

# *Signaalgroepafwikkeling*



## *Detectieconfiguratie*

***Initiatiefgroep Verkeersregeltechnici Rijkswaterstaat en Provincies***

*IVER werkgroep "Signaalgroepafwikkeling"*

*IVER-stuk 02-01*

# Inleiding

In dit document is het resultaat weergegeven van de studie welke de werkgroep "Signaalgroepafwikkeling" van de IVER heeft uitgevoerd naar de signaalgroepafwikkeling en detectie bij verkeersregelininstallaties.

Naar aanleiding van de opdracht uit de IVER heeft de werkgroep de volgende taak geformuleerd:

**Het ontwikkelen van een richtlijn voor een standaard fasecyclusafwikkeling  
en het daarbij behorende detectieveld voor auto's en fietsers**

Dit document is verdeeld in de volgende hoofdstukken:

hoofdstuk 1 : Signaalgroepafwikkeling  
hoofdstuk 2 : Detectie-zones  
hoofdstuk 3 : Detectie-configuratie  
hoofdstuk 4 : Afweging tussen korte en lange lussen  
hoofdstuk 5 : Volgorde signaalgroepafwikkeling met detectie  
hoofdstuk 6 : Totale detectieconfiguratie  
hoofdstuk 7 : Conclusies

Als bijlagen zijn bijgevoegd:

- ▷ overwegingen bij de vormgeving van de koplus
- ▷ tabellen waarin de beslissingsafstanden zijn opgenomen om bij verkeerslichten tot stilstand te kunnen komen.

---

De werkgroep "Signaalgroepafwikkeling" is ingesteld tijdens de IVER-vergadering van 3-7-1997, en is sindsdien 15 maal bijeen geweest.

De samenstelling van de werkgroep is als volgt (geweest):

|                |                       |                      |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| Carla Siteur   | - RWS Noord-Brabant   |                      |
| Hans van Run   | - RWS Oost Nederland  | - tot augustus 1999  |
| Willem Mak     | - Prov. Noord Holland | - tot oktober 1998   |
| Jacques Mens   | - Prov. Noord-Brabant |                      |
| Puck van Liere | - Prov. Overijssel    | - vanaf oktober 1998 |

---

Op 31 mei 2000 is door de IVER het stuk 99-18 gepubliceerd.

In februari 2001 is door Grontmij een rapport gepubliceerd over de afwikkeling van het eerste deel van de wachtrij. Dit rapport is het resultaat van een onderzoek dat in opdracht van de IVER is uitgevoerd.

In maart 2001 is door Grontmij een aanvullend advies gepubliceerd waarin de uitgangspunten van IVER-stuk 99-18 worden getoetst aan het door Grontmij uitgevoerde onderzoek.

Binnen de IVER is afgesproken om het IVER-stuk 99-18 aan te passen naar aanleiding van het onderzoek en de toetsing.

De aanpassing van het stuk wordt uitgevoerd door:

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| Jacques Mens   | - Prov. Noord-Brabant |
| Leon van Vught | - Prov. Utrecht       |

Dit nieuwe IVER-stuk 02-01 is ter toetsing voorgelegd aan alle IVER-leden en definitief vastgesteld in de IVER vergadering van 31 januari 2002.

## Hoofdstuk 1: Signaalgroepafwikkeling

De signaalgroepafwikkeling is beschreven voor een aparte signaalgroep, zonder rekening te houden met invloeden van de regelstructuur op een kruispunt.

### Uitgangspunten:

1. Een signaalgroep wordt groen door de aanwezigheid van verkeer.
2. Een signaalgroep wordt rood door de afwezigheid van verkeer.
3. Groen worden of blijven zonder de aanwezigheid van verkeer is een optionele toestand die per fasecyclus moet worden gespecificeerd.
4. Rood worden of blijven bij aanwezigheid van verkeer is een optionele toestand die per fasecyclus moet worden gespecificeerd.
5. In de signaalgroepafwikkeling zijn alleen toestanden opgenomen die voor de verkeersafwikkeling nodig zijn. Er zijn geen toestanden opgenomen die gebruikt worden voor de interne procedure (blokafhandeling) van het verkeersregelprogramma. (bijvoorbeeld Recht\_op\_Groen).
6. Een wachtrij bestaat uit de wachtende rij voertuigen, welke tijdens de roodfase is opgebouwd, plus de voertuigen welke, tijdens groen, aan die wachtende rij aansluiten.  
Het verkeer dat deze wachtrij vormt moet, in principe, in één groenfase worden verwerkt. Dit om dubbele stops van voertuigen te voorkomen.
7. Optimalisatie van de verkeersregeling kan, afhankelijk van de uitgangspunten voor het gehele kruispunt, plaatsvinden door verlenggroen korter of langer te maken, of door extra groen toe te voegen.
8. De afwikkeling van de wachtrij gebeurt in twee gedeelten:
  - Het eerste deel van de wachtrij betreft verkeer dat de reactietijd moet overbruggen en met geringe snelheid (lager dan de ontruimingssnelheid) op gang komt en de stopstreep passeert.
  - Het tweede deel van de wachtrij rijdt en passeert de stopstreep met minimaal de ter plaatse geldende ontruimingssnelheid.
9. Beëindiging van het groen gebeurt op een veilige manier waarbij de dilemmazone wordt bewaakt.
10. Er is een mogelijkheid om, ten behoeve van het comfort voor de weggebruiker, of optimalisatie van de verkeersregeling, het einde van het groen uit te stellen.

**Signaalgroepafwikkeling:**

|    |      |      |    |      |     |      |     |      |    |     |
|----|------|------|----|------|-----|------|-----|------|----|-----|
| VG | VAG1 | VAG2 | WG | VAG3 | MVG | VAG4 | VGL | VAGL | WR | RVG |
|----|------|------|----|------|-----|------|-----|------|----|-----|

|                      |
|----------------------|
| Afwikkeling wachtrij |
|----------------------|

|                          |
|--------------------------|
| Comfort en optimalisatie |
|--------------------------|

|            |
|------------|
| Veiligheid |
|------------|

**VG: Vastgroen**

Minimum groen om de reactietijd te overbruggen en het verkeer op gang te brengen.  
De lengte van dit groen is bepaald door een vaste tijdsinstelling.  
(het VG moet minimaal zijn om onnodige verliestijd te voorkomen)

**VAG1: Eerste voertuigafhankelijk groen**

Groen voor afwikkeling van het eerste deel van de wachtrij.  
De lengte van dit groen is afhankelijk van de lengte van het eerste deel van de wachtrij en wordt begrensd door een maximum tijdsinstelling.

**VAG2: Tweede voertuigafhankelijk groen**

Groen voor afwikkeling van het tweede deel van de wachtrij.  
De lengte van dit groen is afhankelijk van de lengte van het tweede deel van de wachtrij en wordt begrensd door een maximum tijdsinstelling.

**WG: Wachtgroen (optioneel)**

Toestand van het groen als er geen conflictaanvragen zijn. De lengte van dit groen is niet afhankelijk van verkeer op de betreffende richting of van een tijdsinstelling.

**VAG3: Derde voertuigafhankelijk groen (optioneel)**

Groen voor optimalisatie van de verkeersregeling en voor een comfortabele beëindiging van de groenfase. De lengte van dit groen

- is afhankelijk van de aanwezigheid van verkeer in een meetgebied, t.b.v. de comfortabele beëindiging van de groenfase;
- is afhankelijk van interne programmeervoorwaarden voor optimalisatie van de verkeersregeling;
- wordt begrensd door een maximum tijdsinstelling.

**MVG: Meeverlengegroen (optioneel)**

Toestand van groen als er geen conflictrichting gerealiseerd kan worden.  
De lengte van dit groen is afhankelijk van de realisatiemogelijkheden van conflicterende richtingen en niet afhankelijk van een tijdsinstelling. Het MVG kan alleen eindigen als het garantiegroen is afgelopen.

**VAG4: Vierde voertuigafhankelijk groen**

Groen voor een veilige beëindiging van de groenfase.  
De lengte van dit groen is afhankelijk van de aanwezigheid van verkeer in een meetgebied en wordt begrensd door een maximum tijdsinstelling.

**VGL: Vast Geel**

De lengte van het vast geel is bepaald door een tijdsinstelling.

**VAGL: Voertuigafhankelijk Geel**

De lengte van het voertuigafhankelijk geel wordt bepaald door detectie-informatie.  
VAGL wordt in de signaalgroepafwikkeling (nog) niet gebruikt.  
Het VAGL kan alleen eindigen als de garantiegeeltijd is afgelopen.

**WR: Wachtrood**

Toestand van rood waarin de signaalgroep wacht op beurt én aanvraag.

**RVG: Rood voor groen**

Toestand van rood waarin wordt gewacht op het aflopen van de conflictontuimingstijden.  
Het Rood voor Groen kan alleen eindigen als het garantierood is afgelopen.

## Hoofdstuk 2: Detectie-zones

Om de signaalgroepafwikkeling te realiseren moet het verkeer worden gemeten.

Aan de hand van uitgangspunten en voorwaarden kunnen zones worden gedefinieerd waarin de meting van verkeer plaatsvindt. De meting kan op diverse manieren plaatsvinden: lusedetectie, videodetectie, infrarooddetectie, radardetectie, ultrasoondetectie etc.

In hoofdstuk 3 is bij de detectieconfiguraties uitgegaan van lusedetectie, omdat dat de meest gebruikte manier van meten is.

### Uitgangspunten:

- Er wordt van uitgegaan dat het laatste voertuig aan het einde van de 1<sup>e</sup> seconde geel de stopstreep passeert. Dit is de door-geel-rijtijd  $T_{ge}$ .
- De remvertraging (  $a$  ) voor "normaal" afremmende voertuigen is  $2,5 \text{ m/s}^2$ . (RONA)
- De geeltijd (  $GL$  ) moet minimaal 3 seconden zijn.
- Als hoogste snelheid ( $V_{max}$ ) wordt toegepast de ter plaatse geldende maximumsnelheid.  
Als laagste snelheid ( $V_{min}$ ) wordt toegepast de snelheid conform de CROW-ontruimingssnelheid.  
Het laatste voertuig van de wachtrij kan met deze snelheid het opstelvak en kruispunt verlaten.
  - bij 80 km/h rechtdoor  $V_{min} = 15 \text{ m/s}$
  - bij 70 km/h rechtdoor  $V_{min} = 15 \text{ m/s}$
  - bij 50 km/h rechtdoor  $V_{min} = 12 \text{ m/s}$
  - bij afslaand verkeer  $V_{min} = 8 \text{ m/s}$
- Voor de voertuiglengte wordt 5 m aangehouden (=personenauto). Voor langere voertuigen is de situatie in de praktijk altijd gunstiger.
- De lengte van een detectiezone is afhankelijk van de volgtijd van de voertuigen. Het groen moet gehandhaafd worden als het volgende voertuig nog in de detectiezone is. De volgtijd is afhankelijk van de capaciteit van de rijstrook.
  - capaciteit 1600 pae/h → volgtijd is 2,25 s
  - capaciteit 1800 pae/h → volgtijd is 2 s
  - capaciteit 2000 pae/h → volgtijd is 1,8 s

In de volgtijd moet een marge worden opgenomen omdat niet alle voertuigen op de theoretisch minimale afstand rijden. Wij gaan uit van een volgtijd ( $T_v$ ) van  $2\frac{1}{2}$  s (voorkant voertuig tot voorkant volgende voertuig). Voor voertuigen die in het eerste deel van groen gaan rijden wordt een langere volgtijd aangehouden. Voor rechtdoorgaand verkeer  $3\frac{1}{2}$  s en voor afslaand verkeer 4 s.
- Voor de reactietijden ( $T_r$ ) wordt uitgegaan van  $\frac{3}{4}$  s zoals is vermeld in het rapport "Verkeerslichten in het groen" van Cyril Cappendijk. Deze reactietijd geldt in het groen voor afwikkeling (VAG2) en voor comfort (VAG3) en in het veiligheidsgroen (VAG4).  
In het groen voor het eerste deel van de wachtrij (VAG1) wordt rekening gehouden met een reactietijd van  $1\frac{1}{2}$  s.
- Een veilige beëindiging van de groenfase gebeurt door groenverlenging t.g.v. meting van verkeer in de **dilemmazone**. Deze groenverlenging gebeurt in VAG4.
- Verhoging van het comfort bij beëindiging van de groenfase gebeurt door groenverlenging t.g.v. meting van verkeer in een te definiëren gebied: de **comfortzone**. Deze groenverlenging gebeurt in VAG3.

## Dilemmazone en Comfortzone

### Dilemmazone

De detectiezone waarin, ten behoeve van een veilige beëindiging van het groen, de voertuigen worden gemeten is de dilemmazone.

De dilemmazone is het gebied, waarin een automobilist, op het moment dat geel verschijnt, kan kiezen tussen doorrijden en stoppen.

In de rijrichting gezien begint dit gebied op het punt waarop de automobilist, mocht hij besluiten door te rijden, met de normale snelheid (80 km/h), precies bij het einde van geel de stopstreep passeert.

( 4 s geel x 22,2 m/s = 89 m)

Het gebied eindigt op het punt waarop de automobilist met de hoogste remvertraging ( 5 m/s<sup>2</sup>) niet meer kan stoppen vóór de stopstreep. ( 66 m ).

De beveiliging van de dilemmazone houdt in dat de overgang van groen naar geel pas plaatsvindt wanneer zich hoogstens één voertuig in dit gebied bevindt.

Voertuigen hebben een snelheid tussen de minimum- en maximum-waarde. Voor het begin van de dilemmazone moet rekening worden gehouden met de maximum-snelheid (22,2 m/s = 80 km/h). Voor het eind van de dilemmazone moet rekening worden gehouden met de minimum-snelheid (15 m/s = 54 km/h).

Bij 54 km/h en een remvertraging van 5 m/s<sup>2</sup> ligt het einde van de dilemmazone op 34 m vóór de stopstreep. De kans is klein dat een bestuurder bij deze lage snelheid nog zal besluiten om te stoppen door middel van een hoge remvertraging. Reëel is om bij deze lagere snelheid niet uit te gaan van een remvertraging van 5 m/s<sup>2</sup>, maar bijvoorbeeld van de wettelijk vereiste remvertraging van 3,86 m/s<sup>2</sup>. Het einde van de dilemmazone ligt dan op 40 m.

De dilemmazone bestrijkt daardoor het gebied van 89 tot 40 m vóór de stopstreep.

### Comfortzone

Vóór de dilemmazone ligt nog een gebied, waarin de automobilist harder dan comfortabel (2,5 m/s<sup>2</sup>), maar nog minder hard dan wettelijk vereist (3,86 m/s<sup>2</sup>), moet remmen om, bij het verschijnen van geel, vóór de stopstreep tot stilstand te komen. Dit is de comfortzone.

### Berekening

De beslispunten worden berekend met de formule:

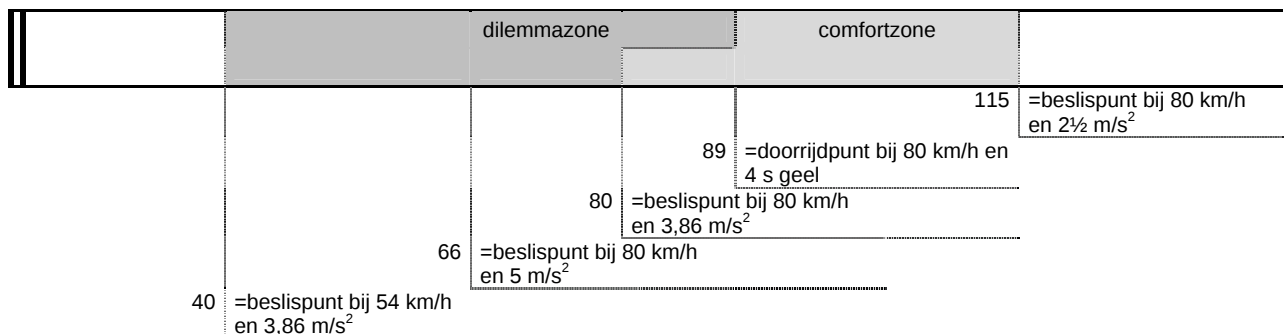
$$\text{Afstand tot stopstreep} = S = (T_r \cdot V) + \frac{V^2}{2 \cdot a}$$

Hierin is:

snelheid  $V = \dots$  m/s

reactietijd  $T_r = \frac{3}{4}$  s

remvertraging  $a = \dots$  m/s<sup>2</sup>



**Detectiezone-2 t.b.v. VAG2**

Het einde van groen wordt voertuigafhankelijk bepaald. Het laatste voertuig van een rijdende rij bepaalt op welk moment wordt overgegaan van groen naar geel. Dit voertuig zal meestal voorkomen in het tweede deel van de wachtrij.

Vandaar dat eerst de lengte en plaats van detectiezone-2 voor het VAG2 worden bepaald.

Er wordt uitgegaan van het volgende:

|                   |                                 |
|-------------------|---------------------------------|
| snelheid          | $V_{\max} = 22,2 \text{ m/s}$   |
|                   | $V_{\min} = 15 \text{ m/s}$     |
| voertuiglengte    | $L_{\text{auto}} = 5 \text{ m}$ |
| volgtijd          | $T_v = 2\frac{1}{2} \text{ s}$  |
| door-geel-rijtijd | $T_{\text{ge}} = 1 \text{ s}$   |

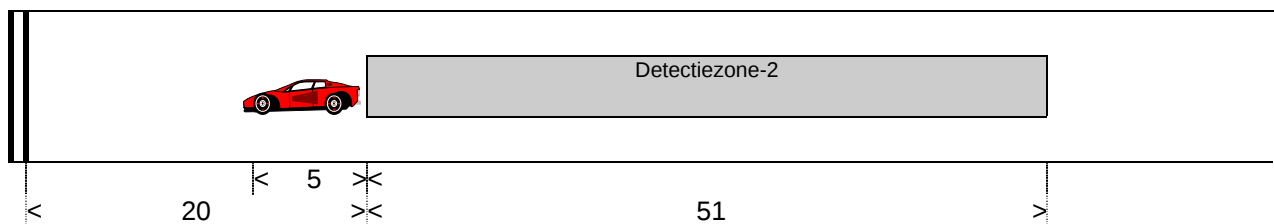
De lengte van detectiezone-2 wordt dan:

$$L_{\text{det2}} = T_v \cdot V_{\max} - L_{\text{auto}} = 2\frac{1}{2} \cdot 22,2 - 5 = 51 \text{ m}$$

De afstand van dit gebied tot de stopstreep is:

$$D_{\text{det2}} = T_{\text{ge}} \cdot V_{\min} + L_{\text{auto}} = 1 \cdot 15 + 5 = 20 \text{ m}$$

Grafisch ziet dat er als volgt uit:



Na het verlaten van detectiezone-2 rijdt de auto tijdens geel naar de stopstreep. Aan het einde van de 1<sup>e</sup> seconde geel (na 15 m bij een snelheid van 15 m/s) passeert de voorkant van de auto de stopstreep.

## Bepaling lengte van het VAG1

Het verkeer tussen de stopstreep en detectiezone-2 (20 m) moet in groen de stopstreep kunnen passeren. Bij een voertuiglengte van 5 m staan in dit gebied 4 auto's.

Rekenen aan detectiezone-1 en de lengte van het VAG1 is moeilijk omdat niet precies bekend is hoe dit verkeer zich gedraagt. (snelheid; volgtijd; reactietijd).

In verband met het langzaam optrekken en weggrijden wordt hier rekening gehouden met een langere volgtijd van  $T_v = 3\frac{1}{2}$  s (rechtdoorgaand verkeer) of 4 s (afslaand verkeer).

Wij gaan uit van het volgende:

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| lengte detectiezone-1: | $L_{det1} = 20$ m           |
| voertuiglengte         | $L_{auto} = 5$ m            |
| volgtijd               | $T_v = 3\frac{1}{2}$ of 4 s |
| door-geel-rijtijd      | $T_{ge} = 1$ s              |
| reactietijd            | $T_r = 1\frac{1}{2}$ s      |

Om de voertuigen in dit gebied te laten afrijden is een vastgroentijd nodig van:

$$(L_{det1} / L_{auto}) \cdot T_v - T_{ge} + T_r = (20 / 5) \cdot 3\frac{1}{2} - 1 + 1\frac{1}{2} = 14\frac{1}{2} \text{ s. (rechtdoorgaand verkeer)}$$

$$16\frac{1}{2} \text{ s. (afslaand verkeer)}$$

N.B. het rapport van Grontmij adviseert een maximale tijd van 18,3 s.

Bij toepassing van een vastgroentijd wordt deze tijd ook gemaakt als er maar één voertuig voor de stopstreep staat. Voor dit voertuig is een vastgroentijd nodig van  $1 \cdot T_v - T_{ge} + T_r = 3\frac{1}{2} - 1 + 1\frac{1}{2} = 4$  s. In dit geval is de vastgroentijd 10 tot 12 seconden te lang. Dit veroorzaakt grote verliezen in de verkeersregeling.

Om verlies te beperken is het wenselijk de groentijd voor de voertuigen tussen de stopstreep en detectiezone-2 ook voertuigafhankelijk te maken. Dit is het VAG1. Dit VAG1 heeft een beperkte lengte, want alleen de eerste 4 voertuigen behoeven te worden afgewerkt.

In het Grontmij rapport wordt aangegeven dat het VAG1 twee functies kan hebben:

- verwerken van de 4 voertuigen die in detectiezone 1 staan opgesteld
- verwerken van de voertuigen die afrijden met een snelheid lager dan de ontruimingssnelheid (3 tot 8 voertuigen)

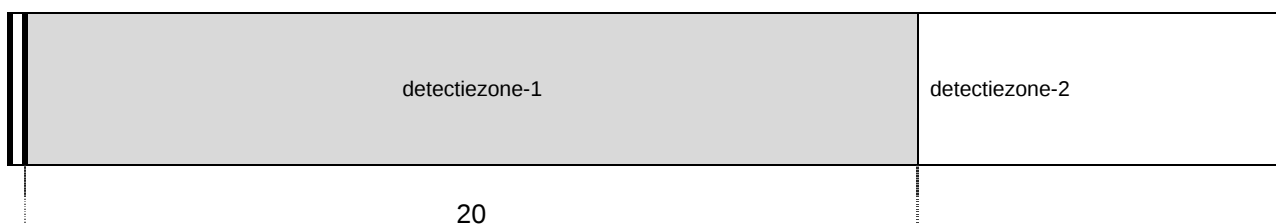
De lengte van het VAG1, vanaf start groen, is gelijk aan de hiervoor berekende vastgroentijd:

$T_{VAG1} = 14$  tot  $17$  s.

Als wordt gekozen voor de verwerking van alle voertuigen met een lagere snelheid dan de ontruimingssnelheid moet  $T_{VAG1}$  worden ingesteld tussen 10 en 20 s.

## Detectiezone-1 t.b.v. VAG1

Detectiezone-1 is het gebied tussen detectiezone-2 en de stopstreep.



## Hoofdstuk 3: Detectieconfiguratie

Met de hierboven beschreven uitgangspunten en voorwaarden is vorm gegeven aan de inrichting van de detectiezones met detectiegebieden.

Een detectiezone is een ruimte op een rijstrook waarin verkeer moet worden gemeten.

Een detectiegebied is de feitelijke inrichting van die ruimte met detectielussen of dergelijke.

De ideale situatie wordt bereikt als een detectiegebied bestaat uit (een) lange lus(sen) met een hiaattijd van 0 seconden. In dat geval is het detecteren van verkeer in een zone niet afhankelijk van lengte, snelheid en volgtijd.

De volgende detectiegebieden zijn gebaseerd op een maximumsnelheid van 22,2 m/s, een minimumsnelheid van 15 m/s en een geeltijd van 4 s.

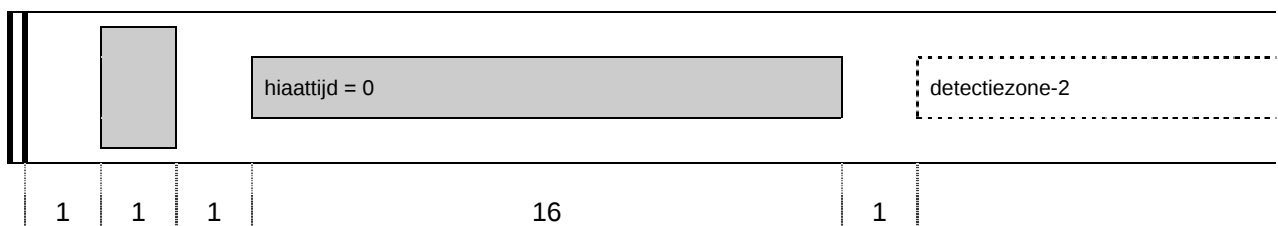
### Detectiegebied-1 t.b.v. VAG1

Dit detectiegebied beslaat het weggedeelte van 0 tot 20 m vóór de stopstreep.

Het verkeer wordt gemeten om het VAG1 te kunnen verlengen tot maximaal 18 s.

Ook moet de detectie in dit gebied verkeer meten t.b.v. een groen-aanvraag. Voor motoren houdt dit in een detectie over de volle breedte van de rijstrook. De ruimte tussen het meldgebied en de stopstreep moet zo klein zijn dat hierin geen voertuig kan worden opgesteld.

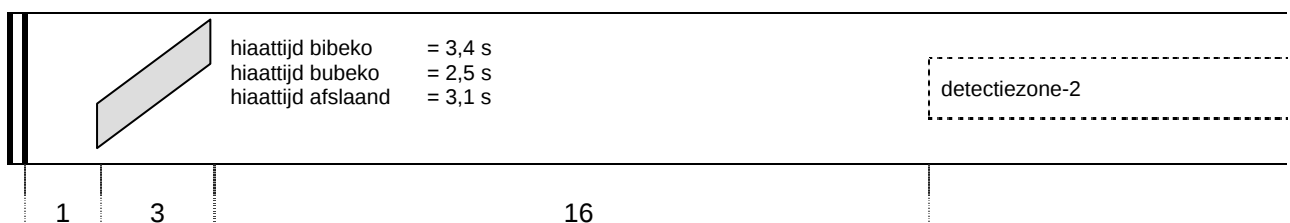
Detectiegebied-1 ziet er dan als volgt uit:



Lange lussen zijn gevoelig voor storingen, zeker in het gebied vlak voor de stopstreep. Het vervangen is een kostbare zaak. Veel wegbeheerders kiezen liever voor korte lussen. Detectiegebied-1 kan ook worden ingericht met één korte lus. De eisen voor deze lus zijn:

- Dicht bij de stopstreep, zodat geen voertuig tussen lus en stopstreep kan staan;
- Over de volle breedte van de rijstrook i.v.m. melding motoren;
- Klein oppervlak i.v.m. gevoeligheid voor motoren.

Een praktisch detectiegebied-1 ziet er dan als volgt uit:

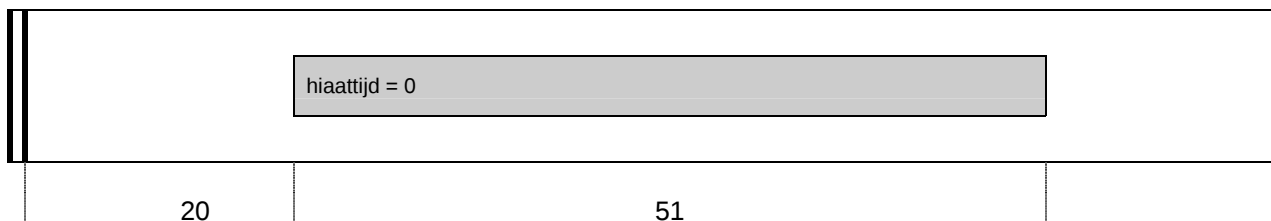


Een lengte van 3 m wordt toegepast om meer zekerheid te hebben dat het eerste voertuig, ten behoeve van een groen-aanvraag, op de detectielus tot stilstand komt.

De richting van de schuine lus moet zodanig worden gekozen dat de situatie optimaal is voor motorrijders. De in te stellen hiaattijd is moeilijk te bepalen. Van belang hierbij zijn volgtijd, snelheid en reactietijd. Het verkeersgedrag inzake deze parameters is echter niet precies bekend. In de tekening zijn de hiaattijden aangegeven uit het Grontmij-rapport. Het is wenselijk een zo kort mogelijke hiaattijd in te stellen. Daarom is het aan te bevelen deze waarde proefondervindelijk te bepalen.

### Detectiegebied-2 t.b.v. VAG2

Dit detectiegebied beslaat het weggedeelte van 20 tot 71 m vóór de stopstreep. Het verkeer wordt gemeten om het VAG2 te kunnen verlengen tot de ingestelde maximum groentijd. De detectie in dit gebied kan ook worden gebruikt voor het meten van verkeer t.b.v. een groen-aanvraag. Detectiegebied-2 ziet er dan als volgt uit:



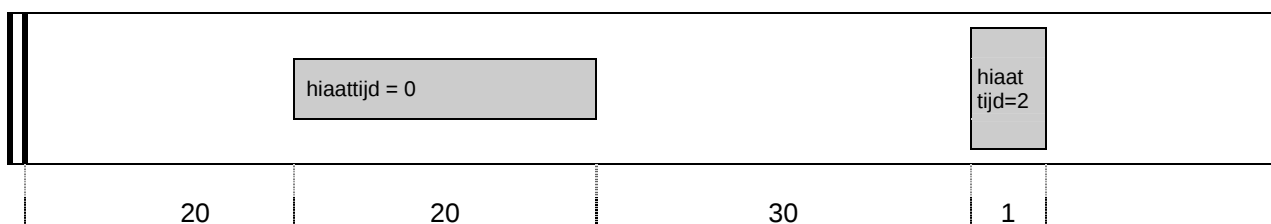
Lange lussen zijn gevoelig voor storingen. Het vervangen is een kostbare zaak. Veel wegbeheerders kiezen liever voor kortere lussen. Detectiezone-2 kan ook worden ingericht met twee lussen.

Als wordt gekozen voor het afwikkelen in VAG1 van uitsluitend de voertuigen uit detectiezone 1, moet de eerste lus van detectiegebied-2 aansluiten aan detectiezone-1, omdat anders de grens van detectiezone-1 niet meer is gedefinieerd.

Als wordt gekozen voor het afwikkelen in VAG1 van alle voertuigen met een snelheid lager dan de ontruimingssnelheid, is een scherpe afbakening tussen detectiezone 1 en detectiezone 2 niet nodig. Een lange lus in detectiezone 2 blijft toch wenselijk om te kunnen verlengen na met maximum van VAG1 bij een voertuigsnelheid lager dan de ontruimingssnelheid. Er kan dan worden verlengd onafhankelijk van snelheid, lente en volgtijd. Dit kan nuttig zijn bij veel vrachtverkeer, een spoorwegovergang, drukke stedelijke situaties e.d.

De tweede lus van detectiegebied-2 kan ook als korte lus worden uitgevoerd. Bijkomend voordeel hiervan is dat motoren ook hier kunnen worden gemeld.

Een praktisch detectiegebied-2 ziet er dan als volgt uit:



De lengte van de lange lus is afhankelijk van de wensen van de wegbeheerder. De ruimte tussen de lange en de korte lus bepaalt de lengte van de hiaattijd voor de korte lus.

**Detectiegebied t.b.v. de dilemmazone (VAG4)**

De dilemmazone beslaat het weggedeelte van 40 tot 89 m vóór de stopstreep.

Het verkeer in dit detectiegebied wordt gemeten om het veiligheidsgroen VAG4 te kunnen verlengen tot het ingestelde maximum. De detectie kan worden uitgevoerd met één korte lus op 89 m vóór de stopstreep.

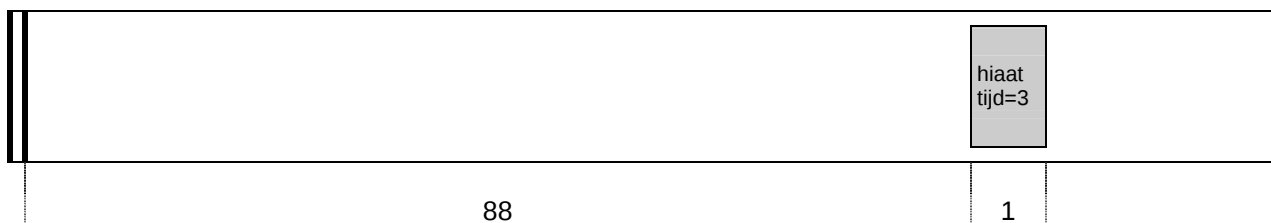
Bij de volgende uitgangspunten:

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| lengte dilemmazone | $L_{\text{dilemma}} = 49 \text{ m}$ |
| voertuiglengte     | $L_{\text{auto}} = 5 \text{ m}$     |
| luslengte          | $L_{\text{lus}} = 1 \text{ m}$      |
| snelheid           | $V = 15 \text{ m/s}$                |

moet een hiaattijd worden ingesteld van:

$$(L_{\text{dilemma}} - L_{\text{auto}} - L_{\text{lus}}) / V = (49 - 5 - 1) / 15 = 3 \text{ s.}$$

De detectie in dit gebied kan ook worden gebruikt voor het meten van verkeer t.b.v. een groen-aanvraag. De detectie van de dilemmazone ziet er dan als volgt uit:



Als een voertuig als laatste het groen in VAG4 verlengt, gaat het licht voor dit voertuig van groen naar geel op een afstand vóór de stopstreep van:

$$S = 88 - (\text{hiaattijd} \cdot V) - L_{\text{auto}}$$

Bij een snelheid van 15 m/s (54 km/h) en een hiaattijd van 3 s is deze afstand 38 m.

Dit voertuig kan doorrijden, en passeert de stopstreep dan na 2½ s geel.

Dit voertuig kan ook stoppen en tot stilstand komen vóór de stopstreep bij een remvertraging van 4,25 m/s<sup>2</sup>.

Bij een snelheid van 22,2 m/s (80 km/h) en een hiaattijd van 3 s is deze afstand 16,4 m.

Dit voertuig kan doorrijden, en passeert de stopstreep dan na ¾ s geel.

Dit voertuig kan proberen te stoppen en tot stilstand te komen vóór de stopstreep. Binnen de reactietijd is dit voertuig echter al de stopstreep gepasseerd. Dit voertuig zal dus niet stoppen.

### Detectiegebied t.b.v. de comfortzone (VAG3)

De comfortzone bestaat uit het gedeelte van 80 tot 115 m vóór de stopstreep.

Het verkeer in dit detectiegebied wordt gemeten om het groen VAG3 te kunnen verlengen tot het ingestelde maximum. Hierdoor wordt bereikt dat vrij aanrijdend verkeer niet hoeft te gaan remmen met een remvertraging groter dan  $2\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ . De detectie kan worden uitgevoerd met één korte lus op 115 m voor de stopstreep.

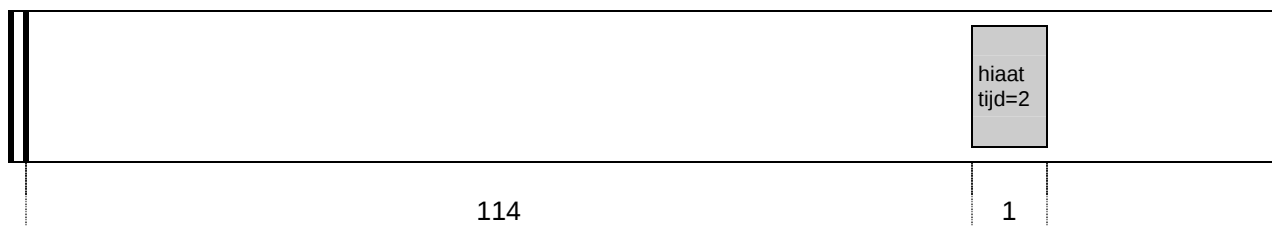
Bij de volgende uitgangspunten:

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| lengte comfortzone | $L_{\text{comfort}} = 35 \text{ m}$ |
| voertuiglengte     | $L_{\text{auto}} = 5 \text{ m}$     |
| luslengte          | $L_{\text{lus}} = 1 \text{ m}$      |
| snelheid           | $V = 15 \text{ m/s}$                |

moet een hiaattijd worden ingesteld van:

$$(L_{\text{comfort}} - L_{\text{auto}} - L_{\text{lus}}) / V = (35 - 5 - 1) / 15 = 2 \text{ s.}$$

De detectie in dit gebied kan ook worden gebruikt voor het meten van verkeer t.b.v. een groen-aanvraag. De detectie van de comfortzone ziet er dan als volgt uit:



## Hoofdstuk 4: Lange lussen of korte lussen

Zowel lange als korte lussen hebben enkele voor- en nadelen.

De voor- en nadelen zijn voor toepassing in de detectiezones 1 en 2 niet gelijk.

De keus tussen lang of kort wordt bepaald door de mate waarin een wegbeheerder de nadelen van een type lus accepteert.

In detectiezone-1 zijn de voor- en nadelen als volgt:

| Korte lussen |                                                          | Lange lussen |                                                            |
|--------------|----------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------|
| Voordelen    | Relatief goedkoop bij aanleg en onderhoud                | Nadelen      | Relatief duur bij aanleg en onderhoud                      |
|              | Minder storingsgevoelig dan een lange lus                |              | Meer storingsgevoelig dan een korte lus                    |
|              | Mogelijkheid om verkeer te tellen                        |              | Geen mogelijkheden om verkeer te tellen                    |
| Nadelen      | Detectie is afhankelijk van lengte, snelheid en volgtijd | Voordelen    | Detectie is onafhankelijk van lengte, snelheid en volgtijd |
|              | Geen scherpe afbakening van een detectiezone             |              | Scherpe afbakening van een detectiezone                    |
|              | Verliestijden door hiaatmeting                           |              | Geen verliestijden door hiaatmeting                        |

In detectiezone-2 zijn de voor- en nadelen als volgt:

| Korte lussen |                                                          | Lange lussen |                                                            |
|--------------|----------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------|
| Voordelen    | Relatief goedkoop bij aanleg en onderhoud                | Nadelen      | Relatief duur bij aanleg en onderhoud                      |
|              | Minder storingsgevoelig dan een lange lus                |              | Meer storingsgevoelig dan een korte lus                    |
|              |                                                          |              |                                                            |
| Nadelen      | Detectie is afhankelijk van lengte, snelheid en volgtijd | Voordelen    | Detectie is onafhankelijk van lengte, snelheid en volgtijd |
|              | Geen scherpe afbakening van een detectiezone             |              | Scherpe afbakening van een detectiezone                    |
|              |                                                          |              |                                                            |

## Hoofdstuk 5:

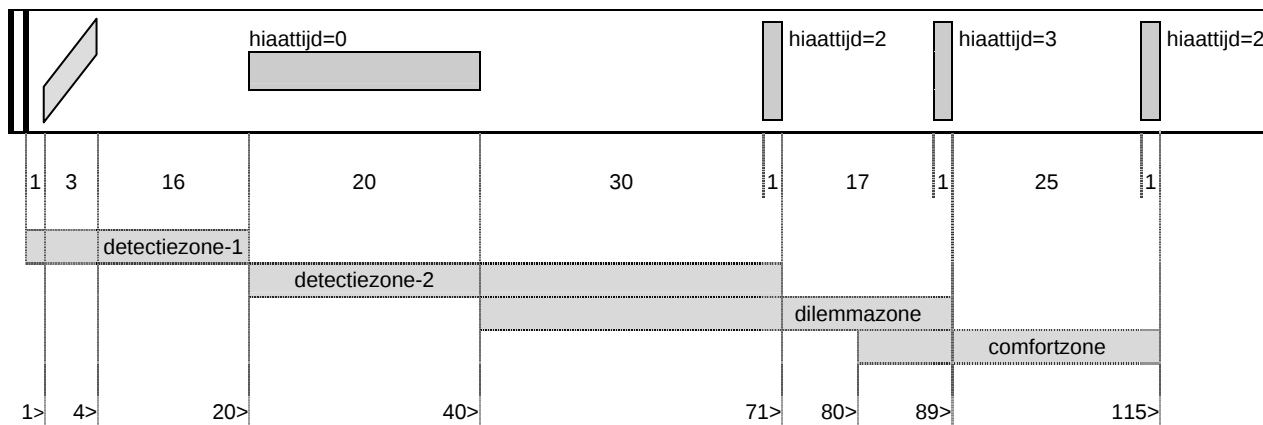
### Volgorde signaalgroepafwikkeling met detectie

Het doorlopen van de signaalgroepafwikkeling gebeurt in de volgende volgorde:

- 1 Bij start groen starten de volgende tijdmetingen:
  - vastgroen.....  $T_{VG}$
  - 1<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen (VAG1).....  $T_{VAG1}$
  - 2<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen (VAG2).....  $T_{VAG2}$
 Vanaf start groen blijft de signaalgroep gedurende  $T_{VG}$  in vastgroen.
- 2 De signaalgroep komt in het 1<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen (VAG1).  
Vanaf het einde van vastgroen (VG) wordt de informatie van detectiegebied-1 gebruikt voor het verlengen van VAG1.
- 3 Bij het bereiken van het maximum van  $T_{VAG1}$  of een hiaat in detectiegebied-1 eindigt het 1<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen en wordt detectiegebied-1 afgesloten. (= einde VAG1)
- 4 De signaalgroep komt in het 2<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen (VAG2).  
Vanaf het einde van VAG1 wordt de informatie van detectiegebied-2 gebruikt voor het verlengen van VAG2.
- 5 Bij het bereiken van het maximum van  $T_{VAG2}$  of een hiaat in detectiegebied-2 eindigt het 2<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen en wordt detectiegebied-2 afgesloten. (= einde VAG2)
- 6 De signaalgroep komt in wachtgroen (WG).  
Indien van toepassing en de juiste voorwaarden gelden blijft de signaalgroep in wachtgroen.
- 7 De signaalgroep komt in het 3<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen (VAG3 = comfortgroen).  
Op het einde van wachtgroen start de tijdmeting van het comfortgroen  $T_{VAG3}$ .  
Vanaf het einde van wachtgroen wordt de informatie van detectiegebied-3 gebruikt voor het verlengen van VAG3.
- 8 Bij het bereiken van het maximum van  $T_{VAG3}$  of een hiaat in detectiegebied-3 eindigt het 3<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen en wordt detectiegebied-3 afgesloten. (= einde VAG3)
- 9 De signaalgroep komt in meeverlenggroen (MVG).  
Indien van toepassing en de juiste voorwaarden gelden blijft de signaalgroep in meeverlenggroen.
- 10 De signaalgroep komt in het 4<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen (VAG4 = veiligheidsgroen).  
Na het einde van meeverlenggroen, en bij de aanwezigheid van een aanvraag voor een conflicterende signaalgroep, start de tijdmeting van het veiligheidsgroen  $T_{VAG4}$ .  
Vanaf het einde van meeverlenggroen wordt de informatie van detectiegebied-4 gebruikt voor het verlengen van VAG4.
- 11 Bij het bereiken van het maximum van  $T_{VAG4}$  of een hiaat in detectiegebied-4 eindigt het 4<sup>e</sup> voertuigafhankelijk groen en wordt detectiegebied-4 afgesloten. (= einde VAG4)
- 12 De signaalgroep gaat naar geel en blijft gedurende  $T_{GL}$  in geel.
- 13 De signaalgroep gaat naar rood en alle detectiegebieden worden geopend.  
De signaalgroep blijft in wachtrood (WR)
- 14 Zodra de signaalgroep volgens de regelstructuur een beurt heeft én er is een aanvraag dan komt de signaalgroep in Rood-voor-Groen (RVG).
- 15 Als de ontruimingstijden van de conflicterende signaalgroepen zijn afgelopen gaat de signaalgroep naar groen.

## Hoofdstuk 6: Totale detectieconfiguratie

Bij samenstelling van de diverse detectiezones ziet de totale detectieconfiguratie er als volgt uit:



Alle lussen hebben een meld- en een verlengfunctie.

De maximumsnelheid is 80 km/h = 22,2 m/s.

De minimumsnelheid is 54 km/h = 15 m/s.

Als de berekeningen worden uitgevoerd voor een weg met een maximumsnelheid van 50 km/h geeft dit de volgende resultaten.

Uitgangspunten:

|                              |                                                     |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Maximumsnelheid:             | 50 km/h = 13,9 m/s                                  |
| Minimumsnelheid:             | 44 km/h = 12 m/s (conform CROW ontruimingssnelheid) |
| Door-geel-rijtijd $T_{ge}$ : | 1 s.                                                |
| Normale remvertraging:       | $2\frac{1}{2}$ m/s <sup>2</sup>                     |
| Geeltijd:                    | 3 s.                                                |
| Voertuiglengte $L_{auto}$ :  | 5 m.                                                |
| Normale volgtijd $T_v$ :     | $2\frac{1}{2}$ s.                                   |
| Volgtijd in gebied VAG1:     | $3\frac{1}{2}$ à 4 s.                               |
| Reactietijd $T_r$ :          | $1\frac{1}{2}$ s.                                   |

De lengte van detectiezone-2 wordt dan:

$$L_{det2} = T_v \cdot V_{max} - L_{auto} = 2,5 \cdot 13,9 - 5 = 30 \text{ m}$$

De afstand van dit gebied tot de stopstreep is:

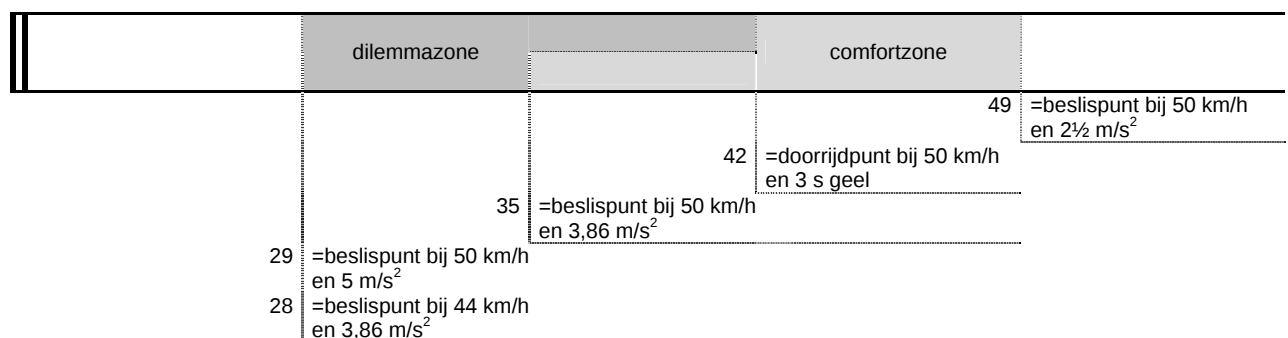
$$D_{det2} = T_{ge} \cdot V_{min} + L_{auto} = 1 \cdot 12 + 5 = 17 \text{ m}$$

De lengte van het VAG1 is dan:

$$(L_{det1} / L_{auto}) \cdot T_v - T_{ge} + T_r = (17 / 5) \cdot 3\frac{1}{2} - 1 + 1\frac{1}{2} = 12,5 \text{ s}$$

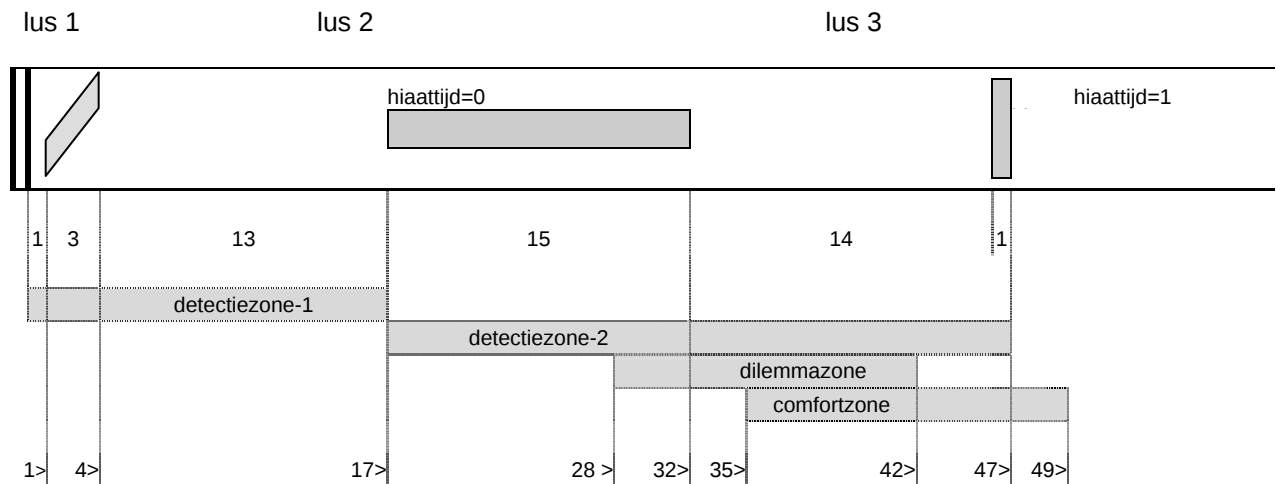
(bij 4 s volgtijd is de lengte van VAG1 14 s)

De plaats van dilemma- en comfortzone is als volgt:



Voor het einde van de dilemmazone moet geen rekening worden gehouden met 13,9 m/s en 5 m/s<sup>2</sup>, maar met 12 m/s en 3,86 m/s<sup>2</sup>. Het eindpunt van de dilemmazone ligt dan op 28 m vóór de stopstreep. De dilemmazone bestrijkt dan een gebied van 42 tot 28 m vóór de stopstreep.

Bij een maximumsnelheid van 50 km/h ziet de detectieconfiguratie er als volgt uit:



Alle lussen hebben een meld- en een verlengfunctie.

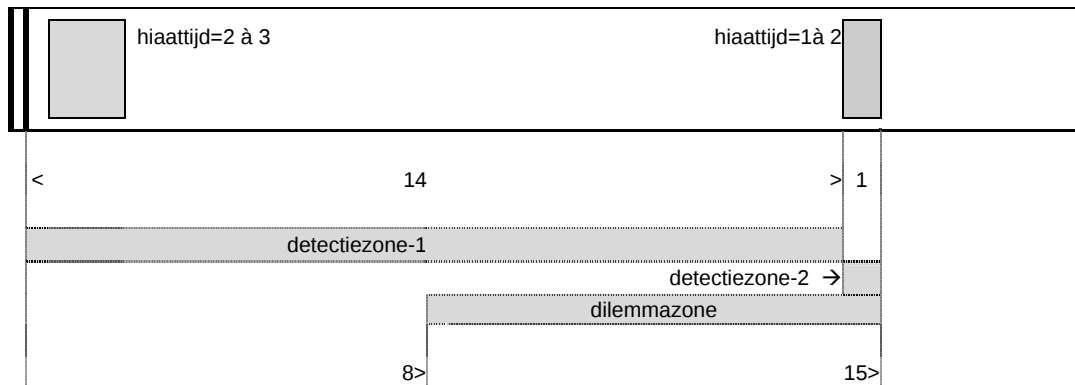
De maximumsnelheid is 50 km/h = 13,9 m/s.

De minimumsnelheid is 44 km/h = 12 m/s.

Omdat detectiezone-2, de dilemmazone en de comfortzone dicht bij elkaar eindigen kan lus 3 voor verschillende functies worden gebruikt:

1. Verlenging van VAG2 in detectiezone-2 (lus 2 + lus 3)
2. Verlenging van VAG3 in de comfortzone (lus 3)
3. Verlenging van VAG4 in de dilemmazone (lus 3)

Voor fietsers ziet de detectieconfiguratie er als volgt uit:



Uitgangspunten:

|                              |                                                    |
|------------------------------|----------------------------------------------------|
| Maximumsnelheid:             | 18 km/h = 5 m/s                                    |
| Minimumsnelheid:             | 18 km/h = 5 m/s (conform CROW ontruimingssnelheid) |
| Door-geel-rijtijd $T_{ge}$ : | 2½ s.                                              |
| Normale remvertraging:       | 3½ m/s <sup>2</sup>                                |
| Geeltijd:                    | 3 s.                                               |
| Voertuiglengte $L_{fiets}$ : | 2 m.                                               |
| Normale volgtijd $T_v$ :     | ½ s.                                               |
| Volgtijd in gebied VAG1:     | ½ s.                                               |
| Normale reactietijd $T_r$ :  | 1 s.                                               |
| Reactietijd in gebied VAG1:  | 1,5 s.                                             |

Omdat detectiezone-2 en de dilemmazone elkaar overlappen kan lus 2 voor verschillende functies worden gebruikt:

1. Verlenging van VAG2 in detectiezone-2 (lus 2)
2. Verlenging van VAG4 in de dilemmazone (lus 2)

## Hoofdstuk 7: Conclusies

Aan de hand van de studieresultaten en de inhoud van dit document kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De plaats van detectiezones is erg afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. Per kruispunt en per rijstrook zal een weloverwogen keus moeten worden gemaakt voor de te hanteren uitgangspunten.
- De detectieconfiguratie waarmee een detectiezone wordt ingevuld kan op verschillende manieren worden vormgegeven. Voorwaarde hierbij is dat in de gehele detectiezone het verkeer wordt gemeten.
- Een standaard-detectieconfiguratie bestaat niet omdat in elke situatie andere uitgangspunten gelden. Wel kan als standaard gelden dat in vier zones verkeer wordt gemeten om op een standaardwijze de signaalgroepafwikkeling te laten plaatsvinden.
- Parameters welke zijn ingesteld in de verkeersregeling en die samenhangen met de detectieconfiguratie moeten niet zomaar worden gewijzigd. De goede samenwerking tussen detectieconfiguratie en signaalgroepafwikkeling kan hierdoor ernstig worden verstoord. Het verlengen van de geeltijd heeft bijvoorbeeld tot gevolg dat de dilemmazone langer wordt. De detectieconfiguratie moet in dat geval zodanig worden aangepast dat het verkeer in de gehele nieuwe dilemmazone wordt gemeten.

## **Bijlage: Vormgeving van de koplus**

Koplussen worden doorgaans op ongeveer één meter vóór de stopstreep aangebracht met als doel:

- ▷ hiaatmeting voor het VAG1;
- ▷ aanvraagfunctie voor verkeer dat tussen de lange lus en de stopstreep staat;
- ▷ telfunctie.

De eisen die aan het functioneren van de koplus worden gesteld zijn afhankelijk van het doel waarvoor de koplus wordt gebruikt. Meestal wordt de koplus gebruikt voor alle drie bovengenoemde doelen en kunnen de eisen waaraan de figuratie moet voldoen dus strijdig zijn.

Functionele eisen voor een koplus zijn:

- ▷ Voor hiaatmeting:  
Een nauwkeurig ingestelde en meetbare hiaattijd.
- ▷ Voor de aanvraagfunctie:  
Een zo volledig mogelijke afdekking van het gebied tussen de stopstreep en de lange lus en een hoge gevoeligheid voor het detecteren van (brom)fietzers en motoren.
- ▷ Voor de telfunctie:  
Een zo kort en recht mogelijke lus die maximaal gevoelig is voor het detecteren van (brom)fietzers en motoren doch minimaal gevoelig is voor verkeer op naastliggende stroken.

Er zijn in de praktijk twee verschijningsvormen voor koplussen:

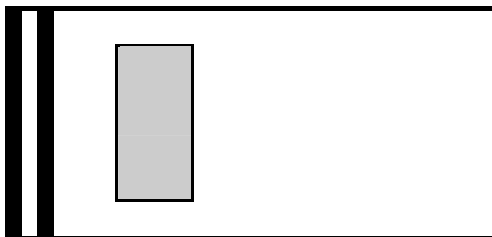
- ▷ rechte lus met rechte hoeken;
- ▷ schuine lus met schuine hoeken, waarbij de hoek doorgaans varieert tussen 30°, 45° en 60°.

Installatietechnische eisen voor een koplus zijn:

- ▷ circa 1 meter onderlinge tussenafstand om onderlinge beïnvloeding te voorkomen;
- ▷ niet te scherpe hoeken om te voorkomen dat er gaten in de verharding ontstaan of de lusdraad wordt beschadigd;
- ▷ een zo kort mogelijk passief, met name ten opzichte van de omtrek van de lus zelf;
- ▷ een zo stomp mogelijke hoek tussen lus en passief (praktisch altijd aan voorkant lus);
- ▷ een afmeting van circa 1 m aan de korte zijde;
- ▷ niet aangebracht op belijning, in verband met de zichtbaarheid van de belijning.

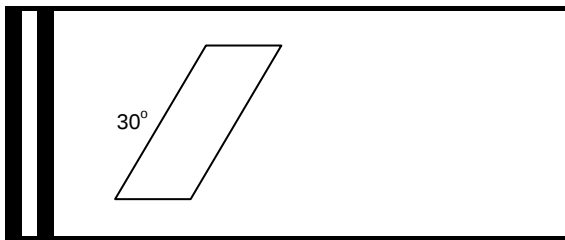
Bovenstaande overwegingen resulteren in de volgende figuraties

### **Groep 1: Rechte lussen**

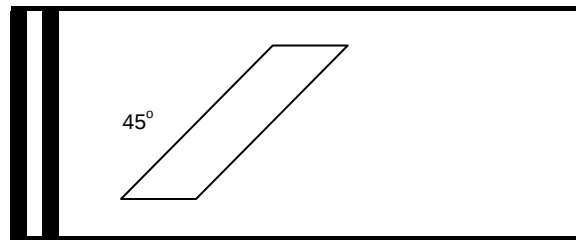


## Groep 2: Schuine lussen

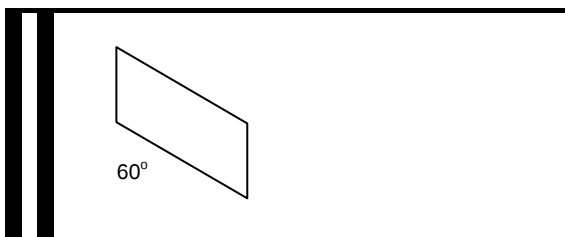
A.



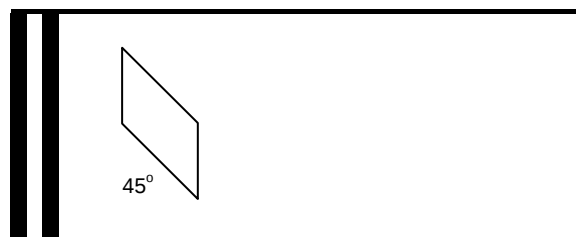
C.



B.



D.



Vanwege het voorkomen van te scherpe hoeken wordt aanbevolen de grote diversiteit die er met schuine lussen mogelijk is te beperken tot bovengenoemde figuren.

De voor en nadelen van bovengenoemde lussen zijn:

Voordelen van rechte lussen:

- ▷ Goede tellus
- ▷ In te stellen hiaattijd is nauwkeurig te bepalen

Nadelen van rechte lussen:

- ▷ Geen volledige dekking rijstrookbreedte. Tussen lussen uit naast elkaar liggende stroken zit een ruimte van ongeveer 1 meter. (Brom)fietzers kunnen tussen de lussen doorrijden.
- ▷ Erg korte lus. Er is een grote kans dat de eerste auto niet op de koplus tot stilstand komt, maar ervoor blijft staan.
- ▷ Lang passief in verhouding met de oppervlakte van de lus.

Voordelen van schuine lussen:

- ▷ Beter gevoelig voor (brom)fietzers en motorrijders.
- ▷ Volledige dekking rijstrookbreedte. Lussen kunnen tot de zijkant van rijstrook worden aangebracht. Hierdoor is er tussen lussen uit naast elkaar liggende stroken geen ruimte. (Brom)fietzers kunnen niet tussen de lussen doorrijden.
- ▷ Gezien in de rijrichting kan de lus zo lang als wenselijk worden gemaakt, afhankelijk van hoek. Er is dan minder kans dat het eerste voertuig vóór de lus tot stilstand komt.
- ▷ Passief kan kort zijn als de lus tot de zijkant van de rijstrook wordt aangebracht.

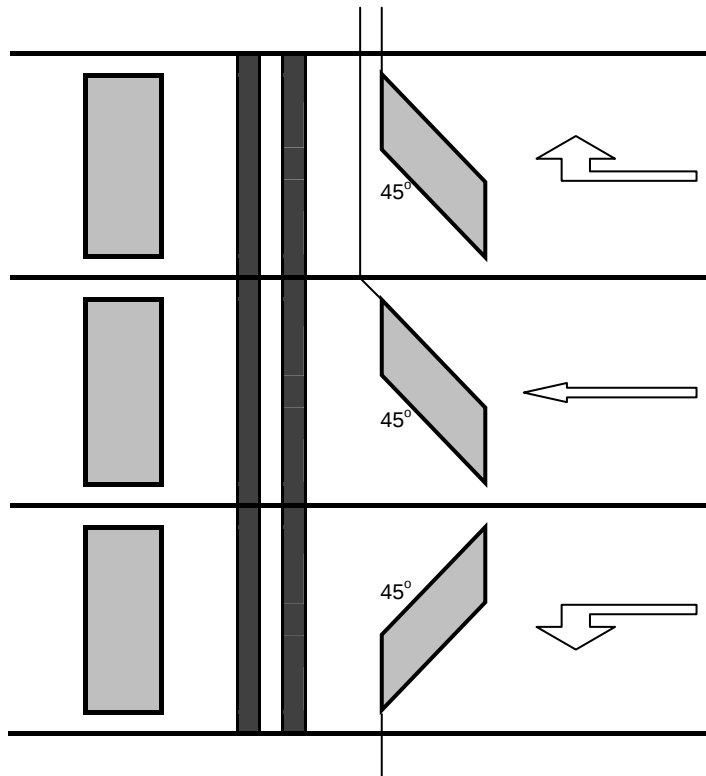
Nadelen van schuine lussen:

- ▷ De in te stellen hiaattijd is minder exact te bepalen.
- ▷ Lustypes 2A en 2D zijn geen nauwkeurige tellussen.
- ▷ Lustypes 2B en 2C zijn slechte tellussen
- ▷ Tussen lustype 2A en 2C en de stopstreep bevindt zich (te) veel ruimte waar een motor of (brom)fiets kan staan.
- ▷ Lustype 2B is ongevoeliger voor motoren en (brom)fietzers, naarmate de lengte toeneemt.

De nadelen van het missen van een goed telfunctie van de lussen kan opgeheven worden door na de stopstreep een rechte lus aan te brengen. Indien deze lus 1 meter na de stopstreep wordt aangebracht kan deze tevens gebruikt worden als roodlichtcamera-lus (rlc-lus).

#### De optimale configuratie is

Rechte lus 1 m na de stopstreep t.b.v. tellen  
en een schuine lus (45°) 1 m voor de stopstreep t.b.v. hiaatmeting en aanvraag.



De richting waarin een schuine lus wordt aangebracht wordt bepaald door:

- ▷ de plaats van de grondkabels in de berm
- ▷ de lengte van het passief van de lus. Deze moet minimaal zijn.
- ▷ de mate van bedekking van de rijstrook

Nadeel van deze configuratie is de relatief hoge kosten door toepassing van twee lussen per rijstrook. Als toch een lus voor een roodlichtcamera nodig is, zijn de kosten niet hoger dan normaal.

#### Een alternatieve configuratie waarbij nog enigszins geteld kan worden is

Schuine lus (30°) 1 m voor de stopstreep t.b.v. tellen, hiaatmeting en aanvraag.

#### Een alternatieve configuratie indien niet geteld hoeft te worden is

Schuine lus (60°) 1 m voor de stopstreep t.b.v. hiaatmeting en aanvraag.

**Bijlage: Tabel beslissingsafstanden**

| Beslissingsafstand om tot stilstand te komen bij verkeerslichten |      |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Reactietijd                                                      |      | $T_r = 0,75$ s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Snelheid                                                         | km/h | 44             | 50   | 54   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   | 100  |
|                                                                  | m/s  | 12,0           | 13,9 | 15,0 | 16,7 | 18,1 | 19,4 | 20,8 | 22,2 | 23,6 | 25,0 | 26,4 | 27,8 |
| Remvertraging in m/s <sup>2</sup>                                | 2,00 | 45             | 59   | 68   | 82   | 95   | 109  | 124  | 140  | 157  | 175  | 194  | 214  |
|                                                                  | 2,25 | 41             | 53   | 61   | 75   | 86   | 98   | 112  | 126  | 141  | 158  | 175  | 193  |
|                                                                  | 2,50 | 38             | 49   | 56   | 68   | 79   | 90   | 102  | 115  | 129  | 144  | 159  | 175  |
|                                                                  | 2,75 | 35             | 46   | 52   | 63   | 73   | 83   | 94   | 106  | 119  | 132  | 147  | 161  |
|                                                                  | 3,00 | 33             | 43   | 49   | 59   | 68   | 77   | 88   | 99   | 111  | 123  | 136  | 150  |
|                                                                  | 3,25 | 31             | 40   | 46   | 55   | 64   | 72   | 82   | 92   | 103  | 115  | 127  | 140  |
|                                                                  | 3,50 | 30             | 38   | 43   | 52   | 60   | 68   | 77   | 87   | 97   | 108  | 119  | 131  |
|                                                                  | 3,75 | 28             | 36   | 41   | 50   | 57   | 65   | 73   | 82   | 92   | 102  | 113  | 124  |
|                                                                  | 3,86 | 28             | 35   | 40   | 49   | 56   | 63   | 72   | 80   | 90   | 100  | 110  | 121  |
|                                                                  | 4,00 | 27             | 35   | 39   | 47   | 55   | 62   | 70   | 78   | 87   | 97   | 107  | 117  |
|                                                                  | 4,25 | 26             | 33   | 38   | 45   | 52   | 59   | 66   | 75   | 83   | 92   | 102  | 112  |
|                                                                  | 4,50 | 25             | 32   | 36   | 44   | 50   | 56   | 64   | 71   | 80   | 88   | 97   | 107  |
|                                                                  | 4,75 | 24             | 31   | 35   | 42   | 48   | 54   | 61   | 69   | 76   | 85   | 93   | 102  |
|                                                                  | 5,00 | 23             | 30   | 34   | 40   | 46   | 52   | 59   | 66   | 73   | 81   | 89   | 98   |

| Beslissingsafstand om tot stilstand te komen bij verkeerslichten |      |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Reactietijd                                                      |      | $T_r = 1$ s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Snelheid                                                         | km/h | 44          | 50   | 54   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   | 100  |
|                                                                  | m/s  | 12,0        | 13,9 | 15,0 | 16,7 | 18,1 | 19,4 | 20,8 | 22,2 | 23,6 | 25,0 | 26,4 | 27,8 |
| Remvertraging in m/s <sup>2</sup>                                | 2,00 | 48          | 62   | 71   | 86   | 100  | 113  | 129  | 145  | 163  | 181  | 201  | 221  |
|                                                                  | 2,25 | 44          | 57   | 65   | 79   | 91   | 103  | 117  | 132  | 147  | 164  | 181  | 200  |
|                                                                  | 2,50 | 41          | 53   | 60   | 72   | 84   | 95   | 107  | 121  | 135  | 150  | 166  | 182  |
|                                                                  | 2,75 | 38          | 49   | 56   | 67   | 78   | 88   | 99   | 112  | 125  | 139  | 153  | 168  |
|                                                                  | 3,00 | 36          | 46   | 53   | 63   | 73   | 82   | 93   | 104  | 116  | 129  | 143  | 157  |
|                                                                  | 3,25 | 34          | 44   | 50   | 60   | 69   | 77   | 87   | 98   | 109  | 121  | 134  | 147  |
|                                                                  | 3,50 | 33          | 42   | 47   | 57   | 65   | 73   | 83   | 93   | 103  | 114  | 126  | 138  |
|                                                                  | 3,75 | 31          | 40   | 45   | 54   | 62   | 70   | 78   | 88   | 98   | 108  | 119  | 131  |
|                                                                  | 3,86 | 31          | 39   | 44   | 53   | 61   | 68   | 77   | 86   | 96   | 106  | 117  | 128  |
|                                                                  | 4,00 | 30          | 38   | 43   | 52   | 59   | 66   | 75   | 84   | 93   | 103  | 114  | 124  |
|                                                                  | 4,25 | 29          | 37   | 41   | 50   | 57   | 64   | 72   | 80   | 89   | 99   | 108  | 119  |
|                                                                  | 4,50 | 28          | 35   | 40   | 48   | 55   | 61   | 69   | 77   | 85   | 94   | 104  | 114  |
|                                                                  | 4,75 | 27          | 34   | 39   | 46   | 53   | 59   | 66   | 74   | 82   | 91   | 100  | 109  |
|                                                                  | 5,00 | 26          | 33   | 38   | 45   | 51   | 57   | 64   | 71   | 79   | 88   | 96   | 105  |

snelheid in m/s afgerond op 0,1

formule voor de berekening:  $S = (T_r \cdot V) + (V^2 / 2a)$