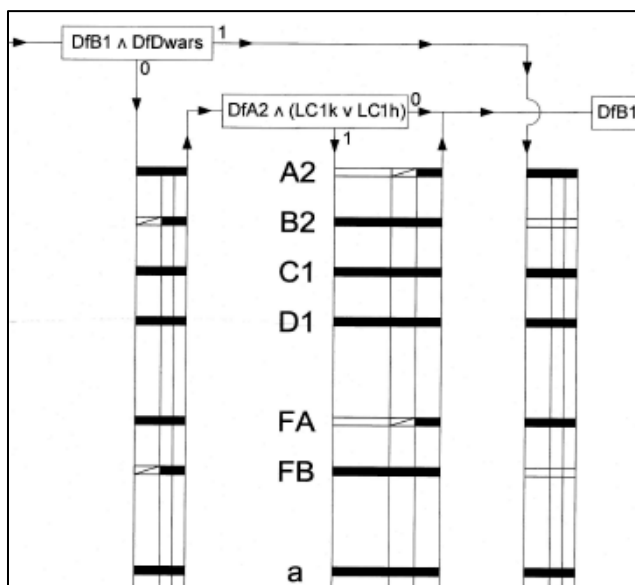
Bij verkeerslichtenregelingen met meer dan twee fasen, die in Vlaanderen in opmars zijn, is het meestal nodig om bij inmelding fasen om te wisselen of tussen te voegen. Dit gebeurt nog lang niet altijd. Bij het tussenvoegen van een OV-fase kan ervoor gekozen worden om bijvoorbeeld de parallelle voetgangers in dit geval 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 faseomwisseling: zie paragraaf 4.2.2.1.

**Praktijkvoorbeeld:**



*Figuur 118 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.

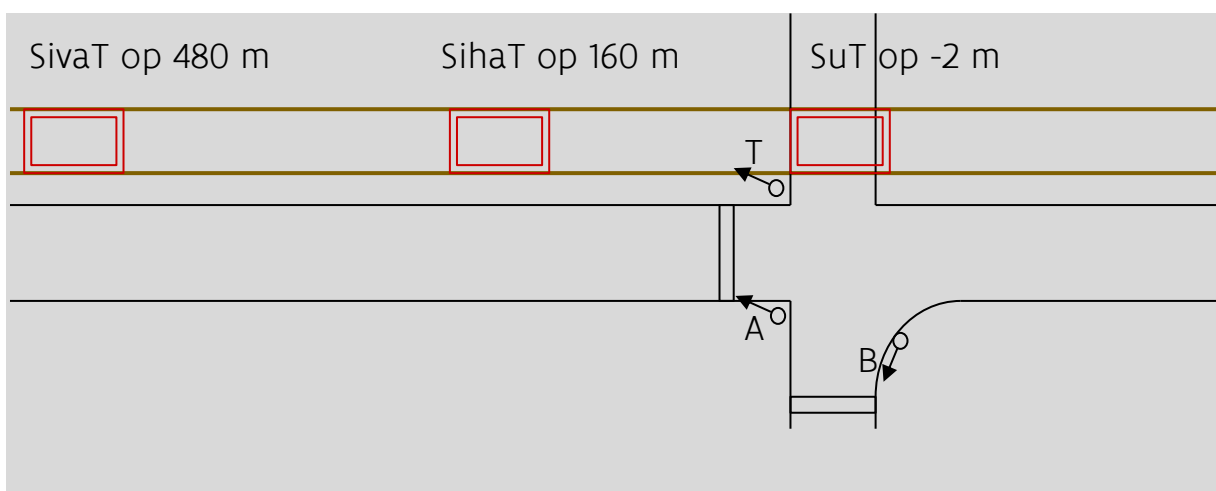
**Richtlijn:** Toepassen bij nieuwe lichtenregelingen wanneer dit zinvol is (bijvoorbeeld enkel bij meer dan twee fasen) en wanneer bovendien de structuur van de lichtenregeling deze optimalisatie toelaat (bijvoorbeeld meestal niet bij coördinaties met een vaste cyclustijd).

### 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.

Ervan uitgaande dat trams T naderen met ongeveer 72 km/h en voor rood zouden remmen met een remvertraging van  $2 \text{ m/s}^2$ , dan zouden ze op  $20^2 / (2 * 2) = 100 \text{ m}$  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 119 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 maximumsnelheden hoog zijn en/of de conflicterende voetgangersoversteekplaatsen lang zijn.

## 5.3 Beïnvloeding door hulpdienstvoertuigen

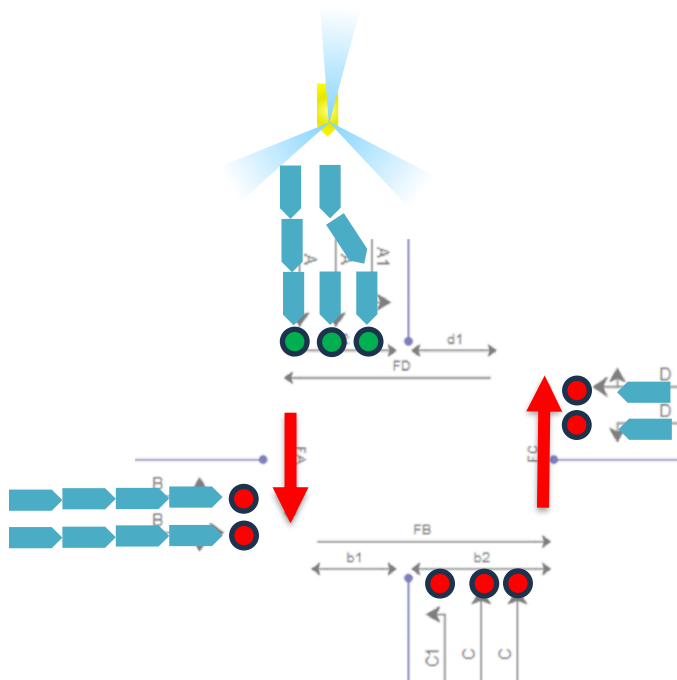
Voor hulpdiensten met prioriteit worden in principe geen selectieve lussen aangebracht, omdat die op élk lichtengeregeld kruispunt op élk rijstrook (zelfs in tegenrichting) van élk kruispunttak kunnen rijden. Het zou erg duur zijn om overal selectieve lussen aan te brengen. Bovendien zou dan een grote inmeldafstand wenselijk zijn door de hoge snelheid van hulpdiensten met prioriteit.

In het verleden liet AWV uitzonderlijk wel verkeerslichten bij een uitrit van een kazerne beïnvloeden door de dispatching. Met de introductie van de iVRI's is er een mogelijkheid bijgekomen voor draadloze beïnvloeding van de verkeerslichtenregeling door zowel openbaar vervoer als hulpdiensten met prioriteit. Een on-board-unit in het voertuig kan onder meer de gps-locatie en prioriteitsstatus ervan verzenden via een zogenaamd SREM-bericht. Zo weet de verkeerslichtenregeling waar het voertuig nadert. Bij iVRI's is de verkeerslichtenregeling een ITS-applicatie. Bij een iVRI-light kan de verkeerslichtenregeling ook een geprogrammeerde V-planregeling zijn, die wordt beheerd en uitgevoerd binnen een ITS-applicatie. In die V-planregeling moeten dan enkele elementen worden toegevoegd om beïnvloeding door hulpdiensten mogelijk te maken.

### 5.3.1 Aparte fasen voor hulpdiensten

In geval van hulpdienstprioriteit op een bepaalde richting, moeten de lichten voor die richting z.s.m. groen worden. Ook de lichten voor andere autorichtingen vanuit dezelfde tak en bij een OFOS ook het betreffende fietserslicht, moeten standaard z.s.m. groen worden. De lichten voor alle richtingen die daarmee een (deel)conflict<sup>1</sup> hebben, moeten z.s.m. rood worden en rood blijven.

Dit laatste kan niet altijd (denk aan fietsers en auto's met dezelfde signaalgroep), dus conflictvrijheid wordt niet gegarandeerd. Bij het z.s.m. groen en rood worden moeten alle harde randvoorwaarden zoals minimumtijden gerespecteerd worden.



*Figuur 120 In geval van hulpdienstprioriteit uit de noordtak worden hier standaard A en A1 (en eventueel b2) groen en de rest rood, ook als al bekend is in welke richting het hulpdienstvoertuig zal rijden.*

In overleg met de betreffende hulpdiensten kan worden afgeweken van de standaard-afspraken om alle autorichtingen uit de tak groen te geven. Het kan bijvoorbeeld beter zijn om bij het naderen van een linksafslaand hulpdienstvoertuig de linksaffers rood te geven en het rechtdoorgaand verkeer groen, zodat het hulpdienstvoertuig de wachtrij linksaffers voorbij kan rijden op een rechtdoorstrook, alvorens linksaf te slaan. Bij een parallelweg of een parallelle openbaar-voerbeweging moet met de hulpdiensten worden afgesproken welke lichten groen en welke rood moeten worden om tijdverlies en conflicten tot een minimum te beperken.

Bij een n-takskruispunt worden dus in principe n extra hulpdienstfasen voorgeschreven. Soms kan wel een normale conflictvrije fase gebruikt worden, bijvoorbeeld een fase waarin de zijstraat van een drietakskruispunt groen krijgt.

<sup>1</sup> Bij 'deelconflicten' gaat het in dit geval enkel om rechtdoorgaande en afslaande bewegingen; niet over keerbewegingen. Dus als C, C0 en bijkomende pijl B4 groen zijn op het moment dat er een hulpdienstaanvraag vanuit tak C binnenkomt, dan blijven die drie signaalgroepen groen totdat het hulpdienstvoertuig gepasseerd is, zelfs al is er een deelconflict tussen rechtsaffers B4 en keerbewegingen uit tak C.

## 5.3.2 Overgangsfasen voor hulpdiensten

---

Op het V-plan voor een iVRI-light moeten ook alle zinvolle overgangsfasen naar de hulpdienstfasen worden voorgeschreven. Dus in principe vanaf het einde van elke normale fase. Maar ook na een (lange) normale overgangsfase kan het zinvol zijn om de regeling daar alsnog te laten beslissen om al over te gaan naar een hulpdienstfase, in plaats van bijvoorbeeld eerst een voetgangerslicht groen te laten worden met een lange minimumgroentijd.

Uiteraard moet op elke hulpdienstfase ook een overgangsfase naar de normale regeling volgen. Op een kruispunt waar een hulpdienstingreep eerder uitzonderlijk zal zijn, is het voldoende om enkel de overgangsfase naar één 'hoofd fase' van de normale regeling voor te schrijven.

Bijzondere aandacht dient uit te gaan naar op elkaar afgestemde kruispunten. Als een hulpdienstvoertuig een prioriteitsaanvraag voor het ene kruispunt doet, maar dat voertuig ook een nabijgelegen kruispunt kan/zal oprijden, dan moet ook op dat tweede kruispunt alvast een hulpdienstfase gestart worden. En zeker als halfstarre regelingen op elkaar afgestemd zijn op basis van de klok (dus niet op bijvoorbeeld een coördinatiekabel) dan moet de regeling na afloop van de hulpdienstingreep de draad weer kunnen oppakken in het normale ritme, dus hij mag niet vastlopen door een regelmatige puls 'gemist' te hebben.

## 5.3.3 Afkappen en hulpdienstfase verlengen

---

De prioriteitsaanvraag kan op z'n vroegst bij de verkeerslichtenregeling binnenkomen op het moment dat het hulpdienstvoertuig over 90 seconden aan de stopstreep wordt verwacht. Deze ETA (estimated time of arrival) wordt bepaald bij een veronderstelde prioriteitssnelheid van 10 km/h meer dan die geldende maximumsnelheid. Om zeker een vertraging tot 30 seconden te tolereren, kiezen we er initieel voor om de time-out standaard in te stellen op 120 seconden vanaf het moment van aanvraag. Als het voertuig na die 120 seconden de stopstreep nog niet heeft bereikt, dan wordt verondersteld dat het hulpdienstvoertuig toch niet meer met prioriteit de stopstreep zal bereiken, bijvoorbeeld omdat de werkelijke interventielocatie zich niet voorbij de stopstreep bevindt.

Initieel kiezen we er ook voor om vanaf het binnenkomen van de aanvraag direct te beginnen met afkappen, met de overgang naar de hulpdienstfase en vervolgens met het verlengen van die fase. Zo krijgt het hulpdienstvoertuig niet alleen groen bij het bereiken van het kruispunt, maar kunnen de voertuigen ervoor al ongehinderd afstromen om het levensreddende hulpdienstvoertuig zo min mogelijk op te houden. Mocht naderhand blijken dat dit overdreven is, dus dat de nadelen voor het overige verkeer onevenredig groot zijn, dan kan beslist worden om de prioriteitsaanvraag pas te honoreren als de ETA korter is dan bijvoorbeeld 60 seconden en/of om niet of later af te kappen.

Op het V-plan wordt het volgende vermeld:

### Beïnvloeding door hulpdiensten

Voor  $X = A, B, C$  en  $D$  geldt:  $DfHulpX$  is actief indien er een hulpdienstvoertuig met prioriteit nadert uit tak  $X$  en de time-out van 120 seconden sinds prioriteitsaanvraag nog niet verstreken is.

$DfHulp = DfHulpA \text{ OF } DfHulpB \text{ OF } DfHulpC \text{ OF } DfHulpD$

Binnen een blok is het niet relevant vanuit welke tak de hulpdienst nadert. Daarom wordt daar de gezamenlijke variabele 'DfHulp' gebruikt. Afkappen kan al na 5 seconden (dus niet na zo'n 10 seconden, zoals bij openbaar vervoer).

stand	1	2	3	4	5
A					
B					
minimum	5	0	0	0	0
maximum	GroenA ≥ 10	GroenA ≥ 15	GroenA ≥ 30	-	25
verlengd door [ Δ ]	1e Verlenging A	2e Verlenging A	3e Verlenging A	wachtstand tot DfW*	DfA [0,1]

DfW\* = AanvraagB OF DfHulp

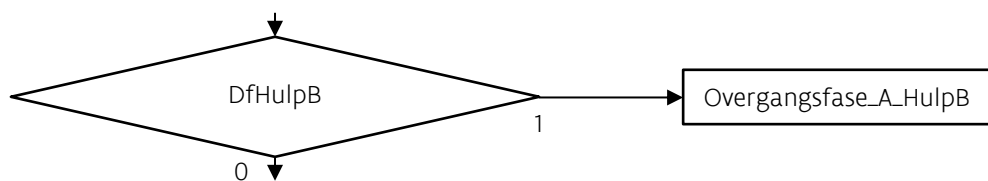
1eVerlengingA = LAs[Δ 2,5s] OF LAh[Δ 3,0s] EN NIET(DfHulp)

2eVerlengingA = (LAs[Δ 2,5s] OF LAh[Δ 3,0s]) EN NIET(DfB) EN NIET(DfHulp)

3eVerlengingA = LAh[Δ 3,0s] EN NIET(DfB) EN NIET(DfHulp)

*Figuur 121 Voorbeeld werkingsdiagram*

Na afloop van een dergelijk blok wordt per tak gevraagd of er een hulpdienst nadert. Zo ja, dan wordt de overgangsfase naar de betreffende hulpdienstfase gestart. Bijvoorbeeld:



De hulpdienstfase B wordt vervolgens verlengd op basis van 'DfHulpB[0,1]' als verlengvoorwaarde.

## 5.4 Beïnvloeding door voetgangers

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de werking van de verkeerslichten wordt beïnvloed door de aanwezigheid van voetgangers.

### 5.4.1 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 hoofdas 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 detectietechnieken zoals optische en thermische detectie.

Analoog met de detectie voor voertuigen, kan er in overleg met de uitvoerende diensten gekozen worden voor de meest geschikte detectie voor iedere locatie.

### 5.4.2 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 gezicht 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 steun 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 vervullen. Het is echter nog steeds aangewezen om een drukknop te voorzien op de middenberm voor voetgangers die hier nood aan zouden hebben.



Figuur 122 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 tijdens de groenfase van de voetgangers.

#### 5.4.2.1 Benaming drukknoppen

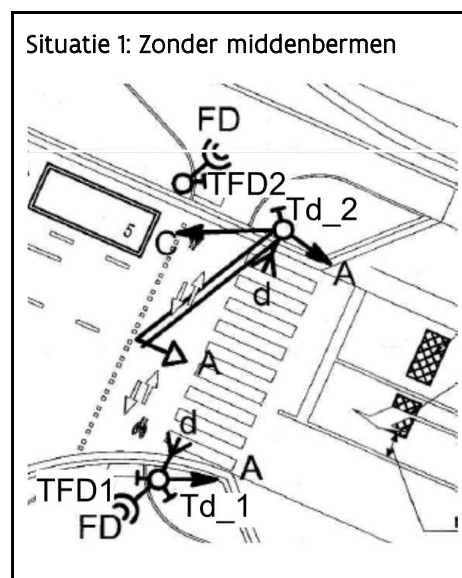
Zoals meerdere seinen die altijd hetzelfde werken samen aangestuurd kunnen worden als één signaalgroep, zo kunnen ook meerdere detectoren die altijd hetzelfde effect op de regeling hebben, elektrotechnisch samengevoegd worden in één 'aanmeldcontact'. In 2023 werd echter binnen AWW afgesproken dat elke drukknop een apart aanmeldcontact krijgt. Dat is immers nodig om te weten of een drukknop (die soms of vaak wordt ingedrukt) defect is. Drukknoppen krijgen elk een apart aanmeldcontact bij nieuwe installaties en bij ingrijpende aanpassingen aan een installatie, inclusief de plaatsing van een TLC.

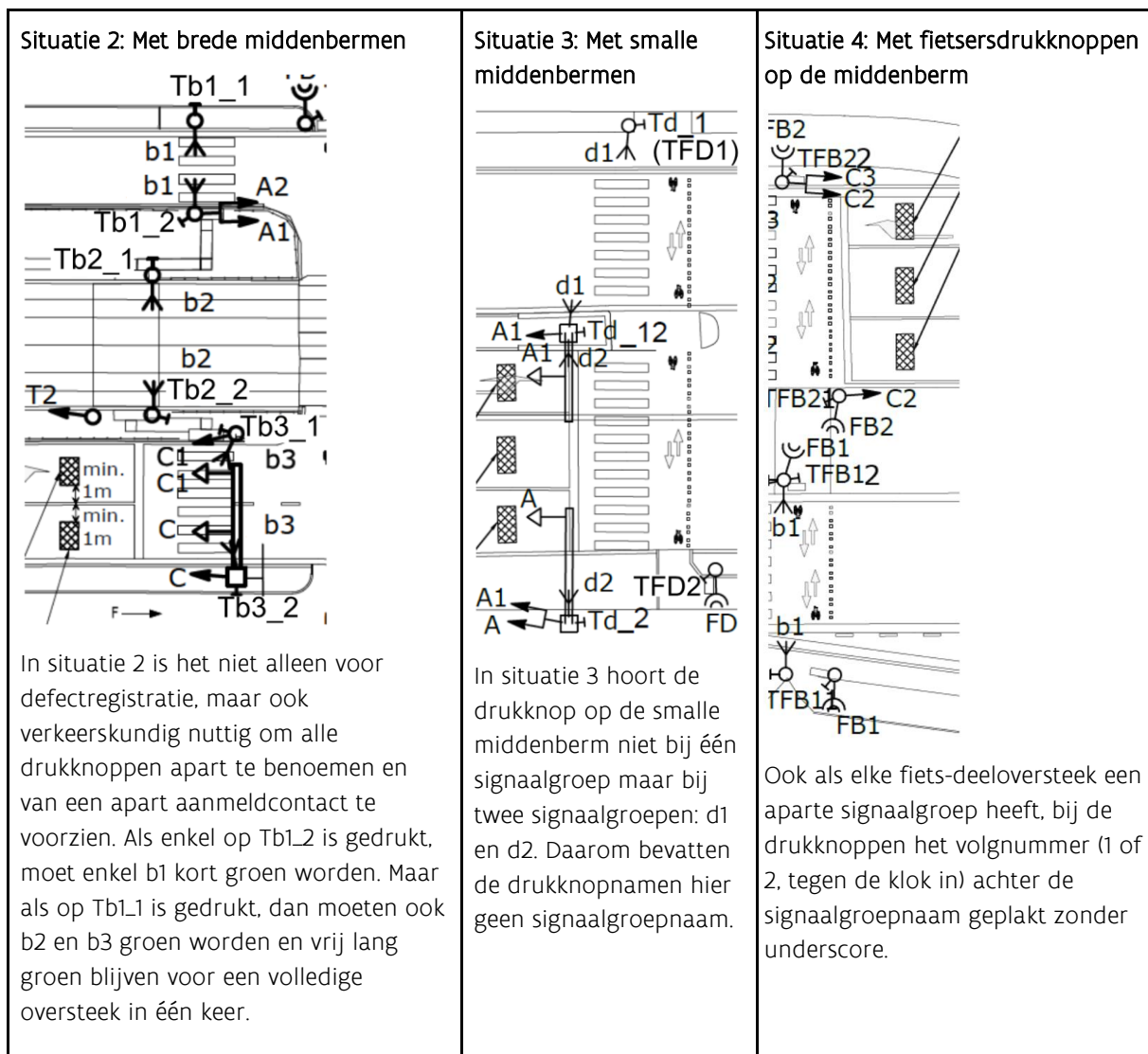
Een ITS-applicatie kan nog meer dan V-planregelingen optimaliseren, afhankelijk van welke drukknoppen werden ingedrukt en op welk moment. Daarom is het plaatsen van een TLC een uitgelezen moment om de drukknoppen van een apart aanmeldcontact te voorzien, waar dat nog niet gebeurd is.

Op V-plannen 'nieuw conform actieplan' worden drukknoppen apart benoemd volgens een standaard-benaming. De *underscore* – die er bij ivRI's bovendien voor zorgt dat een kleine letter van een hoofdletter onderscheiden kan worden – wordt bij voetgangersdrukknoppen gebruikt als scheidingsteken tussen de signaalgroepnaam en het volgnummer.

Fietsersdrukknoppen krijgen geen scheidingsteken. Net als bij signaalgroepnamen wordt (vanuit de kruispunttak gezien) van links naar rechts genummerd, dus (van bovenaf gezien) tegen de klok in.

Hier staat de standaard-benaming in enkele situaties.





#### 5.4.2.2 Werking terugmeldingslichtjes

AWV heeft oog voor het comfort van elke weggebruiker. Onnodig op een knop drukken is niet zo comfortabel. De enige manier om naar de weggebruiker te communiceren of het onnodig is om op een knop te drukken, is door middel van het terugmeldingslichtje. Een brandend terugmeldingslichtje betekent dat het voor ziende mensen niet meer nodig is om de knop in te drukken. (Als het lichtje brandt, kan een voetganger met visuele beperking er soms nog wel op drukken om het geluidssignaal te starten.) Als het niet nuttig is voor de weggebruikers om op de knop te drukken, dan moet het terugmeldingslichtje branden tijdens rood.

Of het nuttig is om te drukken is afhankelijk van de lichtenregeling. Dus ITS-apps dienen zelf de terugmeldingslichtjes aan te sturen. Wat betreft V-plan-regelingen staat in de detectietabel wanneer terugmeldingslichtjes aan moeten gaan. Zodra er een detectie heeft plaatsgevonden die een bepaalde signaalgroep groen zal maken, dan moet een geprogrammeerde V-plan-regeling steeds een terugmelding geven op de drukknoppen die bij die signaalgroep horen. Ook als een actieve fictieve detector bepaalt dat het momenteel spitsuur is waardoor een signaalgroep ook zonder detectie groen wordt, dan moet de terugmelding van de betreffende drukknoppen branden.

Bijvoorbeeld:

De terugmelding van Td<sub>1</sub> gaat aan door Td<sub>1</sub> OF Td<sub>2</sub>.

De terugmelding van TFD1 gaat aan door TFD1 OF TFD2 OF Td<sub>1</sub> OF Td<sub>2</sub> OF DfSpits.

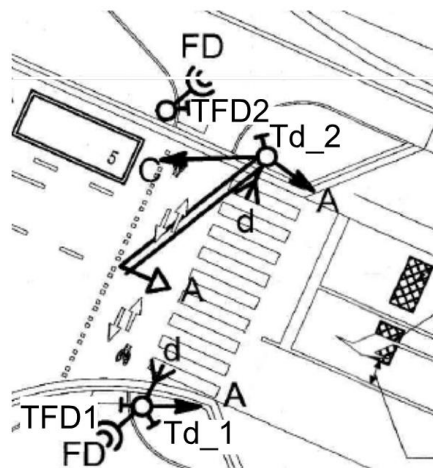
Een terugmeldingslichtje moet uitgaan op het moment dat de bijbehorende signaalgroep groen wordt.

### 5.4.2.3 Aansturing terugmeldingslichtjes

Op de meeste oversteeken is het niet nodig om elke drukknop een apart terugmeldcontact te geven. In de situatie hiernaast zijn de drukknoppen van een apart aanmeldcontact voorzien (om defecten te kunnen bewaken) en apart benoemd. Toch is het hier niet nuttig om elke drukknop een apart terugmeldcontact te geven: per signaalgroep werken de terugmeldingslichtjes steeds tegelijkertijd. Het terugmeldingslichtje bij Td<sub>1</sub> werkt steeds tegelijk met dat bij Td<sub>2</sub>, maar niet steeds tegelijk met het terugmeldingslichtje bij TFD1 of bij Tb<sub>1</sub>.

Op oversteeken zonder middenbermen moet er geen apart terugmeldcontact zijn per drukknop; wel per signaalgroep.

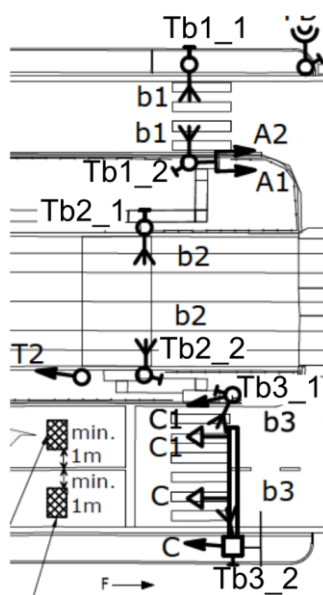
Situatie 1: Zonder middenbermen



Situatie 2: Met brede middenbermen

In situatie 2 kan drukken op Tb<sub>1</sub>1 een ander effect hebben dan drukken op Tb<sub>1</sub>2. Dit onderscheid tussen drukknoppen werkt alleen als elke drukknop een apart terugmeldcontact heeft.

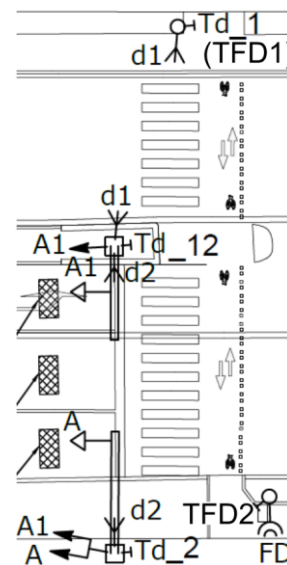
Immers, als alle terugmeldingslichtjes aan zouden gaan door op Tb<sub>1</sub>2 te drukken, dan zouden voetgangers die wel de volledige oversteek willen maken, ontmoedigd worden om op hun knop te drukken.



Situatie 3: Met smalle middenbermen

Indien er meerdere signaalgroepen bij een terugmeldingslichtje horen, dan moet dat doven op het moment dat de laatste van de bijbehorende signaalgroepen groen wordt.

In situatie 3 hoort het terugmeldingslichtje van Td<sub>12</sub> zowel bij d1 als bij d2. Als eerst d1 groen wordt en daarna pas d2, dan moet het terugmeldingslichtje pas doven als d2 groen wordt.



Drukknoppen op oversteeken met middenbermen krijgen elk een apart terugmeldcontact bij nieuwe installaties en bij ingrijpende aanpassingen aan een installatie, inclusief de plaatsing van een TLC.

## 5.4.3 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. Bij deelconflicten tussen afslaande automobilisten en zowel voetgangers als fietsers, worden de voetgangerslichten automatisch groen wanneer er een fietser gedetecteerd werd. In andere gevallen moet een voetganger drukken om groen te krijgen. Voetgangervriendelijkheid is een mee te wegen argument om niet meer deeloversteken en bypasses dan nodig aan te brengen in het kruispuntontwerp: hoe minder deeloversteken, hoe minder vaak een voetganger moet drukken en wachten.

#### **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.

#### **c) Meerdere groenvenster voor de voetgangerslichten**

Daarnaast is het bij lange cycli, bij (gedeeltelijk) conflictvrije regelingen, mogelijk om niet één maar twee groenvenster 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.

### **5.4.4 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 actieve weggebruikers zoals voetgangers zijn de gevolgen van die ongevallen vaak zwaarder van aard dan voor de inzittenden van 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.

#### **5.4.5 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.

#### **5.4.6 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;
- nooit 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 afslaande beweging maken, om een misverstand in de voorrangregels 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.

#### **5.4.7 Hulpsignalen voor voetgangers met een visuele beperking**

---

Wanneer AWW een geluidssignaal voor voetgangers met een visuele beperking aanbrengt, dan brengt AWW ook 'podotactiele aanpassingen' zoals noppentegels aan. Die noppen attenderen de voetgangers met een visuele beperking niet alleen op het begin en einde van een voetgangersoversteekplaats, maar moeten die voetgangers ook leiden naar de locatie van de blindendruknop, waar ze dus aan moeten grenzen. Zie ook hoofdstuk 14 van het 'Vademecum toegankelijke voetgangersvoorzieningen' (AWV, 2026).

Binnen de bebouwde kom brengt AWW geluidssignalen op alle kruispunttakken aan en buiten de bebouwde kom brengt AWW alvast de kabels daarvoor aan. (AWV, 2023) Dit alles gebeurt in de volgende gevallen:

- bij alle nieuwe lichtengeregelde kruispunten;
- bij bestaande kruispunten die aangepakt worden conform het Actieplan Verkeerslichten.

Bij een aanvraag voor geluidssignalen op een individueel kruispunt zal AWW alle takken daarvan voorzien – ook buiten de bebouwde kom – en dit in een PCV-verslag bevestigen.

Soms doet een gemeente een 'groepsaanvraag' om op meerdere kruispunten geluidssignalen aan te brengen. AWW voert dit dan enkel uit op de kruispunten binnen de bebouwde kom en bevestigt dit in een PCV-verslag.



Figuur 123 Voorbeeld van een blindendrukknop

Het hulpsignaal wordt meestal aangebracht in de vorm van een 'blindendrukknop', waarvan hierboven een voorbeeld is afgebeeld. Dat drukknoop-apparaat bevat net als andere drukknoppen een plaats waar men moet drukken (verbonden met een aanmeldcontact) en een terugmeldingslicht. Daarnaast brengt het niet alleen een geluidssignaal voort, maar eventueel ook een tactiel (voelbaar met tastzin) signaal d.m.v. een trilplaatje t.b.v. personen met een visuele én auditieve beperking. Het volume van het auditief signaal is bij voorkeur afhankelijk van het volume van het omgevingsgeluid. Het groenfasesignaal is hoogfrequent (snel tikkend); bij rood tikt het signaal traag/laagfrequent of is het stil. Naast het tikkende geluid, kan er een bevestigingsgeluid klinken wanneer op de knop gedrukt wordt.



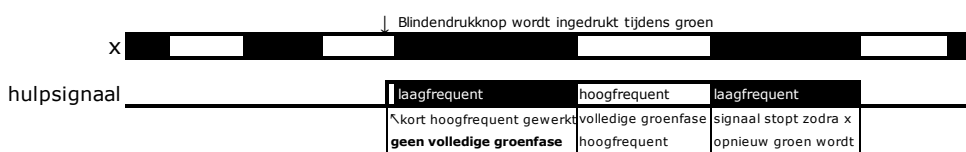
Figuur 124 Voorbeeld van de bovenzijde van een blindendrukknop, waar een voelbare pijl in de oversteekrichting wijst

Het hulpsignaal moet zo veel mogelijk deel uitmaken van een signaalgroep van voetgangerslichten, dus daarmee parallel geschakeld worden. De gewenste configuratie van drukknop-apparaten werd d.m.v. de volgende generieke tekst afgesproken.

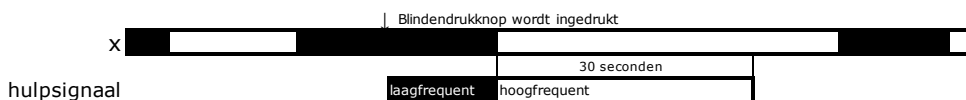
### Hulpsignaal voor blinden en slechtzienden (generieke versie 15-5-2025)

**Voor elke voetgangerssignaalgroep x geldt deze werking:**

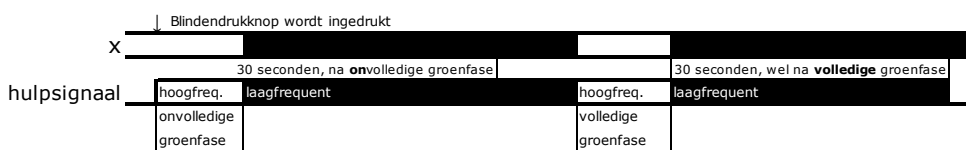
- Het hulpsignaal begint te werken als één van de blindendrukknoppen van x wordt ingedrukt.
- Het hulpsignaal werkt vanaf dan hoogfrequent (snel tikkend) wanneer x groen is en laagfrequent (traag tikkend) wanneer x rood is.
- Het hulpsignaal stopt met werken wanneer x opnieuw groen wordt nadat het een volledige groenfase hoogfrequent heeft gewerkt.



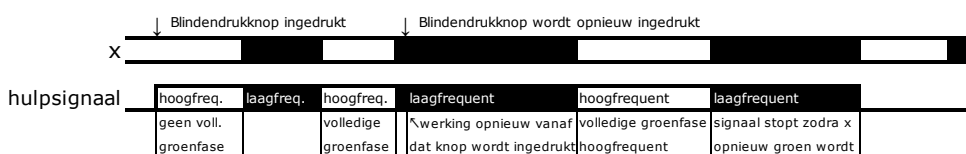
- Het hulpsignaal stopt ook met werken wanneer het **30 s onafgebroken hoog frequent** heeft gewerkt.



- Het hulpsignaal stopt ook met werken wanneer het **30 s onafgebroken laag frequent** heeft gewerkt nadat het een volledige groenfase hoogfrequent heeft gewerkt.



- Wanneer tijdens de werking opnieuw een blindendrukknop wordt ingedrukt, start de hierboven beschreven werking opnieuw.



- Het geluidssignaal kan enkel overdag werken en wordt uitgeschakeld van 22u tot 7u. Het tactiel signaal kan ook 's nachts werken.

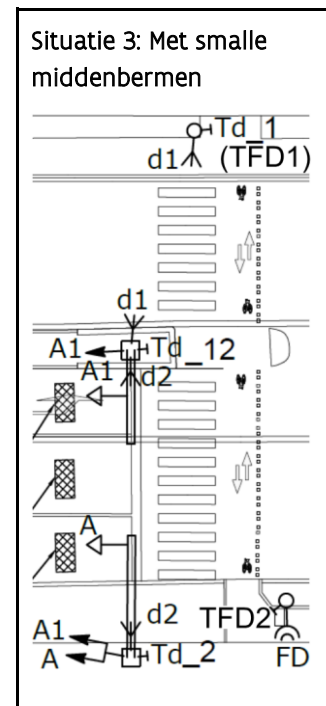
**Op voetgangersoversteken met op de middenberm één paal met drukknop(pen) voor verschillende voetgangerssignaalgroepen x1 en x2, wordt de werking van het hulpsignaal bepaald door de signaalgroep die nooit groen is terwijl de andere signaalgroep rood is.**

- In onderstaand voorbeeld is x1 nooit groen terwijl x2 rood is. Dus de werking van het hulpsignaal wordt bepaald door x1.



- In het uitzonderlijke geval dat soms x1 groen en x2 rood is én dat soms x1 rood en x2 groen is, volstaan deze generieke afspraken niet en moet het V-plan expliciet de werking van het hulpsignaal voorschrijven.

De moeilijkste situatie is situatie 3 met smalle middenbermen: d1 en d2 kunnen op een verschillend moment groen en rood worden, maar er is slechts één hulpsignaal op de middenberm. Dat hulpsignaal moet voor beide deeloversteken veilig zijn. Daarom sturen de drie blindendrukknop-apparaten hier hetzelfde hulpsignaal uit. Als bijvoorbeeld d2 altijd minstens groen is wanneer d1 groen is, dan kan het hulpsignaal veilig deel uitmaken van signaalgroep d1. Als dat niet het geval is, dan wordt best een aanvraag voor V-planaanpassing gedaan. De V-planontwerper zal dan ofwel de cyclus aanpassen om bovenstaande oplossing alsnog mogelijk te maken, ofwel op de klassieke manier toch een aparte signaalgroep toevoegen voor het hulpsignaal.



### 5.4.8 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 1,0 s 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 125, 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 1,0 s voor radars voor voetgangers)

stand	1	2	3	4	5	6	7
<b>A</b>							
<b>b</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\* = Aanvraag(b)

Aanvraag(b) = Tb\_1 OF Tb\_2

1eVerlengingA = LAs[Δ2,5s] OF LAh[Δ3,0s]

2eVerlengingA = LAh[Δ3,0s]

1eVerlenging(b) = Rb\_[Δ1,0]

MaxA = 30

Max(b) = 13

*Figuur 125 Voorbeeld van een werkingsdiagram van een voetgangersoversteekplaats*

Indien de ontruimingstijd van voetgangers beperkt is, kan ervoor gekozen 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.

## 5.5 Beïnvloeding door fietsers

Drukknoppen zijn tot op heden het meest betrouwbare detectiemiddel voor fietsers. Daarnaast zijn ze ook het meest budgetvriendelijk (zowel qua investerings- als onderhoudskost). Drukknoppen kunnen als enige fietsdetector worden toegepast of als aanvulling op detectoren die minder zekerheid bieden. De knoppen worden in principe aan een apart paaltje bevestigd dat zich minstens 2 m voor de rand van de rijbaan bevindt i.v.m. bakfietsen. Om duidelijk aan te geven dat de drukknoop is bedoeld voor fietsers (en niet voor voetgangers) wordt een blauwe montageplaat of sticker aangebracht met het witte symbool van een fietser die drukt. Het lampje van de drukknoop dient op te lichten indien het fietserslicht rood is en het niet meer nuttig is om te drukken. De bepalingen in de vorige paragraaf over de benaming en terugmelding van drukknoppen zijn eveneens van toepassing op fietsersdrukknoppen.



AWV past echter ook andere typen detectoren voor fietsers toe, zoals inductieve lussen, radars en thermische camera's. Die worden ook wel 'automatische fietsdetectie' genoemd omdat ze geen manuele handeling van de weggebruiker vereisen, dus het comfort verhogen. Ze hebben als voordeel dat ze rijdende fietsers kunnen detecteren, terwijl met drukknoppen enkel stilstaande, wachtende fietsers gedetecteerd kunnen worden. Automatische detectie heeft dus de potentie om – in de geschikte

omstandigheden – naderende fietsers al ruim voordat ze de stopstreep bereiken hun groen te laten aanvragen en om de groentijd afhankelijk te maken van het aantal fietsers op dat moment. Dit vermindert de kans op nodeloos voor rood staan.

### 5.5.1 Geschikte omstandigheden voor automatische fietsdetectie

---

In omstandigheden zoals op onderstaande fietssnelweg, kan een fietser op geruime afstand vooraf automatisch gedetecteerd worden en een grote kans hebben op tijdig groen licht. Immers alle fietsers die op afstand gedetecteerd worden hebben baat bij groen licht.



Vaak bevindt zich echter vlak voor het lichtengeregelde kruispunt een mogelijkheid voor fietsers om niet naar het verkeerslicht te rijden, maar om bijvoorbeeld rechtsaf te slaan. Om te voorkomen dat zo'n fietser onterecht groen zou aanvragen en dat het overig verkeer voor niets voor rood zou komen te staan, is het dan noodzakelijk om de fietsers pas te detecteren vanaf het punt waar zeker is dat (zo goed als) alle gedetecteerde fietsers naar het verkeerslicht rijden.

### 5.5.2 Typen automatische fietsdetectie

---

In deze paragraaf wordt ervan uitgegaan dat er standaard drukknoppen, radars en/of lussen worden gebruikt.

**Detectielussen** voor fietsers hebben bij voorkeur de vorm van een parallellogram (met korte zijden van hooguit 1 meter, evenwijdig aan het fietspad) om ook fietsen met weinig metaal te kunnen detecteren. Er moet worden vermeden dat fietsers in tegenrichting groen aanvragen door de lus richtingsgevoelig (dubbel) uit te voeren. Een fietser die het kruispunt benadert, rijdt eerst over lus 1 en daarna over lus 2. De detector is dan enkel actief indien lus 2 actief is én lus 1 actief werd in bijvoorbeeld de seconde voordat lus 2 de laatste keer actief werd. Een richtingsgevoelige fietsdetector vereist dus niet dat beide lussen op hetzelfde moment actief zijn, i.t.t. een richtingsgevoelige motorvoertuigenlus.

'Overspraak' moet ook voorkomen worden waar de afstand tussen fietspad en rijbaan klein is: een fietsdetectielus moet voldoende gevoelig zijn om een kleine hoeveelheid metaal te detecteren, maar mag niet zodanig gevoelig zijn en mag niet zodanig dicht bij de rijbaan liggen dat hij ook vrachtwagens op die rijbaan detecteert.

Belangrijk om mee te nemen is dat het aanbrengen van de aparte toevoerkabel tussen de verkeersregelaar en de detectielus een groot deel uitmaakt van de kosten van een lus. Essentieel is dat deze fietsdetectielussen enkel in een monolithische verharding aangebracht worden, dus niet in een kassei- of klinkerverharding. Een bijkomend voordeel van lussen is dat ze ook indicatieve telresultaten opleveren.

De optimale afstand tussen een verlenglus en de stopstreep wordt vastgesteld op 20 m in combinatie met een ruime hiaattijdgrenswaarde van 4,0 seconden t.b.v. de fietsdoorstroming. Als de laatste fietser van een peloton een lage snelheid van 4 m/s heeft, dan zal die 1 s na begin oranjegeel de stopstreep bereiken, dus nog net kunnen doorfietsen.

**Radars** zijn voorlopig enkel geschikt voor verlengen; niet om een groenfase aan te vragen. Het optimale detectiegebied van een radar, dat altijd ellipsvormig is, bevindt zich op zo'n 8 meter afstand voor de

stopstreep, in combinatie met een hiaattijdgrenswaarde van 1,0 seconde. De laatste (trage) fietser die dat detectiegebied uitrijdt met 4 m/s, zal dan een seconde later het fietserslicht oranjegeel zien worden en nog een seconde later de stopstreep gepasseerd zijn.

Soms kan het opportuun zijn om een alternatief detectortype zoals camera's te gebruiken, op voorwaarde dat men goede kennis heeft van – en rekening houdt met – de beperkingen van dat type: het principe 'nooit voor niets voor rood' blijft steeds van toepassing. Die alternatieve detectortypen hebben als voordeel dat één detector meerdere detectiegebieden kan omvatten.

**Optische camera's** kunnen fietsers over het hoofd zien bij laagstaande zon, mist, sneeuwval, hevige regen of een vuile of stoffige lens. Bewegende schaduwen, voetgangers en dieren op het fietspad kunnen juist vals-positieve detecties genereren. Mogelijk presteren moderne versies (met hogere resolutie en evt. de mogelijkheid om snelheden te bepalen en verplaatsingswijzen te onderscheiden) wel beter.

**Thermische camera's** kosten 2 tot 3 maal zoveel als optische camera's. Ze kunnen fietsers over het hoofd zien bij vuil op de lens en sneeuwophoping. Ook fietsers die zich bij koud weer goed uitdossen, zullen minder goed gedetecteerd worden omdat ze nauwelijks warmte uitstralen. Tevens zou het kunnen dat een zeer warm wegdek tijdens warme periodes een fietser maskeert. Vals-negatieve detecties zullen in die omstandigheden dus toenemen. Maar ook vals-positieve detecties komen bij thermische camera's heel veel voor, dus ze zorgen ervoor dat men voor niets voor rood staat.

Mobilidata realiseerde daarnaast ook niet-fysieke automatische fietsdetectie door middel van C-ITS aan iVRI's, maar dit is nog zodanig in ontwikkeling dat dit handboek daar nog niet verder op in kan gaan.



Figuur 126 Detectie d.m.v. de SWAY-app

### 5.5.3 Toepassingscriteria voor detectieconfiguraties

Hieronder worden de afzonderlijke criteria voor detectorlocaties toegelicht, die in de volgende paragraaf worden gecombineerd om een geschikte detectieconfiguratie voor te schrijven.

- Afhankelijk van de categorie van het fietspad en van de weg die het fietspad dwars, krijgen de fietsers al dan niet een hogere prioriteit dan het gemotoriseerd verkeer. Dit is bepaald in de "Basisprincipes inrichting robuust wegennet: Regionale wegen; Interlokale wegen" (AWV, 2023). Wanneer we de openbaar-vervoer-categorieën (die altijd prioriteit genieten) en lokale wegen buiten beschouwing laten, dan luidt de onderlinge hiërarchie:
  - a) Europese Hoofdweg
  - b) Vlaamse Hoofdweg
  - c) Fietsnelweg
  - d) Privaat gemotoriseerd verkeer op Regionale Weg
  - e) Bovenlokale Functionele Fietsroute (BFF)
  - f) Privaat gemotoriseerd verkeer op Interlokale Weg
  - g) Lokale of andere fietsroutes

Het gevolg hiervan is dat het fietsverkeer een hogere prioriteit krijgt dan het privaat gemotoriseerd verkeer indien voldaan is aan één van deze twee voorwaarden:

- Het fietspad is gecategoriseerd als een **fietsnelweg én dwarsst geen Hoofdweg**, of
- Het fietspad is gecategoriseerd als **BFF én dwarsst geen Regionale Weg of Hoofdweg**.

In die gevallen valt het te verantwoorden om extra te investeren in meerdere automatische detectoren (één voor tijdige aanvraag voor ongehinderde doorgang en één voor verlenging) met veel kabelwerk, althans waar dat nuttig is.

- Indien in de **rusttoestand** fietsers op de fietssnelweg of BFF rood hebben en andere weggebruikers groen hebben, dan is het nuttig om een aparte detector voor een 'tijdige aanvraag' aan te brengen. Voor de afstand tussen die detector en die fietsstopstreep moet bepaald worden hoeveel seconden er zitten tussen het verlaten van de rusttoestand en het groen worden van het fietserslicht. Dit aantal seconden wordt vervolgens met 5 vermenigvuldigd om het aantal meters te krijgen. We gaan hier namelijk uit van een maatgevende fietssnelheid van 18 km/h, dus 5 m/s. Wie tijdens de rusttoestand wat trager fietst dan 5 m/s, zal de stopstreep bereiken tussen begin groen en einde groen. Wie 5 m/s of wat sneller fietst zal even moeten vertragen tot het fietserslicht groen wordt.
- Indien het groen van de fietsers **mee-aanvraagt én meeverlengt** met een hoofdrichting van de auto's, dan krijgen de fietsers automatisch een groot deel van de tijd groen en is er minder fietsdetectie nodig.
- Indien het fietserslicht van toepassing is op **minstens 95%** van de op afstand gedetecteerde fietsers, dan is de kans verwaarloosbaar dat een onterechte aanvraag overige weggebruikers voor niets voor rood doet staan. (Dat geldt nog sterker op momenten dat er veel actieve weggebruikers zijn, want dan is de kans groot dat er na een onterechte aanvraag toch weggebruikers zijn die baat hebben bij die aangevraagde groenfase.)
- Indien de kans daarentegen niet verwaarloosbaar is dat een onterechte aanvraag overige weggebruikers voor niets voor rood doet staan, dan dienen onterechte aanvragen voorkomen te worden door de aanvraagdetectoren *voorbij* het afsplitsingspunt te plaatsen, dus bijvoorbeeld waar de rechts afslaande fietsers juist zijn afgesplitst van de rechtdoorgaande fietsersstroom.
- Er dient vermeden te worden dat een fietser uit de **tegenrichting** een aanvraagdetecteur activeert, want dat zou andere weggebruikers voor niets voor rood doen wachten.
- Indien het wenselijk is om bij veel fietsers langer groen te geven dan bij weinig fietsers, dan is verlengdetectie voor fietsers nuttig. Hoe lang groen gegeven moet worden bij veel fietsers, wordt bepaald door een combinatie van de getelde **fietsintensiteit** in het drukste kwartier en de maximale verzadigingsgraad van 85% voor fietsers uit het Afwegingskader voor conflictvrij regelen. De gewenste groenduur bij weinig fietsers wordt bepaald door in de basisregelingen voor de spitsen te kijken naar andere weggebruikers die tegelijk groen hebben. Als die er niet zijn, kan bij weinig fietsers wellicht volstaan worden met 5 à 7 seconden groen. Maar als tegelijk voetgangers en/of auto's groen hebben, dan kunnen de fietsers wellicht 10 tot 20 seconden groen krijgen zonder dat iemand daar nadeel van ondervindt, dus wordt verlengdetectie voor fietsers minder nuttig.
- Indien het fietserslicht niet **automatisch groen** wordt in de rusttoestand, dan is minstens een drukknop voor fietsers vereist.

#### 5.5.4 Standaard-detectieconfiguraties voor fietsers op basis van combinaties van criteria

---

Deze paragraaf geeft afhankelijk van de situatie een richtlijn voor de detectieconfiguratie. Voor een situatie wordt de paragraaf van boven naar beneden doorlopen.

Niet enkel de fysieke omgeving bepaalt welke detectieconfiguratie aangewezen is. Ook eigenschappen van de verkeerslichtenregeling kunnen bepalend zijn voor waar bepaalde detectoren zinvol zijn.

Rijden de fietsers in **gemengd verkeer met gemotoriseerd verkeer**?

Nee

Ja

De lussen moeten zodanig geplaatst worden en zodanig gevoelig worden ingesteld, dat niet alleen motorvoertuigen maar ook de fietsers gedetecteerd worden. Indien de fietsers er niet automatisch groen krijgen in de rusttoestand, wordt tevens een fietsersdrukknop aangebracht. Voor een OFOS kan bijvoorbeeld een optische camera gebruikt worden.

Is het een 'fietsnelweg die geen Hoofdweg dwarst' of een 'BFF die geen Regionale Weg of Hoofdweg dwarst'?

Nee

Ja

Hebben in de **rusttoestand** fietsers op de fietsnelweg/BFF rood en andere weggebruikers groen?

Nee

Ja

Is het fietserslicht van toepassing op **minstens 95%** van de op afstand gedetecteerde fietsers?

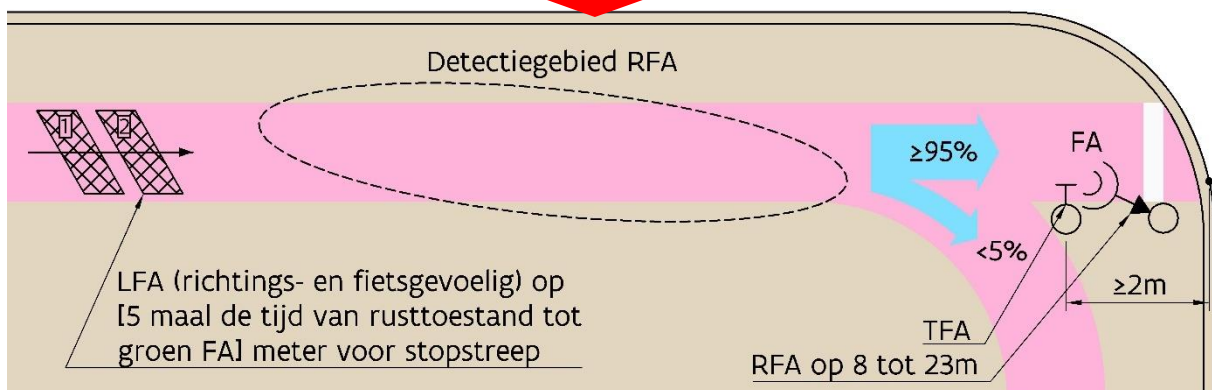
Nee

Ja

**Mee-aanvraagt én meeverlengt** het groen van de fietsers met een hoofdrichting van auto's?

Ja

Nee



Aanvraag op LFA en TFA.

Verlenging op radar RFA, gevoelig voor lage snelheden, met hiaattijdgrenswaarde 1,0 s.

Is het fietserslicht van toepassing op **minstens 95%** van de op 20 m afstand gedetecteerde fietsers?

Nee

Ja

**Mee-aanvraagt én meeverlengt** het groen van de fietsers met een hoofdrichting van auto's?

Ja

Nee



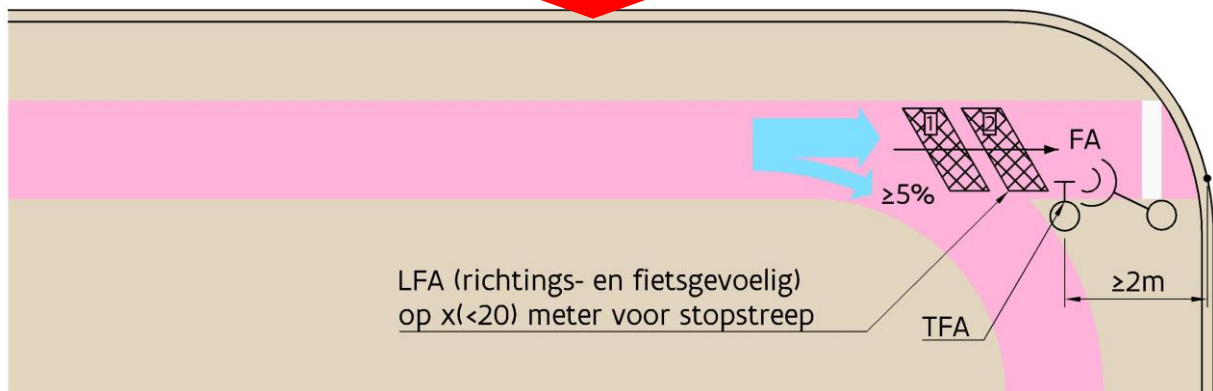
Aanvraag op alle detectoren.

Verlenging op LFA met hiaattijdgrenswaarde 4,0 s.

**Mee-aanvraagt én meeverlengt** het groen van de fietsers met een hoofdrichting van auto's?

Ja

Nee



Aanvraag op alle detectoren.

Verlenging op LFA (die net geen rechts afslaan fietsers detecteert) met hiaattijdgrenswaarde 4,0 s.

Mee-aanvraagt én meeverlengt het groen van de fietsers met een hoofdrichting van auto's?

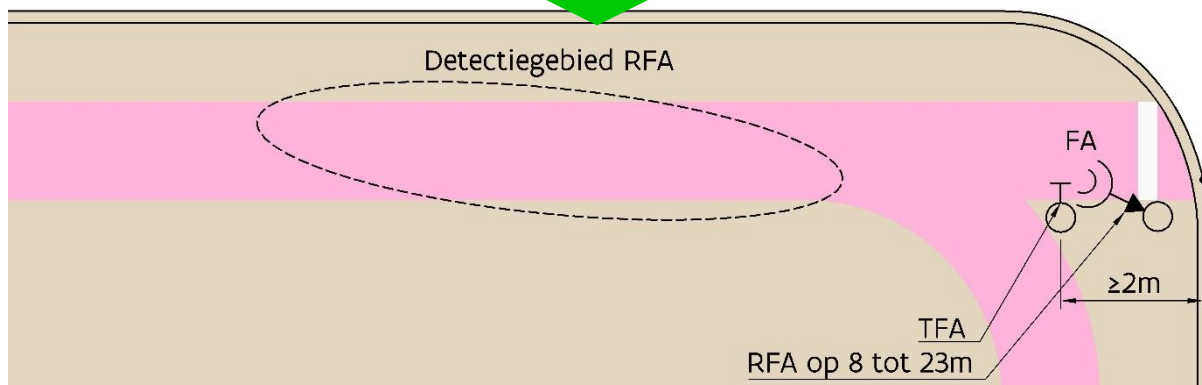
Ja

Nee

Is er verlengdetectie nodig, gezien de **fietsintensiteiten**?

Nee

Ja



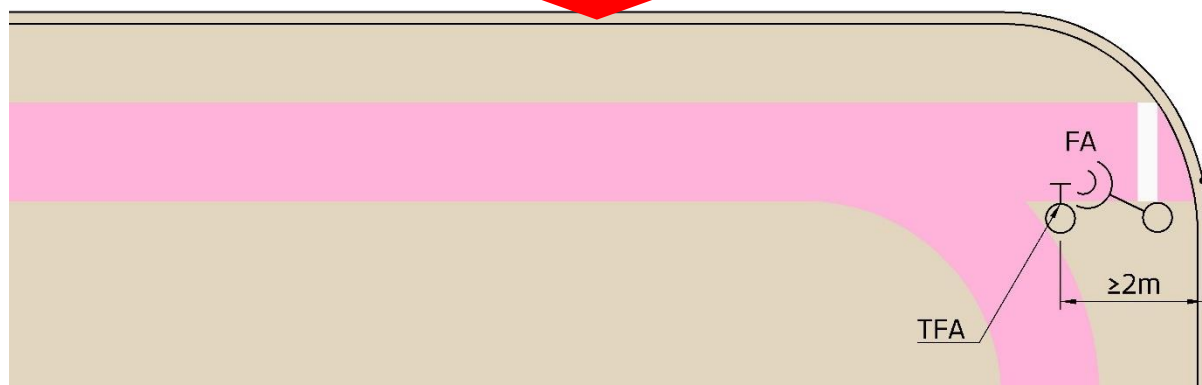
Aanvraag enkel op TFA, plus automatische groenaanvraag zonder detectie (d.m.v. 'fictieve detector') op werkdagen in de kwartieren waarin meer dan 40 getelde actieve weggebruikers baat hebben bij dat groen.

Verlenging op radar RFA, gevoelig voor lage snelheden, met hiaattijdgrenswaarde 1,0 s.

Wordt FA **automatisch groen** in de rusttoestand?

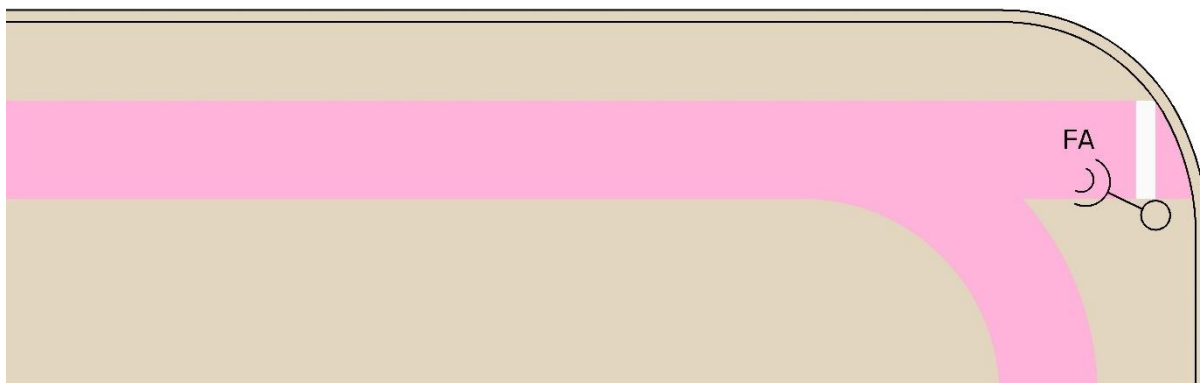
Ja

Nee



Aanvraag enkel op TFA, plus automatische groenaanvraag zonder detectie (d.m.v. 'fictieve detector') op werkdagen in de kwartieren waarin meer dan 40 getelde actieve weggebruikers baat hebben bij dat groen.

Geen verlenging.



Geen aanvraag (want FA wordt automatisch groen).

Geen verlenging.

### 5.5.5 Flexibiliteit

Het voldoende snel opkomen van het fietsersgroen is een belangrijk aandachtspunt. Vooral wanneer er een aparte fase wordt voorzien voor fietsers, die vaak langere cycli veroorzaken, is het nuttig om een 2<sup>de</sup> 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.

### 5.5.6 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 paragraaf 5.4.4 over voetgangers worden gegeven ook voor fietsers: de wachttijd wordt best beperkt, vooral een wachttijd die onnuttig lijkt, zeker wanneer de drukknop ingedrukt werd.

### 5.5.7 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 soms voor 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.

### 5.5.8 Werkingsdiagram

De minimumgroentijd voor fietsers is standaard 5 s. Wanneer een fietsoversteek niet gecombineerd wordt met een voetgangersoversteek, zou het kunnen dat deze oversteek toch occasioneel door voetgangers

wordt gebruikt. Een minimumgroentijd van 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.

stand	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>A</b>								
<b>FB</b>								
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 OF LFB

1eVerlengingA = LAs[ Δ2,5s] OF LAh[ Δ3,0s]

2eVerlengingA = LAh[ Δ3,0s]

1eVerlengingFB = LFB[ Δ3,0s] OF RFB[ Δ1,0]

MaxA = 30

MaxFB = 12

*Figuur 127 Werkingsdiagram van een fietsoversteek, waarbij het groen verlengd kan worden met lus of radar*

## 5.6 Defecte detectoren

### 5.6.1 Criteria om een detector als defect te beschouwen

Om te bepalen hoe er ingegrepen moet worden in geval van defecte detectoren wordt eerst gedefinieerd wanneer een detector als defect wordt beschouwd. Deze criteria bepalen zowel wanneer er automatisch ingegrepen moet worden als wanneer de VRI een alarm moet versturen.

Defecte detectoren kunnen afwijkend gedrag vertonen op het vlak van drie parameters:

- Interval (ook wel hiaat genoemd)  
Als er gedurende te lange tijd geen detectie plaatsvindt, moet de detector als defect beschouwd worden (= storing door interval).
- Bezetting  
Als er gedurende te lange tijd permanent detectie plaatsvindt, moet de detector ook als defect beschouwd worden (= storing door bezetting).
- Intermittentie  
Het komt ook voor dat een defecte detector gaat intermitteren of 'flutteren'. Dit is het zeer snel opkomen en afvallen van de bezetmelding van de detectielus, ook al is er maar één, of zelfs géén voertuig aanwezig. In dat geval zal de herkenning op interval en bezetting niet werken. Voor zover bekend wordt intermittentie echter in Vlaanderen nog niet als indicator voor een defect gebruikt.

Hoe groot het interval en hoe lang de bezetting mag zijn varieert in 2 dimensies:

1. naar gelang het moment van de dag
2. naar gelang de verkeerskundige functie van de detector. De functie bepaalt hoe vaak een detector (waarschijnlijk) actief zal zijn.

### 5.6.1.1 Moment van de dag

Er worden 3 relevante momenten in de dag onderscheiden: Spits, Dal en Nacht.

De standaard-afbakening wordt weergegeven in onderstaande tabel. [Alles wat in dit hoofdstuk blauw gedrukt wordt, is bedoeld als instructie aan firma's die lichtenregelingen programmeren en is slechts ter info aan V-planontwerpers.](#)

van / tot	ma	di	wo	do	vr	za	zo	feestdag
00 h 00 - 06 h 00	N	N	N	N	N	N	N	N
06 h 00 - 07 h 00	D	D	D	D	D	D	N	N
07 h 00 - 09 h 00	S	S	S	S	S	D	D	D
09 h 00 - 16 h 00	D	D	D	D	D	D	D	D
16 h 00 - 19 h 00	S	S	S	S	S	D	D	D
19 h 00 - 20 h 00	D	D	D	D	D	D	D	D
20 h 00 - 24 h 00	N	N	N	N	D	D	N	D

Periode "spits" is dan elke werkdag van 7u tot 9u en van 16u tot 19u. In de "spits" is er zeker veel verkeer op de drukke richtingen en is er minstens af en toe verkeer op de vrij rustige richtingen.

Periode "nacht" is elke maandag tot zaterdag van 0u tot 6u, elke zon/feestdag van 0u tot 7u en elke zondag tot donderdag van 20u tot 24u. In de "nacht" blijven ook detectoren van drukke richtingen zeker niet langer dan een paar minuten onafgebroken bezet, anders moeten ze als defect beschouwd worden. Elk ander uur van de week valt in de periode "dal". De intensiteiten zijn in de dalperiode onzeker.

Deze indeling nacht/spits/dal staat volledig los van de indeling in programma's/seinplannen voor verschillende spits- en dalperiodes, waarin bijvoorbeeld maximum-groentijden worden bepaald.

### 5.6.1.2 Hoe vaak actief

Om te bepalen of een detector defect is, maken we daarnaast onderscheid tussen detectoren die in normale omstandigheden waarschijnlijk "vaak", waarschijnlijk "soms" of waarschijnlijk "zelden" geactiveerd worden. Dit onderscheid is onder meer van belang om te voorkomen dat detectoren die "zelden" geactiveerd worden dag en nacht voor een permanente aanvraag zorgen terwijl ze niet defect zijn. Onderstaande onderverdeling is de standaard waarmee de ontwerper rekening houdt. Op het V-plan staat beschreven welke detectoren specifiek tot welke categorie behoren. Hierbij kan afgeweken worden van deze standaard als bijvoorbeeld uit de telling blijkt dat een richting toch uitzonderlijk hoge intensiteiten kent of bijvoorbeeld als een omleiding ervoor zorgt dat er in een hoofdrichting tijdelijk nauwelijks verkeer rijdt.

*Richtlijn voor de ontwerper van het V-plan:*

Alle detectoren	soms actief
Behalve de volgende uitzonderingen:	
Detectoren voor richtingen met hoge spitsintensiteiten: meestal de rechtdoorgaande auto's A(2), C(2), K(2) en M(2) <sup>1</sup>	vaak actief
Selectieve inmeldlussen en aanverwante fictieve detector bij exclusieve fase op aanvraag	vaak actief
Drukknoppen op middenberm <sup>2</sup> en andere zelden ingedrukte knoppen, bijvoorbeeld waarvan het terugmeldingslichtje ook door één of meer lussen geactiveerd wordt	zelden actief
Drukknoppen voor trambestuurders of buschauffeurs	zelden actief

Zoals eerder aangehaald zijn er twee parameters (interval en bezetting) die een indicatie geven over defecte detectoren. De grenswaarden waarmee deze parameters vergeleken moeten worden variëren in 2 dimensies (moment van de dag en hoe vaak actief). De combinatie van dit alles leidt tot onderstaande samenvattende matrix.

Een detector wordt als defect beschouwd als...

	vaak actief	soms actief	zelden actief
spits	<i>Interval <math>\geq 30</math> min. Bezetting <math>\geq 60</math> min.</i>	<i>Interval <math>\geq 48u</math>. Bezetting <math>\geq 15</math> min.</i>	<i>Bezetting <math>\geq 10</math> min.</i>
dal	<i>Interval <math>\geq 12u</math>. Bezetting <math>\geq 30</math> min.</i>	<i>Interval <math>\geq 72u</math>. Bezetting <math>\geq 15</math> min.</i>	<i>Bezetting <math>\geq 5</math> min.</i>
nacht	<i>Interval <math>\geq 24u</math>. Bezetting <math>\geq 10</math> min.</i>	<i>Interval <math>\geq 72u</math>. Bezetting <math>\geq 5</math> min.</i>	<i>Bezetting <math>\geq 5</math> min.</i>

Nu bepaald is wanneer een detector verkeerskundig als defect beschouwd wordt, kan worden beschreven hoe er gereageerd moet worden in de regeling.

## 5.6.2 Hoe te reageren op defecte detectoren?

In de regeling kunnen detectoren een aanvraag genereren voor een toekomstige fase of de huidige fase verlengen of afbreken. De volgende paragrafen beschrijven hoe de regeling moet reageren op defecte detectoren bij aanvragen of verlengingen.

<sup>1</sup> Selectieve in- en uitmeldlussen worden hier niet onder bedoeld.

<sup>2</sup> Als dezelfde detectornaam ook wordt gebruikt voor drukknoop die niet op een middenberm staan, dan zijn ze 'soms actief'. Immers, indien meerdere drukknoop op dezelfde ingang zijn aangesloten (bv. drukknoop op middenberm en op de stoep) kan er geen onderscheid gemaakt worden om te bepalen of de drukknoop defect is. Bij nieuwe installaties zou dit niet mogen voorkomen.

Deze bepalingen bieden meer maatwerk dan voorheen en moeten voorkomen dat bij een vermoeden van defect onnodig groen of te kort groen wordt gegeven. Waar er meerdere detectoren per rijstrook zijn, wordt maximaal teruggevallen op detectoren die niet defect zijn. Daardoor zijn de bepalingen wel langer geworden dan voorheen. Daarom verdient het aanbeveling dat het programmeren ervan enigszins geautomatiseerd wordt.

Bij drukknoppen kan een oorzaak van het 'defect' zijn dat er lang niet op gedrukt is. Het is dan wenselijk dat de eerstvolgende voetganger of fietser wel op de knop drukt, zodat het onterechte alarm wordt opgeheven. De kans hierop is groter als het terugmeldingslampje 'oproep opgenomen' niet brandt. **Daarom wordt afgesproken om dat lampje *niet* te laten branden indien de drukknop als defect wordt beschouwd.** Anders wordt bij afwezigheid van fietsers of voetgangers iedere 90 s een onnodige aanvraag gegenereerd, dus krijgt het overige verkeer onnodig rood.

Anderzijds heeft het ook een klein voordeel om dat terugmeldingslampje wel te laten branden bij een vermoeden van defect: als een medewerker van een team EW toevallig 's nachts passeert en een lampje ziet branden, dan kan hij/zij zonder afstandsbewaking vermoeden dat er een alarm van toepassing is.

### 5.6.2.1 Aanvraag

Sommige detectoren zijn essentieel voor een aanvraag om groen te krijgen. Bij een vermoedelijk defect aan zo'n detector kan er niet op vertrouwd worden dat een andere detector zijn werking overneemt. Daarom wordt bij zo'n defect iedere 90 s opnieuw een aanvraag gegenereerd. Onderstaande tabel wordt gebruikt als richtlijn voor de ontwerper voor het gewenste gedrag bij specifieke detectoren. Op het V-plan staat beschreven welke detectoren specifiek tot welke categorie behoren.

*Richtlijn voor de ontwerper van het V-plan:*

	Iedere 90 s een aanvraag genereren bij defect?
Stopstreep-detectoren	Wel
Drukknoppen voor fietsers en voetgangers	Wel
Selectieve in- en uitmeldlussen en aanverwante fictieve detector indien enkel op aanvraag groen	Wel
Alle overige detectoren	Niet

Memorisatie van een aanvraag gebeurt altijd vanaf begin rood van de betreffende signaalgroep.

Als op het V-plan staat "AanvraagX = LX" en die detector LX moet volgens de tabel op het V-plan *niet* iedere 90 s een aanvraag genereren als hij defect lijkt te zijn, dan zou dit door de regeling begrepen moeten worden als: "AanvraagX = LX[memorisatie vanaf begin rood X] EN NIET(LX[lijkt defect])".

Als een detector *wel* iedere 90 s een aanvraag genereert, dan komt dit in de plaats van een voortdurende aanvraag. Ook als het een detector zonder memorisatie betreft, wordt bij defect de gegenereerde aanvraag wel gememoreerd (tot de bijbehorende signaalgroep groen is).

### 5.6.2.2 Selectieve lussen en aanverwante fictieve detector bij exclusieve fase op aanvraag

Indien de (hoofd)inmeldlus defect is die gebruikt wordt voor het aanvragen van een exclusieve OV-fase, wordt de fictieve detector elke 90 seconden éénmaal geactiveerd. 12 seconden na het begin van groen gebeurt er dan onmiddellijk een uitmelding en wordt de fictieve detector opnieuw inactief.

Op deze manier krijgt het OV vrijwel elke cyclus groen gedurende minimaal 12s, hetgeen voldoende hoort te zijn om 2 wachtende trams door te laten.

Indien enkel de voorinmeldlus defect is, moeten er geen speciale acties gebeuren, want dan kan de hoofdinmeldlus als reserve-detector fungeren.

Indien de uitmeldlus defect is, dient de fictieve detector gedeactiveerd te worden na het bereiken van zijn time-out.

Om openbaar vervoer ook groen te kunnen geven in de periode voordat de regelaar het defect onderkent, worden drukknoppen geplaatst waarmee de chauffeur zijn groen kan aanvragen.

### 5.6.2.3 Verlenging

Het uitgangspunt bij verlenging is dat reserve-detectoren de functie van een detector kunnen overnemen indien deze detector verkeerskundig als defect beschouwd wordt. Op het V-plan staat beschreven welke detectoren als reserve-detector dienen voor welke detectoren. Het kan ook voorkomen dat een detector geen reserve-detector heeft.

Onderstaande tabel toont hoe de ontwerper deze informatie kan weergeven op het V-plan.

Naam	Signaalgroep	Hiaattijd in de rol van reserve-detector	Terugmelding gaat aan door	Hoe vaak actief?	Iedere 90s een aanvraag genereren bij defect?	Reserve-detectors bij Verlenging
LA2s	A2	2,5	-	vaak actief	wel	-
LA2h	A2	3,0	-	vaak actief	niet	LA2s
LA2a	A2	3,0	-	vaak actief	niet	LA2h, LA2s
LB1s*	B1	-	-	soms actief	wel	-
SiA	-	-	-	soms actief	niet	-
SuA	-	-	-	soms actief	niet	-
Td_1	d	-	Td_1 OF Td_2	soms actief	wel	-
TFD1	FD	-	TFD1 OF TFD2 OF Td_1 OF Td_2 OF DfSpits	soms actief	wel	-

Deze tabel is enkel van toepassing op de V-plan-regeling; niet op de eventuele ITS-app-regeling.

[Weglaten indien V-plan geen richtingsgevoelige lus bevat:]

\* Voor X = B1s [bijvoorbeeld] geldt: Richtingsgevoelige stopstreep-detector LX bestaat uit twee lussen 1 en 2. LX wordt 'nu' actief indien eerst lus 1 actief werd terwijl lus 2 inactief was en vervolgens 'nu' ook lus 2 actief wordt terwijl lus 1 nog actief is.

\* Voor X = FB [bijvoorbeeld] geldt: Richtingsgevoelige fiets-detector LX bestaat uit twee lussen 1 en 2. De detector is enkel actief indien lus 2 actief is én lus 1 actief werd in de seconde voordat lus 2 de laatste keer actief werd.

Gedurende een vermoedelijk defect is de detector niet richtingsgevoelig.

Indien lus 2 wel en lus 1 niet defect lijkt te zijn, dan geldt LX = lus 1.

Indien lus 1 en lus 2 beide defect lijken te zijn, dan lijkt LX defect te zijn.

Bij een drukknop Tb\_12 op een middenberm die aanvragen doet voor b1 én b2, moet de 'Signaalgroep' ingevuld worden die in de V-planregeling als eerste rood wordt. Want als b1 nog groen is en b2 al rood is, dan moet een voetganger al een nieuwe aanvraag voor b2 kunnen doen, dus die aanvraagmogelijkheid moet al gereset worden op het moment dat b2 rood wordt. Als b1 en b2 tegelijk rood worden, maakt het niet uit welke van de twee wordt ingevuld.

Als in een stand verlengd wordt op een detector die volgens de tabel **geen** reserve-detectors heeft, dan moet bij defect verlengd worden tot aan de maximum-duur van die stand (of fase).

Bijvoorbeeld "2eVerlengingA2 = LA2s[Δ2,0s]"

zou door de regeling begrepen moeten worden als:

"2eVerlengingA2 = LA2s[Δ2,0s] OF LA2s[lijktdefect]"

Als in een stand verlengd wordt op een detector die volgens de tabel **wel** reserve-detectors heeft, dan nemen de niet-defecte reserve-detectors in eerste instantie de werking over. Enkel indien ook alle reserve-detectors defect lijken te zijn, dan moet verlengd worden tot aan de maximum-duur van die stand (of

fase).

Bijvoorbeeld "4eVerlengingA2 = LA2a[Δ3,0s]"

zou door de regeling begrepen moeten worden als:

4eVerlengingA2 = (LA2a[Δ3,0s] EN NIET(LA2a[lijktdefect]))  
OF (LA2h[Δ3,0s] EN LA2a[lijktdefect] EN NIET(LA2h[lijktdefect]))  
OF (LA2s[Δ2,0s] EN LA2a[lijktdefect] EN LA2h[lijktdefect] EN NIET(LA2s[lijktdefect]))  
OF (LA2a[lijktdefect] EN LA2h[lijktdefect] EN LA2s[lijktdefect])"

Als in een stand verlengd wordt op meerdere detectoren tegelijk, dan wordt het bovenstaande voor elk van deze detectoren gecombineerd.

Bijvoorbeeld "2eVerlengingA2 = LA2s1[Δ2,0s] OF LA2s2[Δ2,0s]"

zou door de regeling begrepen moeten worden als:

"2eVerlengingA2 = (LA2s1[Δ2,0s] OF LA2s1[lijktdefect])  
OF (LA2s2[Δ2,0s] OF LA2s2[lijktdefect])"

Wanneer in een stand verlengd wordt op een fictieve detector voor openbaar vervoer, dan moet bij vermoeden van defect niet op die detector verlengd worden.

Dus "DfC[Δ0,1s]" zou door de regeling begrepen moeten worden als:

"DfC[Δ0,1s] EN NIET(DfC[lijktdefect] OF SiC[lijktdefect] OF SuC[lijktdefect])"

Uitzondering: indien de groenfase enkel wordt aangevraagd en verlengd door openbaar vervoer (bijvoorbeeld bij het verlaten van een exclusieve bedding), dan wordt bij defect verlengd tot een groentijd van 12 seconden. Dus "DfTC3[Δ0,1s]" zou dan door de regeling begrepen moeten worden als:

"(DfTC3[Δ0,1s] EN NIET(DfTC3[lijktdefect] OF SiTC3[lijktdefect] OF SuTC3[lijktdefect]))  
OF (GroentC3<12 EN (DfTC3[lijktdefect] OF SiTC3[lijktdefect] OF SuTC3[lijktdefect]))"

#### 5.6.2.4 Afbreken

Wanneer een (fictieve) detector als defect beschouwd wordt, dan komt het afbreken te vervallen.

Bijvoorbeeld "2eVerlengingA2 = LA2s[Δ2,0s] EN NIET(DfB) EN NIET(LFileB[bezetting > 5s])"

zou door de regeling begrepen moeten worden als:

"2eVerlengingA2 = (LA2s[Δ2,0s] OF LA2s[lijktdefect])  
EN (NIET(DfB) OF DfB[lijktdefect] OF SiB[lijktdefect] OF SuB[lijktdefect])  
EN (NIET(LFileB[bezetting > 5s]) OF LFileB[lijktdefect])"

## 6 Afstemming met nabijgelegen lichtengeregelde kruispunten

### 6.1 Voordelen en nadelen

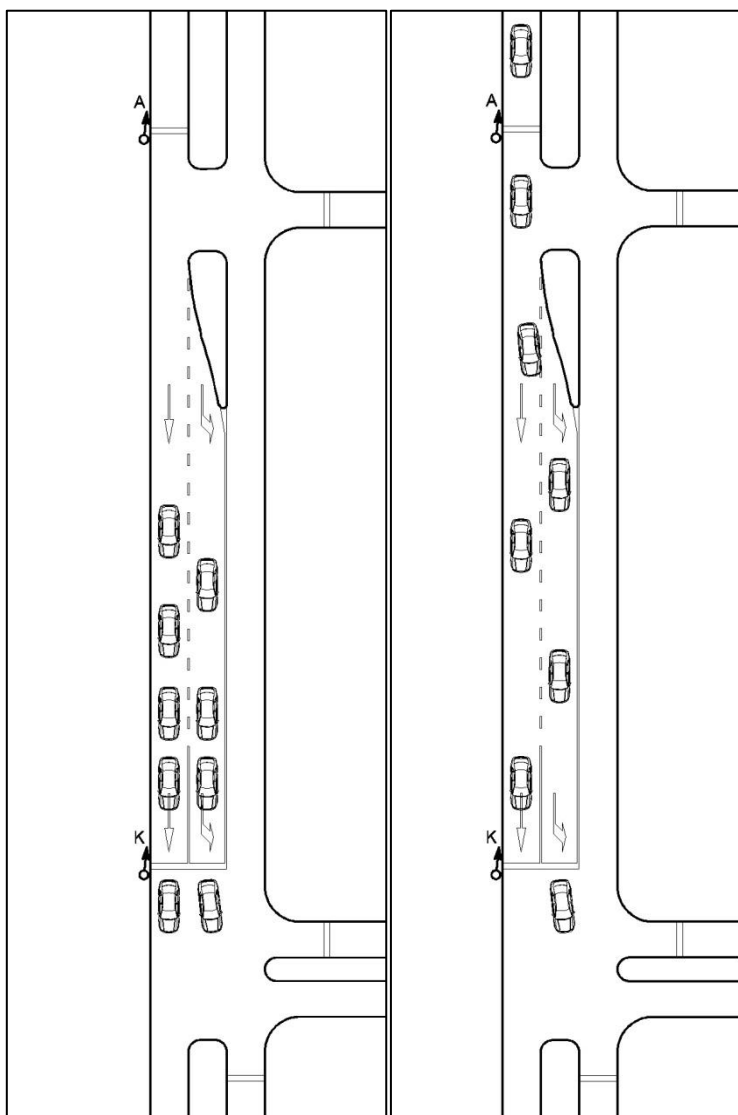
Wanneer twee of meer lichtengeregelde kruispunten minder dan 750 m van elkaar liggen, dan is het soms wenselijk om hun regelingen op elkaar af te stemmen. Zo'n afstemming of 'coördinatie' kan, afhankelijk van de lokale omstandigheden, zowel voordelen als nadelen hebben. Over het algemeen wegen de voordelen 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 128).
- Ook wanneer het aantal rijstroken gelijk blijft maakt een afstemming de verkeersafwikkeling inefficiënt door het verschijnsel 'pelotondiffusie' of uitwaaiering. 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 128 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 128 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 op een andere tak groter met deze afstemming dan zonder.



*Figuur 129 Voorbeeld van twee afgestemde kruispunten*

## 6.2 Mate van afstemming

Als de afstand tussen de opeenvolgende stopstrepen kleiner is dan circa 150 meter (CROW, 2022) en er geen belangrijke dwarsstromen zijn, dan is een 'strakke' afstemming meestal aangewezen. Zo'n strakke afstemming wordt uitgewerkt in paragraaf 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 worden (AWV, 2010); zie paragraaf 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 meerdere 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 ontruimingssnelheid, 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 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

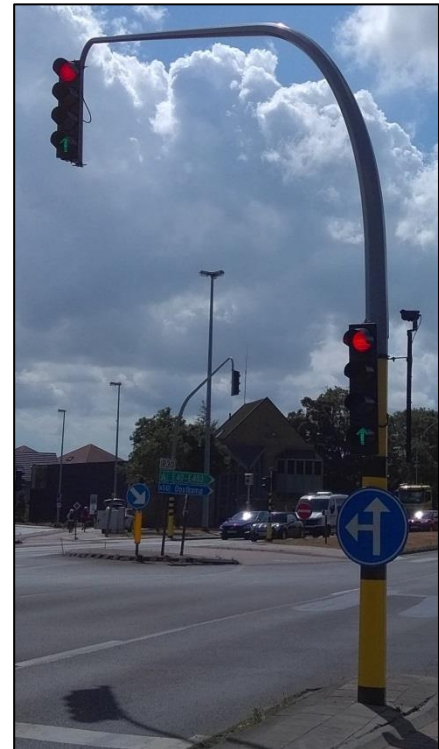
Maar die waarde van  $x$  wordt eveneens deels bepaald o.b.v. het aantal pae dat zich normaal gesproken al tussen het eerste en tweede kruispunt kan bevinden op het moment dat het eerste licht groen wordt.

Bovendien doet een voertuig, dat voor het eerste licht gedetecteerd wordt, indien nodig een groenaanvraag bij het eerste én het tweede licht.

### Bijkomende pijl

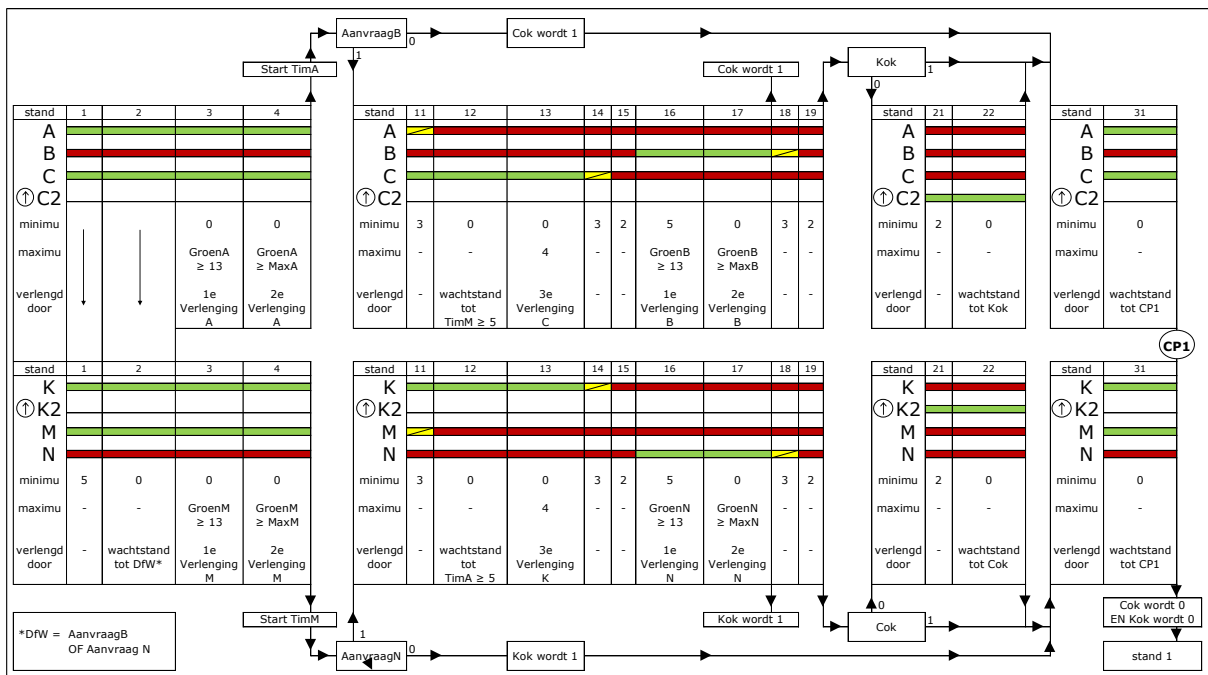
Ook verkeer dat een andere route volgt dan die waarvoor de verkeerslichten zijn afgestemd, mag niet voor niets voor rood komen te staan. Daartoe kan onder het tweede licht een bijkomende pijl rechtdoor aangebracht worden die ontbrandt wanneer dat tweede kruispunt veilig opgereden kan worden maar het 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.



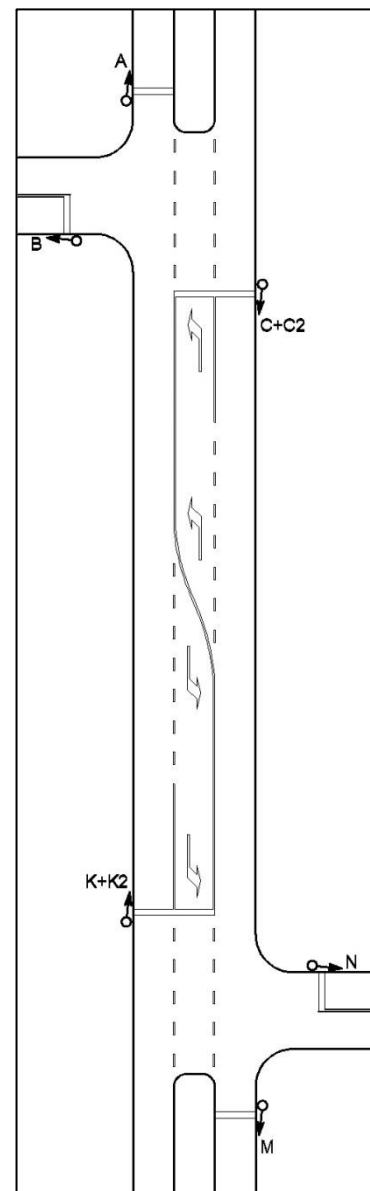
Figuur 130 Voorbeeld van een V-plan met strakke afstemming

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 maximumsnelheid 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  $2 \text{ m/s}^2$  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) groen 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 afslaande 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 deelkruispunten altijd tegelijk de rusttoestand in- en uitgaan en ze in hun cyclus elk in drie wachtstanden op het andere deelkruispunt 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 deelkruispunt 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 (CROW, 2022).

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 microsimulatiemodel. 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

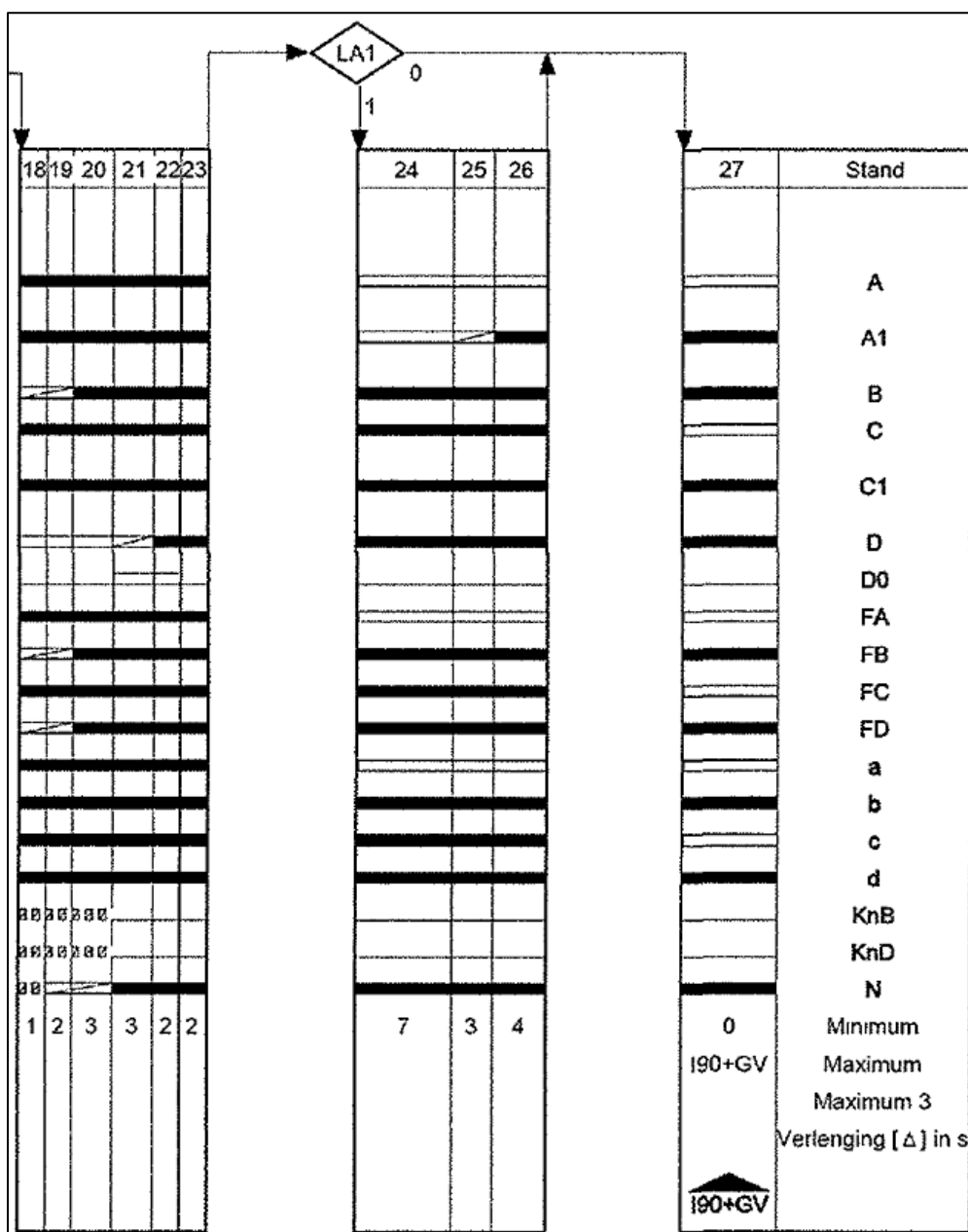
Figuur 131 Voorbeeld van een coördinatie tussen twee kruispunten – algemene informatie



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 signaalgroepen A en C bij een starre werking groen zouden zijn en op schaal wat hun tussenaafstanden 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 133 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 tussenafstand 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 'primaire-secundair'

---

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 'primaire' kruispunt) en de andere kruispunten ruime restcapaciteit hebben, dan moeten die laatstgenoemde 'secundaire' kruispunten gedwee volgen wat het primaire kruispunt hen opdraagt: een afstemming volgens het primair-secundair-systeem.

Een eenvoudige verschijningsvorm van dit systeem is het steunlicht (zie paragraaf 7.2). Dit is een licht voor een zijstraat, enkele tientallen meters voorafgaand aan het primaire 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 wordt er soms een afstemming voorzien met nabijgelegen kruispunten.

Om te bepalen of de plaatsing van verkeerslichten gerechtvaardigd is, kan rekening worden gehouden met:

- 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 125 of Figuur 127.

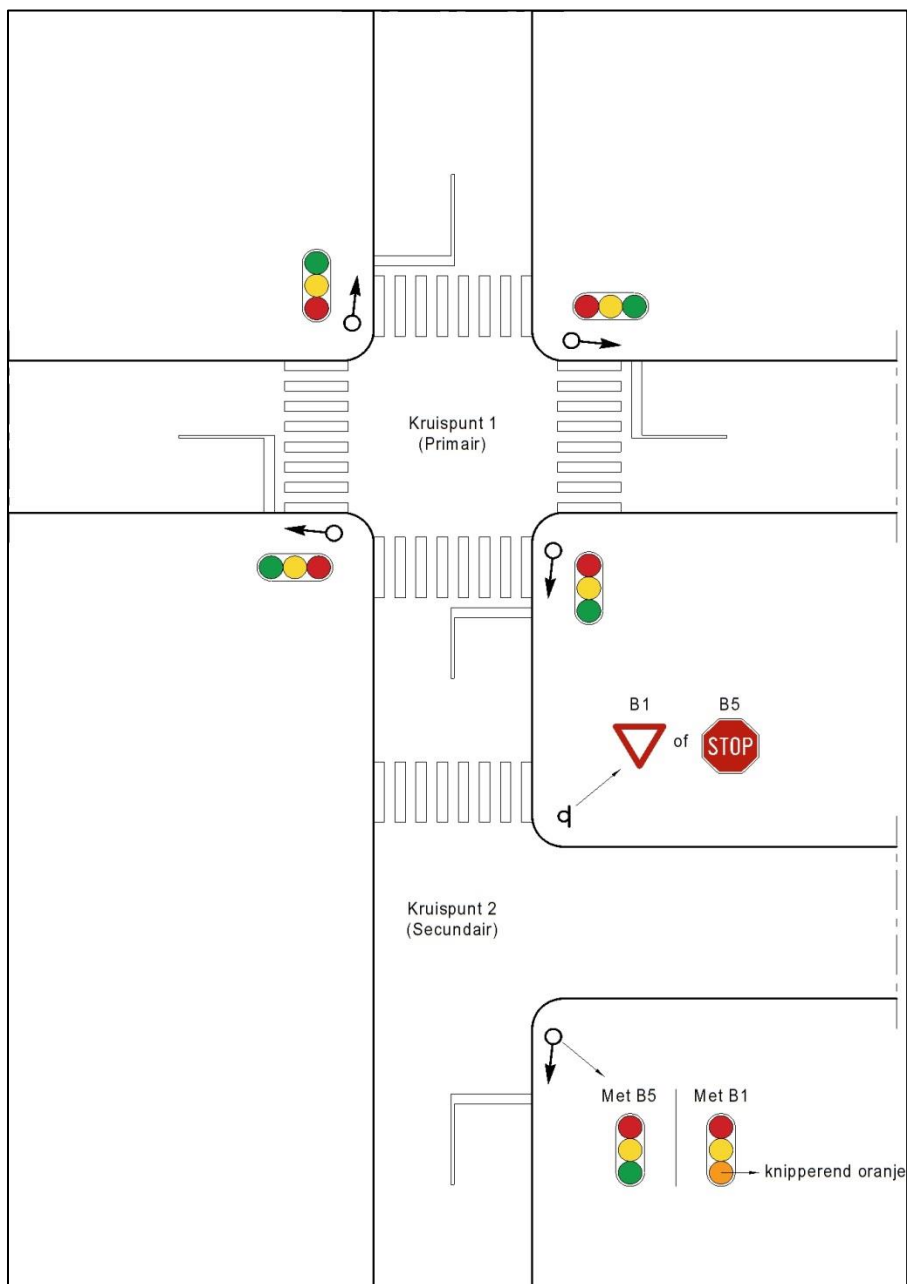
## 7.2 Steunlichten

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.

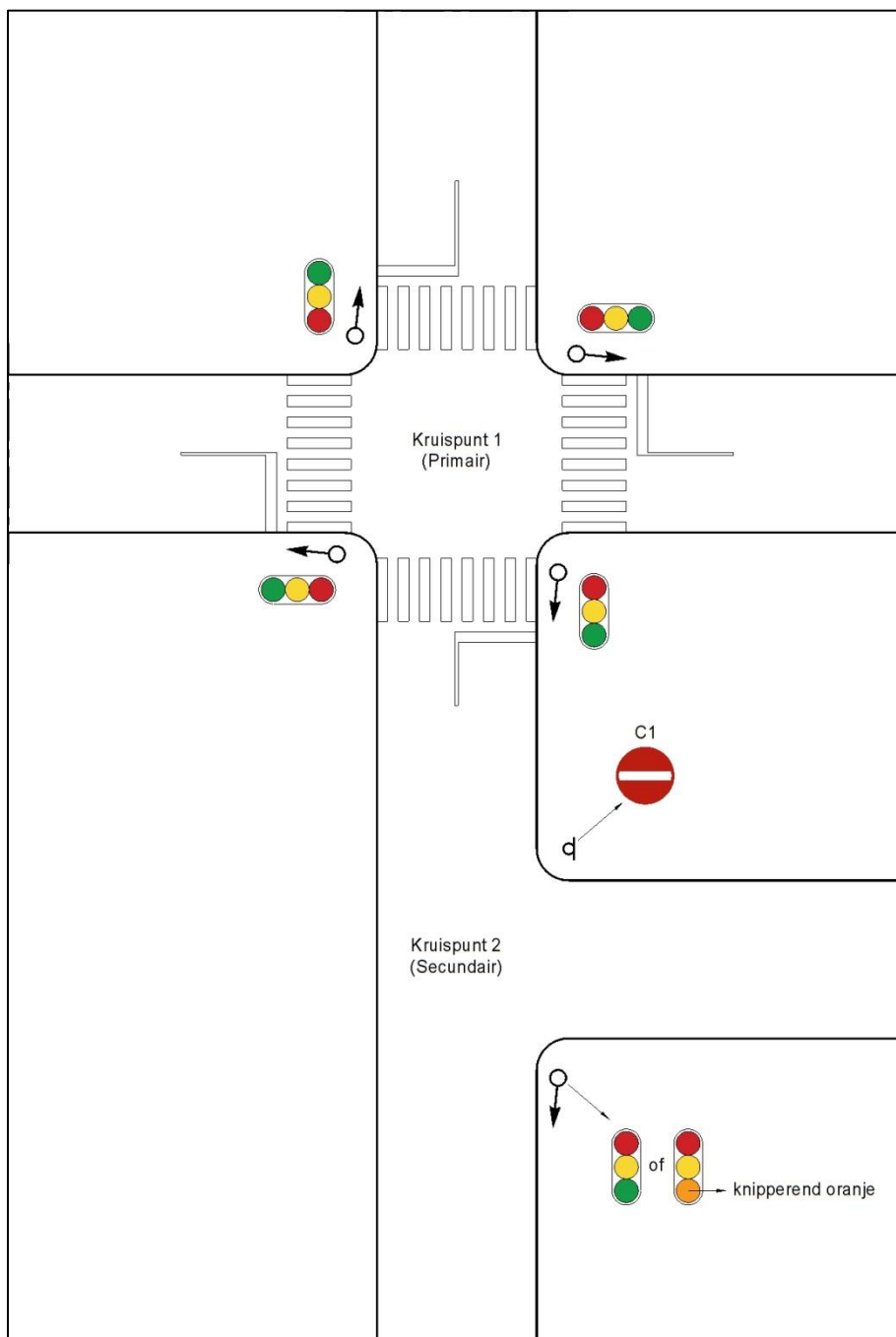
Deze regeling kan gebruikt worden om bv. het links afslaand verkeer vanaf het primaire kruispunt richting secundaire tak gemakkelijk te laten verlopen en zodoende te verhinderen dat het primaire kruispunt blokkeert. Een andere reden kan ook zijn om het verkeer vanaf de secundaire tak toe te laten de 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 134 en Figuur 135. De toegelaten afstand tussen de kruispunten is niet gespecificeerd in het verkeersreglement.

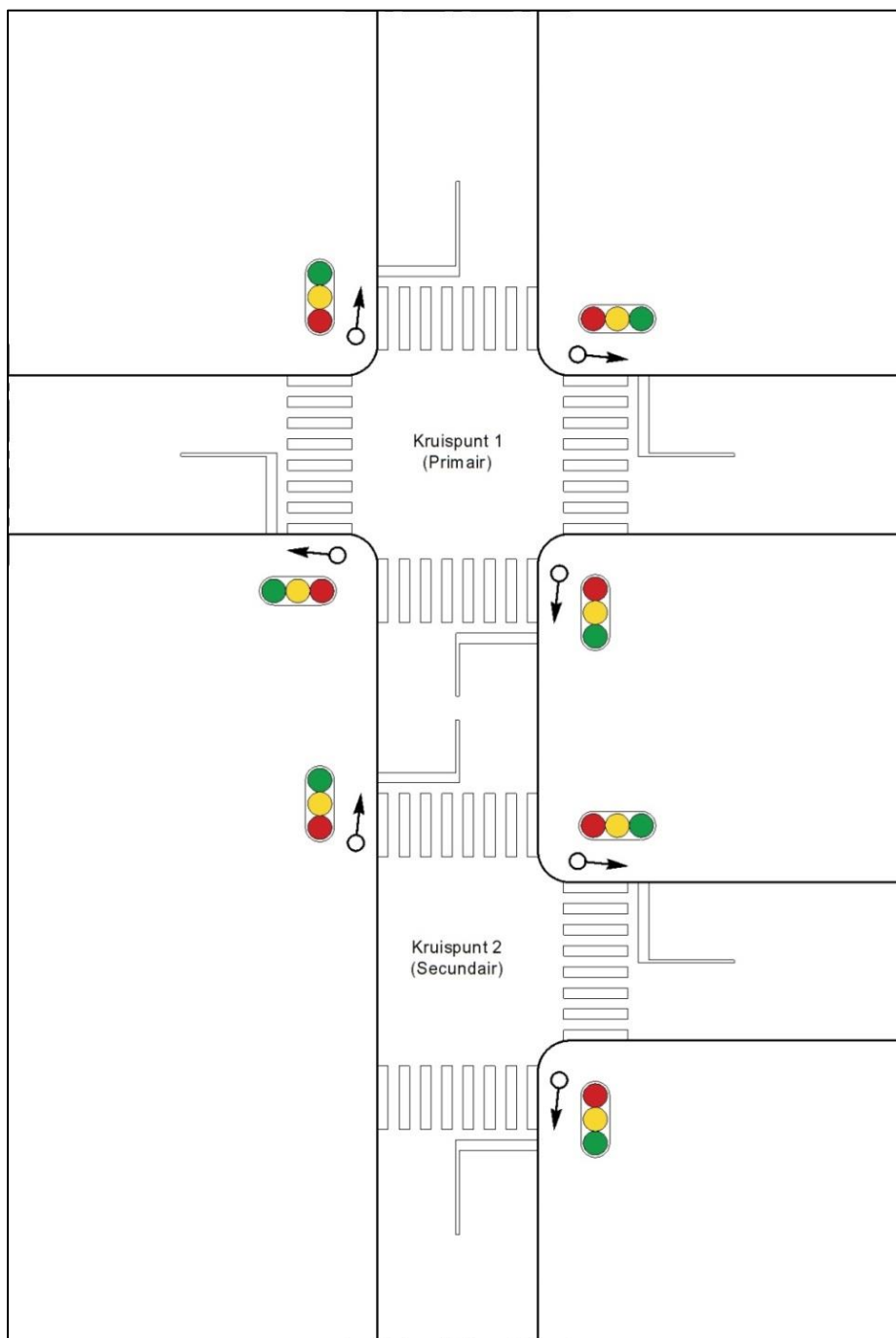
Uiteraard is het altijd mogelijk het nabijgelegen kruispunt volledig uit te rusten zoals in Figuur 136.



*Figuur 134 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 135 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 136 Het primaire en secundaire kruispunt zijn volledig uitgerust met driekleurige verkeerslichten*

## 7.3 Oranjegeel verkeersknipperlicht

Volgens artikel 64.1.3<sup>o</sup> 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<sup>o</sup> 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 tegenover 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 paragraaf 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

Sommige kruispunten liggen in de buurt van een spoorwegovergang. Het spreekt voor zich dat deze spoorwegovergang een sterke invloed uitoefent op het nabijgelegen kruispunt. Zo kan hij 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 kan de spoorwegovergang z.s.m. ontruimd worden en kunnen vervolgens andere rijstroken 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 éénrichtingsverkeer, 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 vanaf de inmelding van de trein kan opgevraagd worden bij Infrabel.

Op bepaalde kruispunten kan men binnen enkele (tientallen) meters na het passeren van een groen verkeerslicht, toch moeten wachten voor de rood-knipperende signalisatie door een naderende trein. Naar

aanleiding van klachten, meldingen of ongevallen vervangen we dan dat groen door oranjegeel-knipperen onderaan. Dat doen we ook preventief als we bij een overweg zonder spoorbomen een nieuwe of grondig aangepaste lichtenregeling ontwerpen.

## 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. In het geval dat de brug geopend moet worden, zal eerst een fictieve detector actief worden gemaakt, die het kruispunt en het brugdek 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 AWV bestaat er een brochure 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. (AWV, 1994) Deze brochure kan op [wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling](https://wegenverkeer.be/verkeerslichtenregeling) gedownload worden.

## 8 Bijlagen

### 8.1 Bronnenlijst

- Akçelik, R. (1981). ARRB Research report 123. *Traffic Signals, Capacity and Timing Analysis*.
- AVVG. (1991, juni 24). Bijlage 1 van Dienstorder A/266. *Richtwaarden, uit oogpunt van capaciteit, voor de plaatsing van verkeerslichten en toelichting hierbij*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Departement Leefmilieu en Infrastructuur.
- AWV. (1994, april 1). *Beurtelinge doorgang van het verkeer over 1 rijstrook bij werken. Regeling met verkeerslichten*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/verkeerslichtenregeling>
- AWV. (2010). *Ontwerp verkeerslichtenregelingen*.
- AWV. (2012). Dienstorder MOW/AWV/2012/5. *Inplanting en inrichting van halteplaatsen voor openbaar vervoer langs gewestwegen*.
- AWV. (2017). Dienstorder MOW/AWV/2017/6. *Gekleurde wegoppervlakken voor fietsvoorzieningen – fietsgeleiding op kruispunten*.
- AWV. (2019). *Algemene omzendbrief nopens de wegsignalisatie*.
- AWV. (2020). *Vademecum vergevingsgezinde wegen (VVW)*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/vergevingsgezinde-wegen>
- AWV. (2022, april 21). Dienstorder MOW/AWV/2022/3. *Oprijzicht op kruispunten*.
- AWV. (2023, oktober). *Brochure Basisprincipes inrichting robuust wegennet: Regionale wegen & Interlokale wegen*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/basisprincipes-inrichting-en-snelheid>
- AWV. (2023, september 26). Dienstorder MOW/AWV/2023/11. *Plaatsen van akoestische/auditieve signalisatie aan lichtengeregelde kruispunten*.
- AWV. (2024, september 1). *Vademecum weginfrastructuur, deel Vlaamse hoofdwegen*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/weginfrastructuur>
- AWV. (2026, april). *Vademecum toegankelijke voetgangersvoorzieningen*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/voetgangers>
- AWV en Fietsberaad Vlaanderen. (2024, september). *Vademecum fietsvoorzieningen - Versie 1.1*. Opgehaald van <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/vademecum-fietsvoorzieningen>
- Besluit VR. (2024, juli 19). *Besluit van de Vlaamse Regering van 19 juli 2024 tot vaststelling van het Vlaams verkeersreglement*.
- CROW. (2014). *Handboek verkeerslichtenregelingen, publicatie 343*.
- CROW. (2016). *Onderzoeksrapport naar de opstelcapaciteit en afrijcapaciteit van fietspaden bij geregelde kruispunten*.
- CROW. (2022). *Handboek verkeerslichtenregelingen 2022*.
- Departement MOW en AWV. (2022, december). *Afwegingskader voor conflictvrij regelen in Vlaanderen*. Opgehaald van <https://www.vlaanderen.be/mobiliteit-en-openbare-werken/verkeer/afwegingskader-voor-conflictvrij-regelen-in-vlaanderen>

- DTV Consultants i.o.v. CROW-Fietsberaad. (2016). *Capaciteit fietspaden bij VRI's - Data-analyse, richtlijnen en handvatten*. Opgehaald van <https://fietsberaad.nl/Kennisbank/Eindrapport-Capaciteit-fietspaden-bij-VRI's>
- IVER. (2002). IVER stuk 02-01. *Detectieconfiguratie – Signaalgroepafwikkeling*.
- KB. (1975, december 1). *Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg ("het verkeersreglement")*.
- KB. (1976, september 15). *Koninklijk besluit houdende reglement op de politie van personenvervoer per tram, pre-metro, metro, autobus en autocar*. Opgehaald van <https://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/1976/09/15/1976091502/justel>
- KB. (2024, juni 3). *Koninklijk besluit van 3 juni 2024 betreffende de Code van de openbare weg*.
- MB. (1976, oktober 11). *Ministerieel besluit houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens ("het reglement voor de wegbeheerder")*.
- Ministerie van Openbare Werken en Verkeer. (1990, september 20). *Ministeriële omzendbrief "Voetgangerslichten"*.
- SWOV. (2022, juni 22). *Rotondes en andere kruispunten*. Opgehaald van <https://swov.nl/nl/factsheet/rotondes-en-andere-kruispunten>
- VIAS. (2022, september 30). *Evaluatie "Actieplan Verkeerslichten" naar verkeersveiligheidseffecten - Eindrapport*. Opgehaald van [https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1664375651/Rapport\\_VKL\\_v3\\_final\\_lrwvyo.pdf](https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1664375651/Rapport_VKL_v3_final_lrwvyo.pdf)
- VIAS. (2024, november 30). *Effectevaluatie historische en dynamische gevaarlijke puntenlijst*. Opgehaald van <https://www.vlaanderen.be/mobiliteitsprofessionals/verkeersveiligheid/verkeersveiligheidsonderzoek/effectevaluatie-aanpak-gevaarlijke-punten>
- VVSG en AWV. (2023, februari). *Basisprincipes inrichting robuust wegennet: Ontsluitingswegen en erftoegangswegen*. Opgehaald van <https://www.vvsg.be/kennis/databank/wegencategorisering>
- Webster, F. (1958). *Traffic Signal Settings. Technical Paper No. 39*. London: Road Research Laboratory.

## 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 Wegbouw en de Verkeerstechniek (Nederland)
FOP	Fietsoversteekplaats
ITS	Intelligent transportsysteem
iVRI	Geconnecteerde (voorheen: intelligente) verkeersregelinstallatie
KAR	Korte-afstandsradio
KB	Koninklijk besluit
MB	Ministerieel besluit
MOW	Mobiliteit en Openbare Werken
OFOS	Opgeblazen fietsopstelstrook
OV	Openbaar vervoer
pae	Personenauto-equivalent
PCV	Provinciale Commissie Verkeersveiligheid
SREM	Service request extended message
TASS	Traffic Actuated Signal plan Selection
VLCC	Verkeerslichtencoördinatiecomputer
VOP	Voetgangersoversteekplaats
V-plan	Verkeerslichtenregelingsplan
VRI	Verkeersregelinstallatie