

Evaluatie Tovergroen

Onderzoek naar werking en effecten van Tovergroen in 2 VRI's op de N65 tussen Tilburg en 's-Hertogenbosch

Definitief

Rijkswaterstaat Noord-Brabant

Grontmij Nederland bv
De Bilt, 5 februari 2007

Verantwoording

Titel : Evaluatie Tovergroen

Subtitel : Onderzoek naar werking en effecten van Tovergroen in 2 VRI's op de N65 tussen Tilburg en 's-Hertogenbosch

Projectnummer : 188502

Referentienummer : I&M-99382262

Revisie : d1

Datum : 5 februari 2007

Auteur(s) : ing. P.B.J. Zondag

E-mail adres : peter.zondag@grontmij.nl

Gecontroleerd door : ing. M.C.M. Kant

Paraaf gecontroleerd :

Goedgekeurd door : ing. E.O. Mansvelder

Paraaf goedgekeurd :

Contact : De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
Postbus 203
3730 AE De Bilt
T +31 30 220 74 36
F +31 30 220 19 23
E verkeer@grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	7
1.1	Aanleiding tot het onderzoek.....	7
1.2	Leeswijzer.....	8
1.2.1	Terminologie.....	8
2	Werkwijze.....	11
2.1	Onderzoeksvragen.....	11
2.2	Onderzoeksopzet.....	11
2.3	Onderzoekperiode.....	11
2.4	Observatie.....	12
2.5	Dataverzameling met de kwaliteitscentrale.....	12
2.5.1	Indicatoren.....	12
2.6	Keuze Dagdelen.....	13
3	Dataselectie.....	15
3.1	Inleiding.....	15
3.2	Intensiteiten alle verkeer.....	15
3.3	Intensiteiten vrachtverkeer.....	17
3.4	Selectiecriteria.....	20
3.5	Keuze onderzoeksdagen.....	21
4	Resultaten observatie.....	23
4.1	Inleiding.....	23
4.2	Regelapplicaties.....	23
4.3	Algemene indruk.....	24
4.3.1	N65.....	24
4.3.2	Dwarsverkeer auto.....	24
4.3.3	(Brom)fietsrichtingen.....	25
4.4	Detectiesystemen Tovergroen.....	25
4.5	Verkeerskundige werking tovergroen.....	26
4.6	Adaptieve regeling.....	28
4.7	Afrijtijd vrachtwagens.....	29
4.8	Andere waarnemingen.....	29
5	Resultaten kwantitatieve analyse.....	31
5.1	Roodlichtrijders (alle verkeer).....	31
5.1.1	Hypothesen.....	31
5.1.2	Analysemethode.....	31
5.1.3	Resultaten.....	31
5.1.4	Significantie.....	33
5.1.5	Toetsing hypothesen Roodlichtrijders (alle verkeer).....	33
5.2	Roodlichtrijders (vrachtwagens).....	33
5.2.1	Hypothesen.....	33
5.2.2	Analysemethode.....	33
5.2.3	Resultaten.....	34
5.2.4	Significantie.....	35

5.2.5	Toetsing hypothesen Roodlichtrijders (vrachtwagens).....	35
5.3	Gemiddelde groenduur	35
5.3.1	Hypothesen	35
5.3.2	Resultaten	36
5.3.3	Toetsing hypothesen gemiddelde groenduur	38
5.4	Gemiddelde maximale wachttijd	38
5.4.1	Hypothesen	38
5.4.2	Analysemethode	38
5.4.3	Resultaten	38
5.4.4	Toetsing hypothesen gemiddelde maximale wachttijd	41
5.5	Doorrijkans	41
5.5.1	Hypothesen	41
5.5.2	Analysemethode	41
5.5.3	Resultaten	42
5.5.4	Toetsing hypothesen doorrijkans	43
5.6	Snelheid vrachtverkeer	43
5.6.1	Hypothesen	44
5.6.2	Analysemethode	44
5.6.3	Resultaten	44
5.6.4	Toetsing hypothesen snelheid vrachtverkeer	45
5.7	Verdeling links / rechts vrachtverkeer	45
5.8	tovergroen en extragroen	45
5.8.1	Betekenis extragroen	45
5.8.2	Effect afronding	46
5.8.3	Aantal malen tovergroen en extragroen	46
5.8.4	Duur tovergroen en extragroen	47
5.8.4.1	Resultaten duur Tovergroen.....	48
5.8.5	Kans op tovergroen.....	48
5.9	Vrachtwagens gevangen voor de stopstreep	49
5.9.1	Hypothese	49
5.9.2	Analysemethode	49
5.9.3	Resultaten	51
5.9.4	Toetsing hypothese ‘vrachtwagens gevangen voor de stopstreep’	52
6	Luchtkwaliteit	53
6.1	Inleiding	53
6.2	Het Besluit Luchtkwaliteit	53
6.2.1	Toelichting NO ₂ en PM ₁₀	54
6.3	Werkwijze.....	54
6.4	Luchtkwaliteitmodel CAR II	55
6.5	Beoordelingsafstand tot de weg.....	56
6.6	Berekeningsresultaten	56
7	Conclusies en aanbevelingen	57
7.1	Conclusies	57
7.2	Aanbevelingen	58
7.2.1	Tovergroen, detectiesysteem	58
7.2.2	Tovergroen, verkeerskundig	58
7.2.3	Tovergroen, kwaliteitscentrale.....	59
7.2.4	Andere aspecten van de regeling	60
7.2.5	Verkeerstechnische vormgeving en markering	60
	Bijlage 1: luchtkwaliteiberekening	61
	Bijlage 2: kruispuntplaatjes	66

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

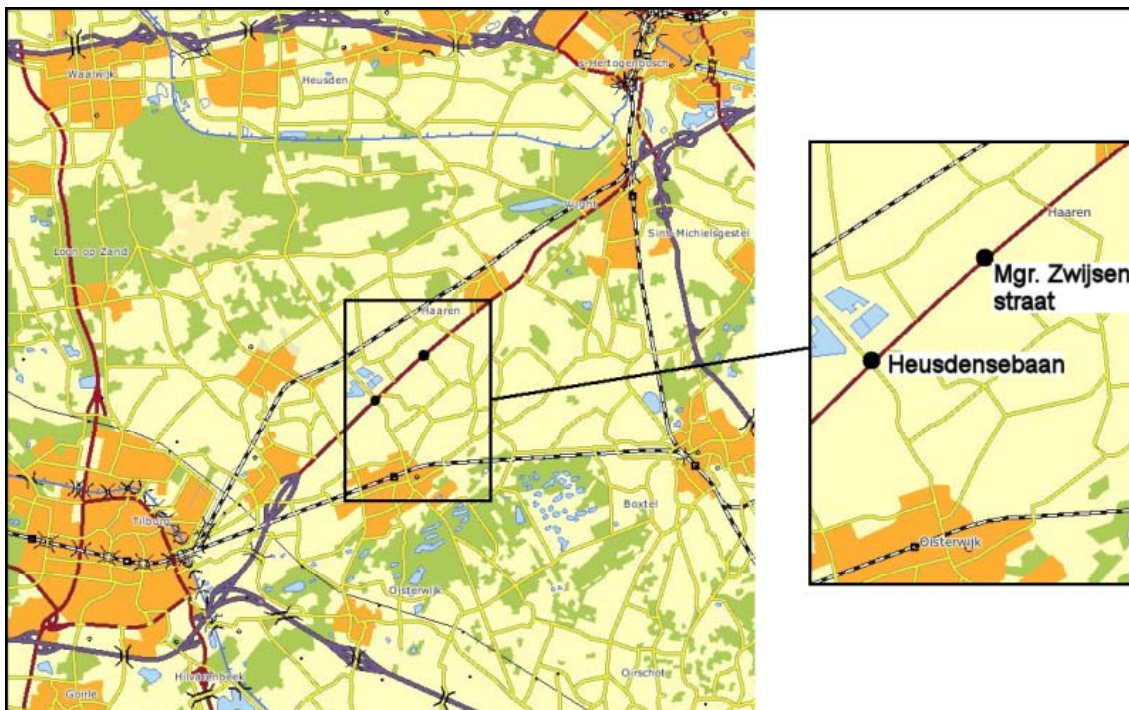
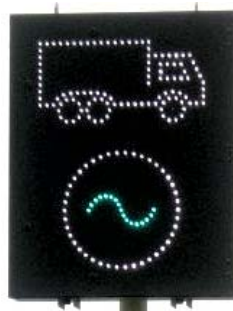
In 2005 zijn 2 VRI's op de N65 tussen 's-Hertogenbosch en Tilburg voorzien van Tovergroen. Het gaat om de volgende kruispunten:

- N65 / Monseigneur Zwijsenstraat – Koolhofweg in de gemeente Haaren;
- N65 / Heusdensebaan op de grens van de gemeenten Oisterwijk en Haaren.

De onderlinge afstand bedraagt circa 1,9 km en er zijn geen tussengelegen kruispunten.

Tovergroen is een systeem om vrachtwagens selectief te detecteren en indien mogelijk vervolgens prioriteit te verlenen door hun groenfase te verlengen. Op de kruispunten in deze studie is Tovergroen geïnstalleerd op de rechtdoorgaande richtingen 02 (naar Tilburg) en 08 (naar 's-Hertogenbosch) van de N65.

Op 300 m van de stopstreep, ter hoogte van het voorwaarschuwingssein, zijn selectieve detectiesystemen geplaatst. Deze systemen melden aan de regelapplicatie wanneer een vrachtwagen of bus is gedetecteerd en bepalen de snelheid van dit voertuig. Als de richting in groen is, wordt bepaald of het voertuig met deze snelheid de stopstreep kan bereiken binnen de maximumgroentijd + een extra tijd. Zo ja, dan wordt de bestuurder hierop geattendeerd via een oplichtend groene-golfsymbool (foto rechts) op 200m van de stopstreep.



Rijkswaterstaat Noord-Brabant heeft Grontmij opdracht verleend om Tovergroen op deze twee kruispunten te evalueren. Het doel van deze evaluatie is inzicht te krijgen in de werking en het verkeerskundig functioneren van dit systeem, en inzicht in het effect op de luchtkwaliteit.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de werkwijze van deze studie beschreven. Die valt uiteen in een observatie en een kwantitatieve analyse, waarbij telkens de situaties met Tovergroen AAN en met Tovergroen UIT worden vergeleken.

De dataselectie om te komen tot representatieve onderzoeksdagen is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de observatie beschreven, en in hoofdstuk 5 die van de kwantitatieve analyse. In hoofdstuk 6 wordt het effect op de luchtkwaliteit behandeld. Tenslotte worden de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7 behandeld.

1.2.1 Terminologie

Kruispunten

In de tekst worden de kruispunten respectievelijk VRI's aangeduid met 'Mgr. Zwijzenstraat' en 'Heusdensebaan'.

De twee kruispunten die zijn onderzocht lijken sterk op elkaar. Zowel in vormgeving als in waargenomen verschijnselen is de overeenkomst groot. Iedere bewering, conclusie enzovoort waarin niet expliciet het kruispunt wordt vermeld, slaat op beide kruispunten. Dit geldt ook als een opmerking betrekking heeft op een bepaalde signaalgroep!

In bijlage 2 zijn de kruispuntplaatjes opgenomen. Het betreft de schematische tekeningen van C-regelingen of bedieningspaneel automatisch.

tovergroen en Tovergroen

Het woord Tovergroen met Hoofdletter staat in dit rapport voor het systeem als geheel, of voor de softwarecomponent die aan de regelapplicatie is toegevoegd. tovergroen met kleine letter staat voor de groenverlenging die door het systeem aan een vrachtwagen of bus kan worden toegekend.

Tovergroenrichtingen

De richtingen 02 en 08 van beide onderzochte kruispunten zijn de tovergroenrichtingen. In totaal dus vier richtingen.

extragroen en extra groen

extragroen – één woord – is een toestand die kan optreden binnen het tovergroen van een richting. Extra groen – twee woorden – is bijvoorbeeld de situatie dat een richting als gevolg van toegekend tovergroen meer groen krijgt dan anders.

Vrachtwagens(s) en vrachtverkeer

Het systeem Tovergroen is gericht op bussen en op (niet nader gespecificeerde) vrachtwagens. Het woord vrachtwagen in dit rapport betekent **altijd** 'vrachtwagen of bus', en het meervoud vrachtwagens betekent altijd 'vrachtwagen(s) en/of bus(sen)'. Het woord vrachtverkeer staat voor 'verkeer van vrachtwagens en/of bussen'.

Fietsen en (brom) fietsen

Waar over fietsen, fietsers, fietsrichtingen enzovoort wordt gesproken, mag altijd (brom)fietsen, (brom)fietsers, (brom)fietsrichtingen worden gelezen. De term 'langzaam verkeer' wordt vermeden omdat landbouwvoertuigen e.d. hier mede onder worden begrepen. Echter de langzaamverkeersvoorzieningen in deze regelingen zijn verplicht voor fietsers en bromfietsers en verboden voor langzame motorvoertuigen (bord G12a).

mawk22, vrwk25 enzovoort

De datareeksen in grafieken worden aangeduid met dagsoort + weeknummer, bijvoorbeeld mawk22 is de maandag in week 22, ofwel maandag 29 mei 2006.

Datums en weeknummers

Tenzij anders aangegeven hebben alle datums en weeknummers betrekking op het jaar 2006.

RWS-C

De applicatiesoftware van de onderzochte regelingen is in RWS-C geschreven. Termen als 1^e of 2^e VAG, en 1^e of 2^e hiaat, slaan specifiek op de implementatie van deze regelingen.

De signaalgroepen van de kruispunten hebben als naam Ri01 enzovoorts. Deze vorm wordt korthedshalve in dit rapport gebruikt, naast de beschrijvende versie 'richting 01'

Punten en komma's

In de tekst wordt naar het Nederlands taalgebruik een decimale komma geschreven. In de tabellen wordt naar wiskundig gebruik een decimale punt gehanteerd.

2 Werkwijze

2.1 Onderzoeksvragen

De evaluatie is erop gericht om de situatie met en de situatie zonder Tovergroen met elkaar te vergelijken. Bij de evaluatie van Tovergroen staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

1. Werkt Tovergroen verkeerskundig naar behoren?
2. Wat zijn de effecten van Tovergroen op de verliestijden op de richtingen waar geen Tovergroen is toegepast?
3. Wat zijn de effecten van Tovergroen op de verliestijden, wachtrijen, roodlichtnegatie en aantallen vrachtwagenstops op de rechtdoorgaande richtingen van de N65?
4. Wat is het effect van Tovergroen op de luchtkwaliteit?

Hierbij geldt dat in deze studie de nadruk ligt op de analyse van kwantitatieve gegevens. Dit omdat de provincie Noord-Brabant in een eerdere studie de werking van Tovergroen reeds kwalitatief heeft onderzocht.

2.2 Onderzoeksopzet

Bij de analyse worden de volgende twee situaties onderzocht en met elkaar vergeleken, telkens over een periode van drie weken:

1. Tovergroen ingeschakeld;
2. Tovergroen uitgeschakeld.

Door middel van een softwareschakelaar is de werking van Tovergroen in- en uitgeschakeld. Alle overige instellingen van beide regelingen zijn gedurende de onderzoeksperiode ongemoeid gelaten.

Om onderzoeksvraag 1 te beantwoorden zijn visuele waarnemingen uitgevoerd. Om kwantitatieve gegevens te verzamelen is gebruik gemaakt van de Kwaliteitscentrale van IT&T, namelijk het onderdeel dat regeltechnische gegevens logt in de regelautomaat.

2.3 Onderzoekperiode

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in het voorjaar van 2006, in de periode april, mei en juni, in de volgende weken:

- Tovergroen AAN: week 17-19-20-22;
- Tovergroen UIT: week 24-25-26.

Het gaat hier om de feitelijke onderzoeksperiode. De dataverzameling heeft gedurende een langere periode plaatsgevonden, en ook in de weekeinden. Deze data blijven beschikbaar voor mogelijk toekomstig gebruik. Tovergroen heeft daarbij altijd AAN gestaan behalve in de drie weken waarin het ten behoeve van deze studie was uitgeschakeld.

Oorspronkelijk was het onderzoek in het voorjaar van 2005 gepland. Door oorzaken zoals technische problemen met regelautomaten en datacommunicatie, en tenslotte een ongeval door gladheid waarbij een signaalgever omver is gereden, is de onderzoeksperiode meermalen uitgesteld. Hierdoor moest het onderzoek uiteindelijk worden gepland in een periode met feestdagen en schoolvakanties, waarin geen aaneengesloten periode zonder vakanties e.d. beschikbaar was. Zie de volgende tabel.

Tabel 1: keuze onderzoeksweken Tovergroen AAN en overgroen UIT

week	datum	Tovergroen AAN / UIT	Opmerking
week 17	24-28 april	Tovergroen AAN	(reserve)
week 18		(geen onderzoek)	Koninginnedag / meivakantie / Bevrijdingsdag
week 19	8-12 mei	Tovergroen AAN	
week 20	15-19 mei	Tovergroen AAN	
week 21		(geen onderzoek)	Hemelvaart
week 22	29 mei – 2 juni	Tovergroen AAN	tussen Hemelvaart en Pinksteren
week 23		(geen onderzoek)	Pinksteren
week 24	12-16 juni	Tovergroen UIT	
week 25	19-23 juni	Tovergroen UIT	
week 26	26-30 juni	Tovergroen UIT	

2.4 Observatie

Om onderzoeksvraag 1 ('Werkt Tovergroen verkeerskundig naar behoren?') te beantwoorden is een observatie uitgevoerd. Beide kruispunten zijn zowel in de situatie Tovergroen AAN als Tovergroen UIT gedurende een dag geobserveerd:

- Tovergroen AAN: donderdag 18 mei (week 20)
- Tovergroen UIT: donderdag 22 juni (week 25).

De observatie vond plaats door twee personen, die zich geregeld tussen de kruisingen verplaatsen. Hierbij hadden zij toegang tot de regelautomaat om LED-indicaties, detectorverklikking, actuele parameterinstellingen e.d. te bekijken.

De weersomstandigheden op beide dagen waren goed vergelijkbaar: nagenoeg droog, geheel tot wisselend bewolkt (totaal circa 20% zon) en temperaturen rond 15 °C.

2.5 Dataverzameling met de kwaliteitscentrale

Vanwege de opdrachtgever zijn in de bestaande (RWS-C-) regelapplicaties voorzieningen ingebouwd die een MV-file aanmaken. In deze MV-files worden (standaard) de volgende gegevens geschreven:

- toestandswijzigingen van detectie en signaalgroepen;
- wijzigingen van parameters in brede zin, ongeacht hoe die tot stand zijn gekomen (door de wegbeheerder of vanuit de applicatiesoftware);
- enkele regeltechnische toestanden op hoger abstractieniveau, zoals 'aanvraag' en 'maximumgroen bereikt'.

Daarnaast worden door de applicatiesoftware enkele toestanden en gebeurtenissen speciaal voor monitoring en evaluatie van Tovergroen in de MV-file geschreven, zoals 'detectie vrachtwagen / bus', 'tovergroen' en 'extragroen'.

Deze MV-files zijn door Grontmij uit de regelautomaat gedownload en vervolgens uitgelezen. Hierbij is geen gebruik gemaakt van de cliëntsoftware van de IT&T Kwaliteitscentrale, maar is door Grontmij ontwikkelde software toegepast om indicatoren te bepalen waarmee de onderzoeksvragen kunnen worden beantwoord.

2.5.1 Indicatoren

De volgende indicatoren zijn bepaald:

- verkeersintensiteiten per richting;
- roodlichtrijders op de richtingen met Tovergroen en op hun conflictrichtingen;
- roodlichtrijders zwaar verkeer op de richtingen met Tovergroen;
- gemiddelde groenduur per richting;
- gemiddelde maximale wachttijd per richting;
- doorrijkans;
- aantal gedetecteerde vrachtwagens bij inmeldpunt;
- aantal maal en gemiddelde duur Tovergroen;
- aantal maal en gemiddelde duur extragroen ten gevolge van Tovergroen;

- j. hoeveelheid vrachtwagens die gevangen worden bij de stopstreep op richting 2 en 8.
- k. milieu-effect: uitstoot van verontreinigende stoffen in de directe omgeving van de kruispunten.

Dit alles binnen de technische mogelijkheden, die afhangen van aanwezigheid van geschikte detectie; bijzonderheden zijn in hoofdstuk 5 vermeld.

2.6 Keuze dagdelen

Voor kwantitatieve uitspraken zullen in het algemeen de volgende uren worden beschouwd:

- aanloop ochtendspits: 5:00 tot 6:00 uur en 6:00 tot 7:00 uur;
- ochtendspits: 7:00 uur tot 10:00 uur;
- daluren: 10:00 uur tot 14:00 uur;
- avondspits: 15:00 uur tot 19:00 uur.

Uit de waarnemingen op straat is gebleken dat hiermee tijdens de ochtend- en avondspits de spitsopbouw en –afbouw worden meegenomen, alsmede de spitsen van het vrachtverkeer (6:00 – 7:00 uur en 15:00 – 16:30 uur). De uren van 5:00 tot 6:00 en van 6:00 tot 7:00 uur worden onderscheiden omdat de regelingen tussen 23:00 en 6:00 uur in wachtstand rood staan. Het dal is van belang omdat hierin de intensiteiten van vrachtverkeer weinig verschillen van die in de spits. De onderbreking van 14:00 tot 15:00 uur is gekozen omdat op veel onderzoeksdagen in dat uur de MV-file is gedownload, waardoor het loggen is onderbroken. Dit is geen inherente beperking van de IT&T-kwaliteitscentrale, maar van de implementatie in de regelautomaten van TPA.

Etmaalgemiddelden en 24-uurscijfers worden alleen bepaald voor indicatoren waarvoor deze waarden zinvol zijn; een voorbeeld is de bepaling van roodlichtrijders.

3 Dataselectie

3.1 Inleiding

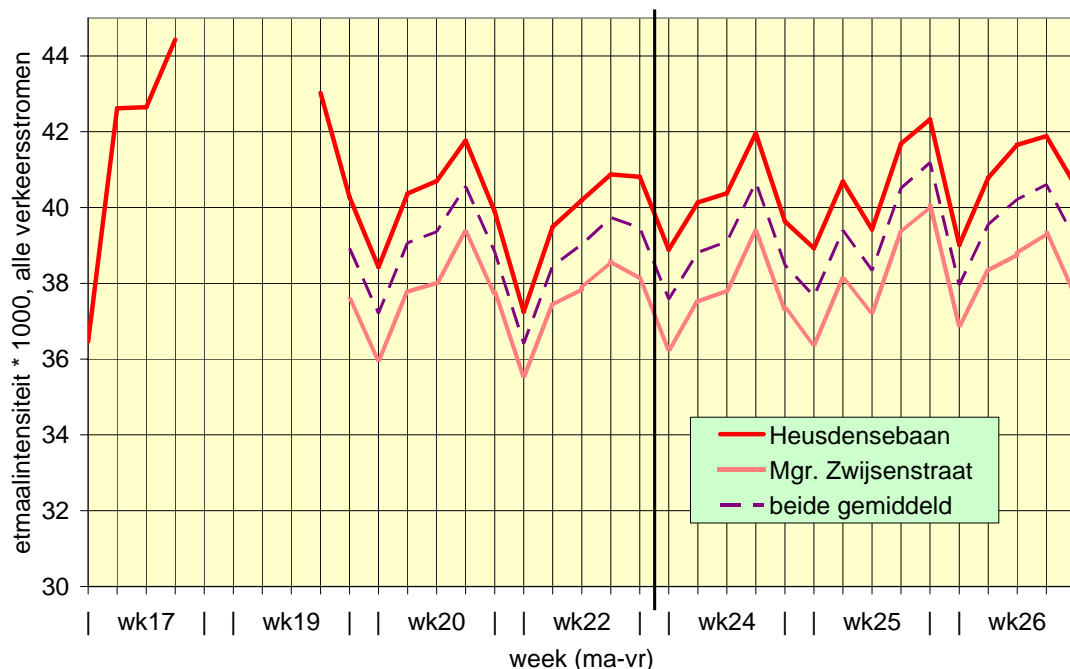
Omdat Tovergroen een systeem is dat primair is gericht op het vrachtverkeer, zal de aanwezigheid c.q. de betrouwbare detectie van vrachtverkeer het belangrijkste criterium zijn voor de selectie van onderzoeksdagen voor nadere analyse. Daarnaast is wenselijk dat de overige omstandigheden – waaronder de intensiteiten van het overig verkeer – zoveel mogelijk constant zijn of dat hun gemiddelde waarden overeenkomen in de datasets voor Tovergroen AAN en Tovergroen UIT.

De volgende kenmerken van vrachtverkeer worden genoegzaam bekend verondersteld en daarom niet verder beargumenteerd:

- Vrachtverkeer is alleen van betekenis op werkdagen (maandag t/m vrijdag); weekenddagen worden daarom niet onderzocht.
- Intensiteiten van vrachtverkeer wisselen relatief sterk per dagsoort. Daarom wordt ernaar gestreefd van alle weekdagen een gelijk aantal te selecteren.

3.2 Intensiteiten alle verkeer

In eerste instantie is het intensiteitspatroon van de beschikbare onderzoeksdagen geanalyseerd. Zowel de totale intensiteit (gemeten op de koplussen) als de intensiteit van het vrachtverkeer (gemeten met de selectieve detectiesystemen) is beschouwd.



Figuur 1: Intensiteitverloop maandag t/m vrijdag in de onderzoeksweken, alle verkeer

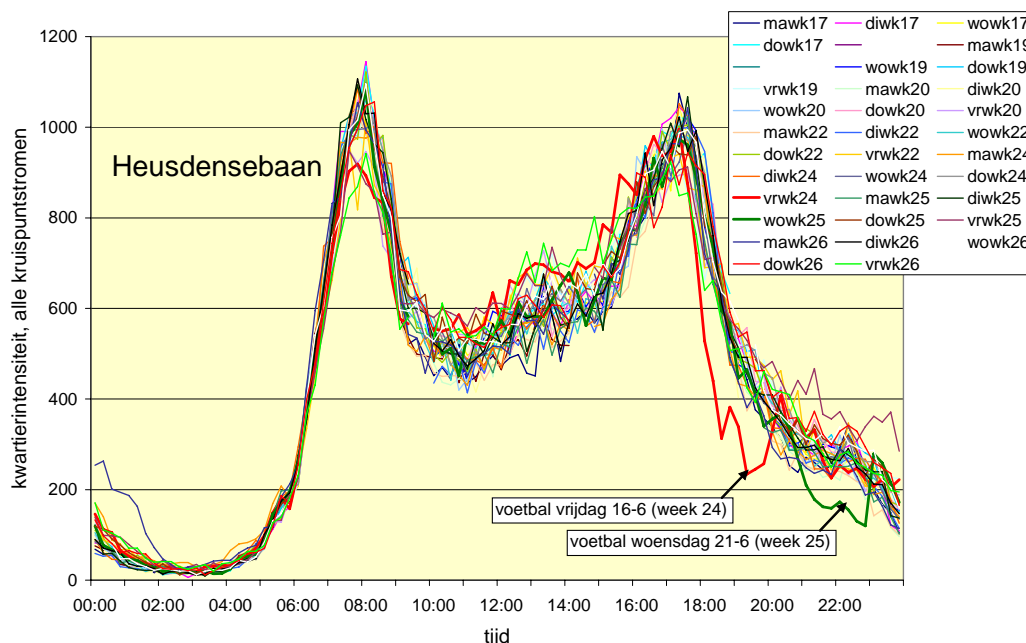
Figuur 1 toont de totale etmaalintensiteit, gesommeerd over alle richtingen met lusdetectie, van beide kruispunten. De verticale lijn tussen week 22 en 24 geeft de scheiding aan tussen de perioden Tovergroen AAN en Tovergroen UIT. De volgende zaken vallen hierin op:

- In de eerste twee weken ontbreken de data van de VRI N65 / Mgr. Zwijzenstraat bijna volledig, en van de VRI N65 / Heusdensebaan voor een aantal dagen. Dit is het gevolg van storingen bij het downloaden van de MV-files.
- In week 17, uitgezonderd de maandag, vertoont kruispunt Heusdensebaan hogere intensiteiten dan in de andere weken.
- Vanaf week 20 volgen de intensiteiten een regelmatig patroon gedurende de week. Maandag is de stilste dag, donderdag meestal de drukste. In week 25 echter is de vrijdag het drukste.
- Beide kruispunten lopen perfect met elkaar in de pas. Dit sluit aan bij de verwachting dat doorgaand verkeer over de N65 overheerst.
- Kruispunt Heusdensebaan vertoont de hoogste intensiteiten. Het verschilt met kruispunt Mgr. Zwijzenstraat wordt voor ongeveer 30% verklaard door het meetellen van fietsers, die alleen op kruispunt Heusdensebaan lusdetectie hebben. De overige 70% kan worden verklaard door de volgende factoren:
 - Meer verkeer op de zijrichtingen.
 - Er is op kruispunt Heusdensebaan meer afslaand verkeer van en naar Tilburg dan er op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is van en naar 's-Hertogenbosch.

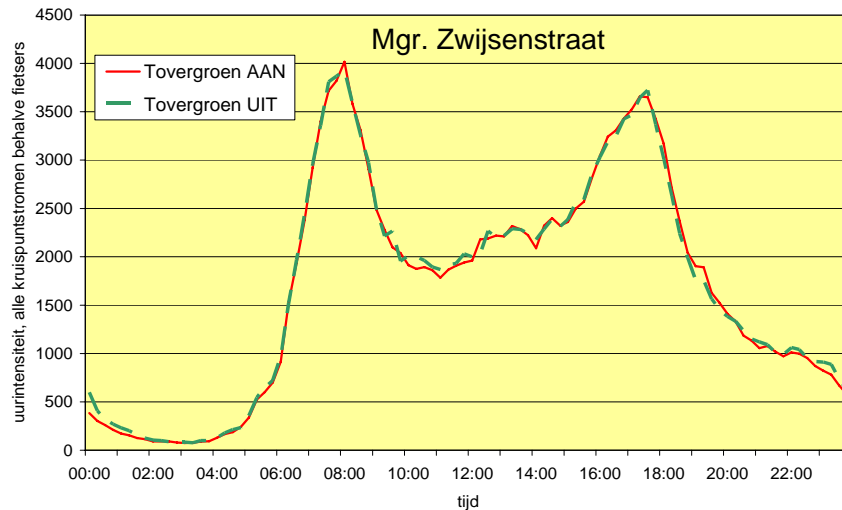
Figuur 2 toont, voor de afzonderlijke onderzoeksdagen, het intensiteitspatroon over het etmaal. Als voorbeeld is het kruispunt Heusdensebaan genomen. Figuur 3 en 4 (volgende bladzijde) laten zien dat beide kruispunten nagenoeg hetzelfde etmaalpatroon vertonen.

Buiten hetgeen bij figuur 1 is aangestipt, valt in figuur 2 het volgende op:

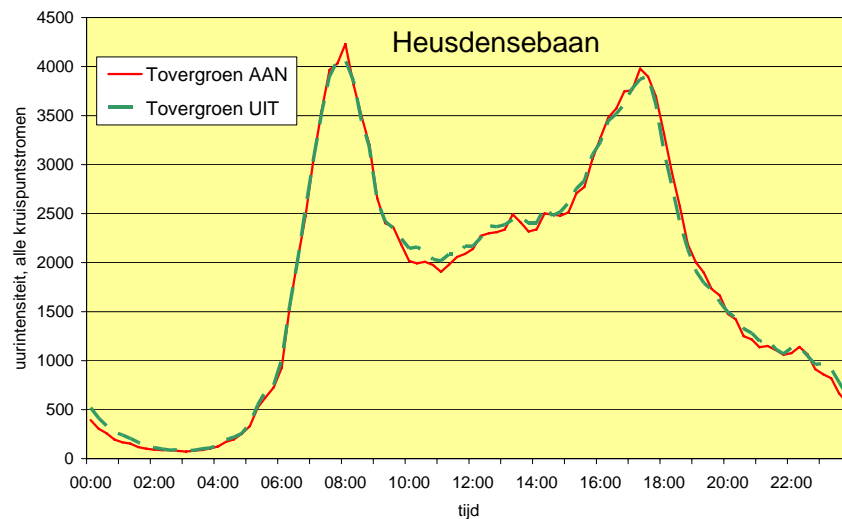
- Er zijn geen dagen die echt sterk afwijken.
- Twee dagen vallen op door een lage intensiteit in een deel van de avond. Oorzaak is ongetwijfeld het WK voetbal. Het gaat om vrijdag 16 juni (week 24), Nederland – Ivoorkust en om woensdag 21 juni (week 25), Nederland – Argentinië.
- Bij nadere beschouwing is ook de ochtendspits van vrijdag 16 juni aan de lage kant en zijn de daluren juist relatief druk. Kennelijk hebben veel mensen toen een vrije dag genomen.
- In de avond van vrijdag 23 juni en in de nacht en vroege ochtend (tot 7:15 uur) van maandag 26 juni is er ongewoon veel verkeer op richting 02 (naar Tilburg) van beide kruispunten. Oorzaak is een weekendafsluiting van een deel van de A2 tussen 's-Hertogenbosch en Eindhoven, waarbij het verkeer o.a. werd omgeleid via de N65.



Figuur 2: Intensiteitverloop (kwartierwaarden) kruispunt Heusdensebaan per dag over het etmaal. Illustratie voetbaleffecten



Figuur 3: Intensiteitverloop (uurwaarden) kruispunt Mgr. Zwijzenstraat over het etmaal



Figuur 4: Intensiteitverloop (uurwaarden) kruispunt Heusdensebaan over het etmaal

3.3 Intensiteiten vrachtverkeer

De intensiteiten van het vrachtverkeer zijn afkomstig van de selectieve detectiesystemen die voor Tovergroen zijn geïnstalleerd op beide rijbanen van de N65 op beide kruispunten. In het vervolg worden deze als richtingen 02 en 08 aangeduid, omdat Tovergroen uiteindelijk op deze richtingen (signaalgroepen) ingrijpt.

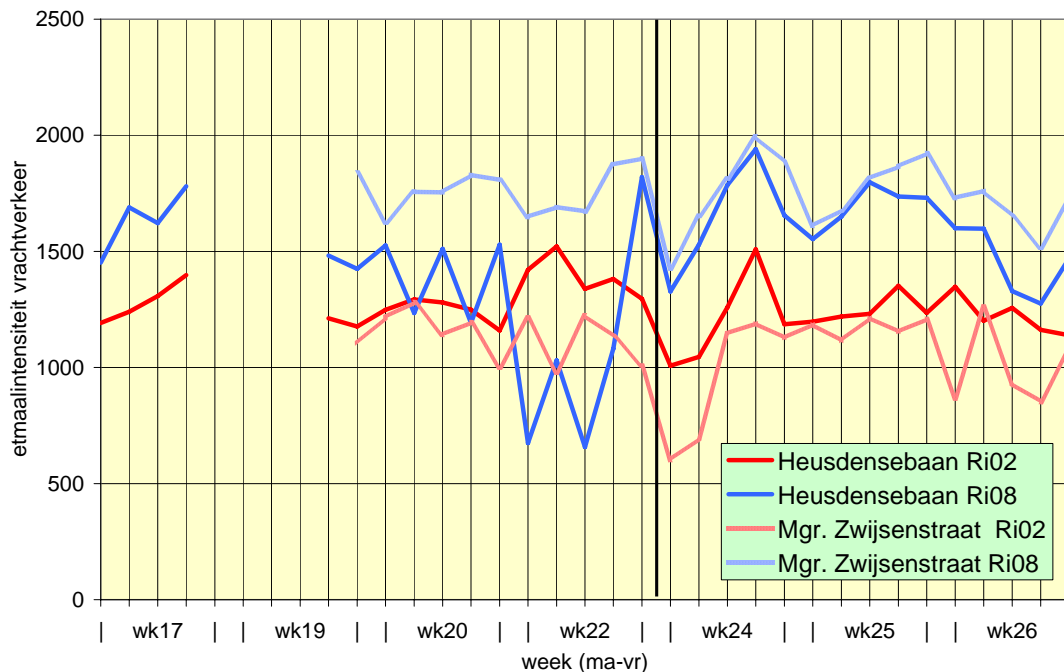
Binnen deze studie moeten de detectiesystemen als ‘black boxes’ worden beschouwd. Het is niet bekend welke criteria zij (geacht worden te) hanteren om een voertuig als vrachtwagen of bus aan te merken. Wel is bekend dat zij het verkeer met videocamera's waarnemen. De systemen zetten, per rijstrook, een speciaal detectiesignaal op bij detectie van een vrachtwagen of bus. Hiermee is de intensiteit van het vrachtverkeer bepaald. De rijstroken worden verder niet onderscheiden.

Figuur 5 toont de etmaalintensiteit van het gedetecteerde vrachtverkeer op de richtingen 02 en 08 van beide kruispunten. De verticale lijn tussen week 22 en 24 geeft de scheiding aan tussen de perioden Tovergroen AAN en Tovergroen UIT. Hierin valt een aantal zaken op:

- In de eerste twee weken ontbreken de data van de VRI N65 / Mgr. Zwijzenstraat bijna volledig, en van de VRI N65 / Heusdensebaan voor een aantal dagen. Dit is het gevolg van sto-

ringen bij het downloaden van de MV-files. Daarom geldt hier hetzelfde als voor ‘alle verkeer’ is gevonden.

- Het waargenomen vrachtverkeer schommelt sterk van dag tot dag; er is geen duidelijk weekverloop te onderkennen.
- Richting 08 van kruispunt Heusdensebaan vertoont tot en met 1 juni (donderdag week 22) veel minder verkeer dan richting 08 van kruispunt Mgr. Zwijssenstraat. Op maandag en woensdag in die week is het verschil meer dan een factor 2; ook de dinsdag ligt ver onder het gemiddelde. Echter vanaf 2 juni (vrijdag week 22) lopen de richtingen 08 van beide kruispunten weer behoorlijk in de pas. Dit wekte de gedachte aan een storing die later is opgelost; echter voorzover bekend hebben geen werkzaamheden plaatsgehad in week 22.

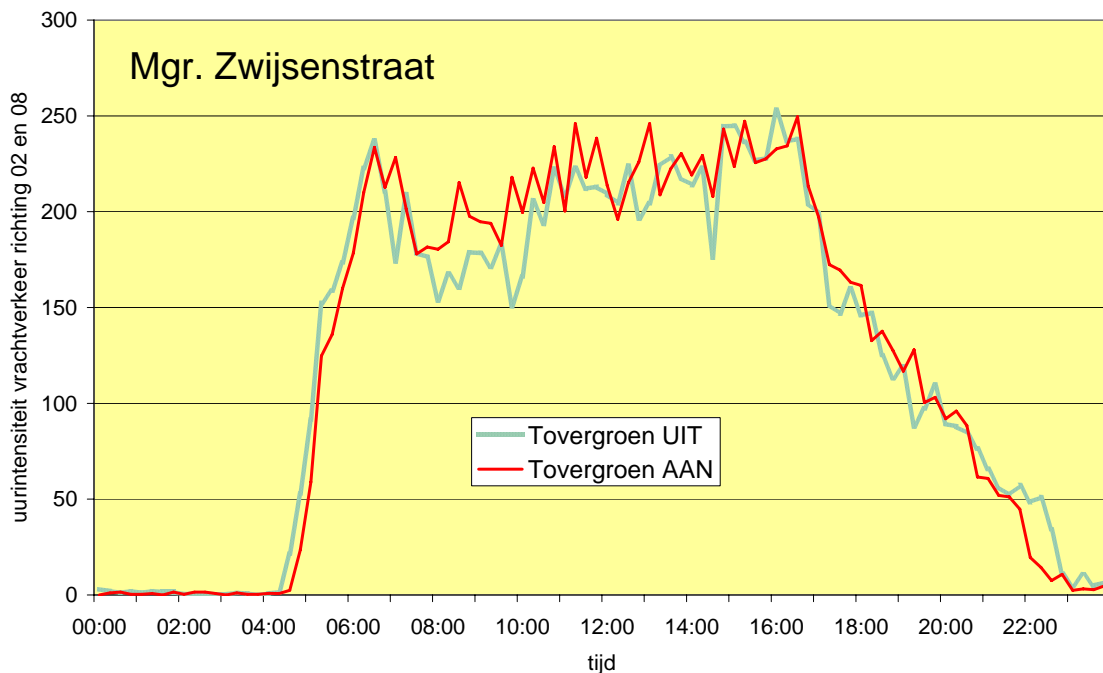


Figuur 5: Intensiteitverloop onderzoeksweken waargenomen vrachtverkeer

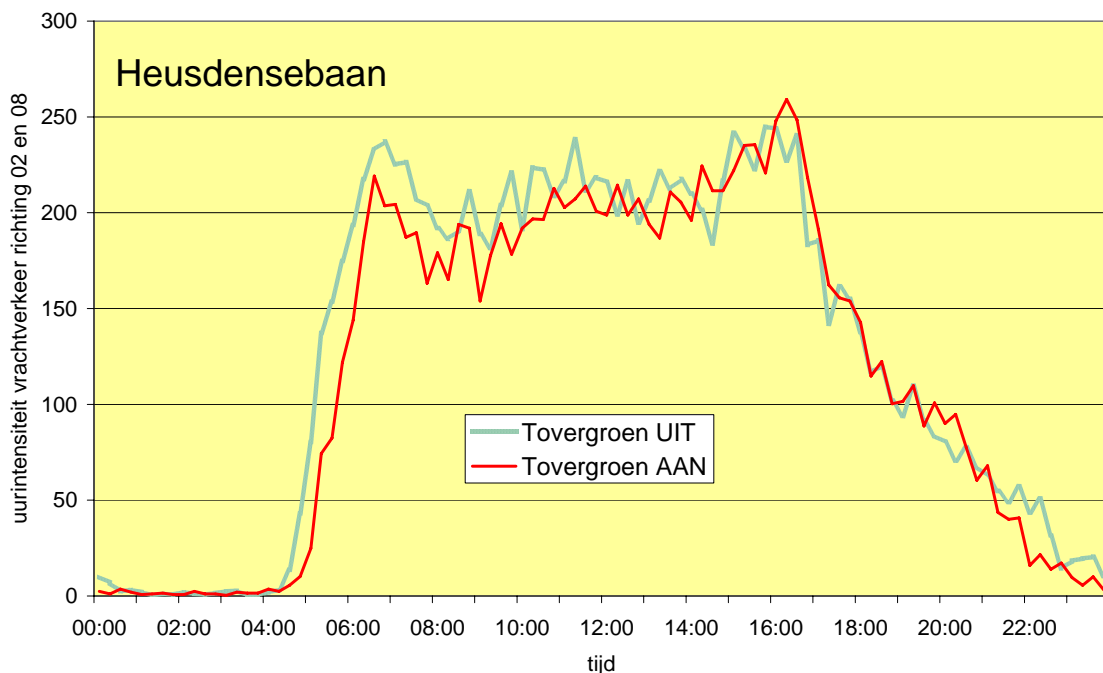
- Beide kruispunten lopen behoorlijk met elkaar in de pas.
- Vergelijking van de richtingen 02 en 08 suggereert dat er 25-30% meer vrachtverkeer naar ‘s-Hertogenbosch rijdt (Ri08) dan naar Tilburg (Ri02). Vanaf 2 juni is dit verschil vrijwel constant. Een dergelijke verhouding lijkt uiterst onwaarschijnlijk. Het etmaalgemiddelde motorvoertuigen totaal is voor beide richtingen vrijwel gelijk (over de onderzoeksweken 0,8% verschil).
- Richting 02 van kruispunt Heusdensebaan vertoont duidelijk meer vrachtverkeer dan richting 02 van kruispunt Mgr. Zwijssenstraat. Het is *niet* aannemelijk dat dit werkelijk zo is.
- Op maandag 12 en dinsdag 13 juni (week 24) vertonen de detectiesystemen alle vier een ongewoon lage intensiteit. Het totale verkeer daarentegen vertoont op deze dagen een normaal beeld. Nader onderzoek leert dat het op beide dagen zeer warm en zeer zonnig was: maximumtemperatuur > 30°C en relatieve zonneschijnduur > 90%. Vergelijkbare omstandigheden zijn niet voorgekomen op andere onderzoeksdagen. Nader onderzoek leert dat de scores vooral tussen 8:00 en 16:00 uur zeer laag zijn, maar daarbuiten niet van andere dagen afwijken. Ofwel het probleem speelt niet in het bijzonder bij lage zonnestand. De uren suggereren eerder een verband met de bezonning, en daardoor de verhitting van het wegdek. Omstreeks 16 uur staat de zon in de weg en is het wegdek door de bomen beschaduw.

Hier kan reeds worden geconcludeerd dat tenminste een deel van de detectiesystemen niet betrouwbaar functioneert. Bij de observatie (zie paragraaf 4.4) wordt hierop nader ingegaan.

Figuur 6 en 7 tonen het intensiteitspatroon van het gedetecteerde vrachtverkeer over het etmaal van beide kruispunten. De cijfers op de Y-as zijn de uurwaarden (feitelijk kwartierwaarden * 4) van de intensiteiten.



Figuur 6: Intensiteitverloop vrachtverkeer kruispunt Mgr. Zwijsenstraat over het etmaal



Figuur 7: Intensiteitverloop vrachtverkeer kruispunt Heusdensebaan over het etmaal

Het vrachtverkeer vertoont een duidelijk ander etmaalpatroon dan het totale verkeer. Er zijn geen uitgesproken spitsen maar wel lichte pieken rond 6:30 en 16:00 uur. Tussen deze tijdstippen is het gemiddelde vrij constant. Tussen 4:30 en 6:30 uur stijgt de intensiteit in rechte lijn. Tussen 16:30 en 17:45 uur is er een abrupte daling tot 60% van het niveau van 16:00 uur, daarna neemt het verkeer geleidelijk af tot 23:00 uur.

Tussen 23:00 en 4:30 uur is zeer weinig vrachtverkeer waargenomen. Dit is geheel naar ver-

wachting, maar toch wordt ook een verband met lichtomstandigheden (als gevolg van slechtere detectie bij duisternis) vermoed. In de eerste onderzoeksweken, met kortere dagen, is de score aan de randen van de nacht lager dan in de laatste weken.

3.4 Selectiecriteria

Om zo zuiver mogelijk het effect van Tovergroen te meten, zullen andere factoren die invloed hebben op de verkeersafwikkeling zoveel mogelijk moeten worden uitgesloten. De volgende factoren kunnen reden zijn om een meetdag of –periode niet mee te nemen in de kwantitatieve analyses:

1. onbruikbare of niet beschikbare meetgegevens binnen de vastgestelde ochtendspits, daluren en avondspits;
2. feestdagen en vakantiedagen, niet-werkdagen;
3. afwijkend verkeersaanbod;
4. wegwerkzaamheden / omleidingen;
5. weersomstandigheden;
6. calamiteiten.

Ad 1: Onbruikbare of niet beschikbare meetgegevens

Voor kruispunt Mgr. Zwijzenstraat zijn in week 17 geen data beschikbaar. In week 19 zijn data beschikbaar vanaf donderdag 11 mei na de ochtendspits.

Voor kruispunt Heusdensebaan zijn geen data beschikbaar van vrijdag 28 april (week 17). In week 19 zijn geen data beschikbaar van maandag 8 mei daluren en avondspits, dinsdag 9 mei hele dag, en woensdag 10 mei ochtendspits.

Ad 2: Feestdagen en vakantiedagen

Feestdagen, alsmede de algemene meivakantie, zijn reeds uitgesloten door de keuze van de onderzoeksweken. Ook de weken waarin Hemelvaartsdag en Tweede Pinksterdag vallen zijn om deze reden niet gekozen.

Ad 3:afwijkend verkeersaanbod

Eén dag wijkt duidelijk af wat betreft het totale verkeer, en dat is vrijdag 16 juni (week 24). Oorzaak is ongetwijfeld de WK voetbalwedstrijd Nederland – Ivoorkust.

Wat betreft het vrachtverkeer moet worden uitgegaan van de registratie van de selectieve detectiesystemen. Of een afwijkend verkeersbeeld van vrachtverkeer reëel is of verband houdt met de werking van deze systemen, is niet van belang voor de selectie van onderzoeksdagen. De volgende dagen worden als afwijkend aangemerkt; het betreft steeds een afwijking naar beneden:

- Maandag 29, dinsdag 30 en woensdag 31 mei (week 22) alleen voor kruispunt Heusdensebaan. Een oorzaak is niet bekend.
- Maandag 12 juni en dinsdag 13 juni (week 24) voor beide kruispunten. Een verband met het weer (zeer zonnig en maxima > 30°C) lijkt hier waarschijnlijk. Zie ook Ad 6.

Ad 4: wegwerkzaamheden / omleidingen

In de avond van vrijdag 23 juni en de nacht en vroege ochtend van maandag 26 juni is in de rijrichting naar Tilburg het effect zichtbaar van werkzaamheden op de A2 tussen 's-Hertogenbosch en Eindhoven. Daarbij is het verkeer o.a. omgeleid via de N65. De invloed hiervan is echter verwaarloosbaar, de uren waarop de omleiding gold vallen buiten de analyseperioden.

Ad 5: weersomstandigheden

Weersomstandigheden kunnen op twee manieren het waar te nemen verkeer beïnvloeden:

- Extreme omstandigheden als storm, gladheid en dichte mist leiden ertoe dat niet wordt gereden of dat de rit wordt uitgesteld, zodat minder verkeer wordt waargenomen; daarnaast zal het gedrag van bestuurders die toch rijden hierdoor worden beïnvloed. Dit soort omstandigheden is gedurende de onderzoeksperiode niet voorgekomen.

- Omstandigheden zoals regen (met name bij duisternis), of laagstaande felle zon, beïnvloeden eveneens het gedrag van bestuurders.

Om de hoeveelheid regen te beoordelen zijn meetgegevens gebruikt van de twee dichtstbijzijnde KNMI-meetpunten: Gilze-Rijen (op circa 19 km) en Eindhoven (circa 22 km). Door de afstand blijft er enige onzekerheid wat betreft de neerslag ter plaatse van de kruispunten op de N65. Het gehanteerde criterium voor een grote hoeveelheid neerslag is meer dan 2 mm binnen één uur van de analyseperiode (spits of dal). Uit de neerslaggegevens blijkt dat op de volgende dagen dit criterium mogelijk is overschreden:

- 19 mei tijdens ochtendspits: in Eindhoven 3,6 mm in 4 uur, in Gilze-Rijen 4,0 mm; maximaal 1,3 mm per uur;
- 14 juni tijdens avondspits: in Gilze-Rijen 3,9 mm in 1 uur en 6 mm in 4 uur, in Eindhoven echter niets.

Op 19 mei is vrij zeker dat het ter plaatse heeft geregend, maar niet dat de 2 mm in een uur is gehaald. De regen van 14 juni is 4 uur later langs Eindhoven getrokken, zodat de kans bestaat dat op de N65 in het tweede deel van de avondspits regen is gevallen.

Bij deze hoeveelheid regen is invloed op het rijgedrag te verwachten; in het bijzonder mag worden verwacht dat vrachtauto's de kruising langzamer naderen, ook bij groen licht.

Tevens wordt hier vermeld dat op maandag 12 juni en dinsdag 13 juni (week 24) op beide kruispunten afwijkende (lage) aantallen vrachtauto's zijn waargenomen. Invloed van het weer (zeer zonnig en maxima $> 30^{\circ}\text{C}$) op het functioneren van de detectiesystemen voor vrachtverkeer is de waarschijnlijke oorzaak.

Ad 6: calamiteiten

Bij beschouwing van de kwartierintensiteiten van richtingen 02 en 08 afzonderlijk zijn enkele dips zichtbaar die wijzen op verstoringen waarvan de oorzaak waarschijnlijk verder weg ligt. De meest opvallende afwijking is te zien op de richtingen 02 op donderdag 29 juni: tussen 16:30 en 17:30 uur ligt de intensiteit 20% onder het gemiddelde, en daarna tot na 19:00 uur erboven. Vermoed wordt een oorzaak bovenstreams.

3.5 Keuze onderzoeksdagen

Om een goede vergelijkbaarheid tussen resultaten voor Tovergroen AAN en Tovergroen UIT te bereiken, zonder allerlei correctieprocedures, worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- evenveel onderzoeksdagen Tovergroen AAN en Tovergroen UIT;
- zo mogelijk hele weken; anders zo mogelijk gelijke aantal dagen per dagsoort;
- beschikbaarheid van betrouwbare gegevens van het selectieve detectiesysteem weegt zwaarder dan storende factoren die gedurende korte tijd spelen.

Deze uitgangspunten hebben tot de volgende keuze geleid:

Tovergroen AAN, kruispunt Mgr. Zwijsenstraat:

De MV-data zijn beschikbaar voor de volgende dagen:

- donderdag 11 mei (week 19) na de ochtendspits;
- vrijdag 12 mei (week 19);
- maandag 15 tot en met vrijdag 19 mei (week 20);
- maandag 29 mei tot en met vrijdag 2 juni (week 22).

Er zijn geen *ongeschikte* dagen. Minder geschikt is vrijdag 19 mei (week 20) wegens regen in de avondspits. Daarom zijn voor kruispunt Mgr. Zwijsenstraat de volgende perioden gekozen:

- vrijdag 12 mei (week 19);
- maandag 15 tot en met donderdag 18 mei (week 20);
- maandag 29 mei tot en met vrijdag 2 juni (week 22).

Tovergroen AAN, kruispunt Heusdensebaan:

De MV-data zijn beschikbaar voor de volgende dagen:

- maandag 24 april (week 17) na de ochtendspits;
- dinsdag 25 tot en met donderdag 27 april (week 17);
- maandag 8 mei (week 19) alleen de ochtendspits;
- woensdag 10 mei (week 19) na de ochtendspits;
- donderdag 11 en vrijdag 12 mei (week 19);
- maandag 15 tot en met vrijdag 19 mei (week 20);
- maandag 29 mei tot en met vrijdag 2 juni (week 22).

De volgende dagen zijn *ongeschikt*:

- maandag 29, dinsdag 30 en woensdag 31 mei (week 22): afwijkend aanbod vrachtverkeer (lage detectiescore) op richting 08.

Minder geschikt is vrijdag 19 mei (week 20) wegens regen in de avondspits.

Door het uitvallen van 29 mei is 15 mei de enige beschikbare maandag. Echter van 24 april en 8 mei zijn complementaire dagdelen beschikbaar. Daarom is besloten deze te combineren.

De onderzoeksperioden voor kruispunt Heusdensebaan worden daarmee als volgt:

- maandag 24 april (week 17) na de ochtendspits;
- dinsdag 25 en woensdag 26 april (week 17);
- maandag 8 mei (week 19) alleen de ochtendspits;
- vrijdag 12 mei (week 19);
- maandag 15 tot en met donderdag 18 mei (week 20);
- donderdag 1 en vrijdag 2 juni (week 22).

Tovergroen UIT, beide kruispunten:

De MV-data zijn beschikbaar van maandag 12 juni (week 24) tot en met de ochtendspits van vrijdag 30 juni (week 26). De volgende dagen zijn *ongeschikt*:

- maandag 12 en dinsdag 13 juni (week 24): afwijkende waarnemingsresultaten vrachtverkeer, vermoedelijk wegens weersinvloed op de detectiesystemen;
- vrijdag 16 juni (week 24): afwijkend verkeersaanbod wegens voetbal.

De volgende dag is *minder geschikt*:

- woensdag 14 juni (week 24) wegens mogelijke regen van betekenis in de avondspits.

De weken 25 en 26 zijn in hun geheel bruikbaar, met uitzondering van vrijdag 30 juni (week 26). Voor vrijdag 30 juni moet een alternatief worden gezocht in week 24. Vrijdag 16 juni is niet bruikbaar (invloed WK voetbal), zodat een andere dagsoort moet worden gekozen. Qua verkeersaanbod lijken dinsdag en woensdag het meest op vrijdag. Echter de dinsdag is ongeschikt, en de woensdag minder geschikt. Daarom is gekozen voor donderdag 15 juni.

De onderzoeksdagen Tovergroen UIT worden hiermee:

- donderdag 15 juni (week 24);
- maandag 19 tot en met vrijdag 23 juni (week 25);
- maandag 26 tot en met donderdag 29 juni (week 26).

4 Resultaten observatie

4.1 Inleiding

De observatie vond plaats op de volgende dagen:

- Tovergroen AAN: donderdag 18 mei (week 20), circa 6:30 – 18:30 uur
- Tovergroen UIT: donderdag 22 juni (week 25), circa 13:45 – 19:00 uur.

De waarnemers hadden toegang tot de regelautomaat om LED-indicaties, detectorverklikking, actuele parameterinstellingen e.d. te bekijken. Ze verplaatsten zich geregeld tussen de kruispunten, de een per auto en de ander per fiets, om zo ook als weggebruiker te kunnen waarnemen.

Bij de observatie is gelet op de volgende zaken die in de opdrachtbeschrijving zijn gevraagd:

- algemene indruk;
- werking Tovergroen;
- behandeling vrachtwagen/bus na toekenning tovergroen;
- lengte wachtrijen.

Daarnaast is een aantal aspecten van de regeling geobserveerd die ter plaatse de aandacht trokken:

- score van de selectieve detectiesystemen;
- juiste werking van enkele detectielussen;
- verlengen van de dwarsrichtingen;
- werking van de adaptieve regeling.

Ter ondersteuning van de kwantitatieve analyse zijn afrijtijden van zware vrachtwagens gemeten.

De weersomstandigheden op beide dagen waren vergelijkbaar: nagenoeg droog, geheel tot wisselend bewolkt (totaal circa 20% zon) en gematigde temperaturen.

Tenzij anders aangeduid, gelden de waarnemingen voor beide kruispunten en voor beide onderzoeksdagen.

4.2 Regelapplicaties

Onderdeel van de observatie is het kennismaken van de regelapplicaties en van hun werking.

Beide regelapplicaties dragen 17-02-2005 als datum van laatste wijziging. Een aantal opvallende zaken die op andere plaatsen in dit rapport terugkomen wordt hier vermeld.

- Wachtstand: overdag geldt een wachtstand groen voor alleen de richtingen 02 en 08. Tussen 23:00 en 06:00 uur geldt een wachtstand rood. Deze wordt in de nachtelijk uren toegepast ter bevordering van de veiligheid, om zo tegen te gaan dat verkeer op N65 de kruispunten met (te) hoge snelheid nadert.
- Blokstructuur: er is een vaste fasenvolgorde, namelijk: recht door N65 – linksaf N65 - dwarsverkeer fiets – dwarsverkeer auto. Deze richtingen kunnen eenmaal per cyclus realiseren. Alleen de rechtsaffers van de N65 en de parallelle fietsers beschikken over alternatieve realisaties.
- De koplussen op de N65 en op alle fietsrichtingen hebben een bezettijd van 2,0 s.

- De parameters waarin de afstanden voor Tovergroen worden ingesteld (EG_AFSTAND1_02 enz.), houden in VRI N65 / Heusdensebaan geen rekening met de verweglussen op 120 m.
- De ‘bijzondere ingrepen’ waarmee Tovergroen-meldingen in de MV-file worden geschreven, worden niet gerealiseerd. Hierdoor gaan meldingen verloren wanneer meer dan 1 melding in dezelfde applicatieronde moet worden geschreven.
- De hulpfuncties die de toestand extragroen bijhouden (HF_EXTRAGROENxx) worden opgezet zodra een richting met tovergroen in meeverlenggroen komt. Als dit meeverlenggroen ook zonder tovergroen zou zijn vastgehouden (bijvoorbeeld als richting 02 met 08 meeverlengt), wordt niet de toestand extragroen gesignaleerd waarvan de maximumduur wordt ingesteld in de parameter EP_TOVERGROENxx. Zie ook 5.8.1.

4.3 Algemene indruk

4.3.1 N65

Op de N65 is het verkeersaanbod van minuut tot minuut sterk wisselend. Cycli waarin de capaciteit van de kruispunten wordt benaderd wisselen af met cycli waarin nauwelijks verkeer aankomt. Dit effect zal door bovenstroomse VRI's worden veroorzaakt; op richting 02 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat, waar de eerstvolgende VRI op 3 km afstand staat, is het aanbod regelmatig dan op richting 08 en op kruispunt Heusdensebaan.

De kruispunten zijn niet overbelast, van filevorming is geen sprake; het verkeersaanbod kan goed worden verwerkt. De VRI N65 / Mgr. Zwijzenstraat verkeert tussen de spitsen veel in wachtstand groen, het aantal cycli loopt dan terug tot 20 per uur. De VRI N65 / Heusdensebaan vertoont veel minder vaak wachtstand.

Vrachtverkeer is in ruime mate aanwezig. Opvallend hierbij is de pelotonvorming: men ziet vaak groepjes van 3 tot 5 zware vrachtwagens op de rechtterijstrook, met wel een enkele personenauto ertussen. Er is meer zwaar verkeer (gelede vrachtwagens) dan middelzwaar. Er zijn vrij veel bussen; dit betreft groeps- en toervervoer, de kruispunten worden niet door lijndiensten aangedaan.

Het afslaand verkeer van de N65 wordt correct verwerkt; de gebruikte blokstructuur leidt echter tot een ongeloofwaardig beeld. Na een vroege realisatie van bijvoorbeeld Ri03 kan Ri08 niet terugkomen als er dwarsverkeer heeft aangevraagd. Vervolgens kan Ri02 nog geruime tijd (tot wel 50 s) doorverlengen, waarbij Ri03 in meeverlenggroen blijft, vaak zonder enig verkeer. Op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is het opstelvak van richting 07 soms onbereikbaar; dit leidt slechts zelden tot dubbele stops.

4.3.2 Dwarsverkeer auto

Op de richtingen 05 en 11 is weinig rechtdoorgaand verkeer. Het afslaand verkeer naar de N65 overheerst. Het dwarsverkeer wordt, bij enige omvang, *niet* goed verwerkt. Er spelen twee problemen:

- De ingestelde hiaattijden zijn te krap voor de detectieconfiguratie. Hierdoor verlengen de richtingen niet goed. Zo is in de avondspits op richting 05 van kruispunt Heusdensebaan waargenomen, dat bij een maximumgroentijd van 25 tot 30 seconden (ingesteld door de adaptieve regeling), de gerealiseerde groentijd maximaal 12 s bedroeg. Hierbij bleven meerdere voertuigen overstaan. Uiteraard wordt onder deze omstandigheden veel door rood gereden.
- De richtingen 05 en 11 zijn in deelconflict, maar de kruispunten zijn niet ingericht om linksaffers voor elkaar langs te laten rijden. Er is in het geheel geen markering voor het dwarsverkeer, en door brede geleiders in de zijtakken is alleen ‘om elkaar heen’ in een vloeiende beweging mogelijk. Dit speelt op beide kruispunten. Vooral op kruispunt Heusdensebaan leidt het tot problemen:
 - Linksafslaand verkeer van Ri05 en Ri11 rijdt in de regel om elkaar heen. Dit vergroot het risico van blokkade.

- Linksafslaand verkeer rijdt af naar *beide* rijstroken van de N65. Dit is ongewenst omdat er gelijktijdig rechtsafslaand verkeer van de tegenrichting is.
 - Op Ri05 stelt het verkeer zich in twee rijen op, terwijl geen opstelstroken zijn gemarkeerd. Dit brengt het risico van conflicterende bewegingen met zich mee.
- Door deze problemen loopt op kruispunt Heusdensebaan het dwarsverkeer regelmatig vast, waarbij auto's midden op het kruispunt blijven overstaan.

Op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat ontstaan zelden problemen door het deelconflict, omdat richting 11 hier weinig verkeer heeft.

Een versturende factor op beide kruispunten zijn de aansluitingen met de parallelweg zuidzijde, telkens op circa 15 m van de stopstreep van richting 05. Deze zijn niet afgekruist.

4.3.3 (Brom)fietsrichtingen

De fietsvoorzieningen op de kruispunten zijn niet afgestemd op het feitelijk gebruik in twee richtingen van de fietspaden en parallelwegen van de N65. In mindere mate worden ook de oversteken over de N65 in twee richtingen bereden.

Alle fietsrichtingen worden met de drukknop aangevraagd. De lusdetectie (alleen op kruispunt Heusdensebaan) heeft een aanvraagfunctie na bezettijd, maar werkt niet altijd overtuigend.

Voor overstekende fietsers functioneren de regelingen correct. De ontruimingstijden over en weer zijn zeker niet te kort. Bestuurders die de richtingen berijden in de rijrichting waarvoor ze zijn bedoeld, vertonen een relatief hoge mate van roodlichtdiscipline.

Voor de richtingen parallel aan de N65 functioneren de regelingen eveneens correct. Voor de bestuurders zijn ze echter niet geloofwaardig:

- Op kruispunt Heusdensebaan gaan de richtingen 24 en 28 alleen op drukknopaanvraag naar groen. Een aankomende fietser op bijvoorbeeld richting 24 ziet naast het rode licht meestal richting 08 in groen en richting 07 hetzij in rood, hetzij in groen zonder verkeer.
- Op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat worden richtingen 24 en 28 mee aangevraagd met Ri08 respectievelijk Ri02, zodat hier vaker groen licht is te zien. Echter na realisatie van een rechtsaffer ontstaat hetzelfde beeld als op kruispunt Heusdensebaan.

4.4 Detectiesystemen Tovergroen

De detectiesystemen staan opgesteld ter plaatse van de voorwaarschuwingssignalen, op 300 m van de stopstreep van de richtingen 02 en 08. Er staan grote bomen die de rijbaan overdekken, maar de camera's hebben vrij uitzicht. Zichtbelemmering door overhangende takken is ook bij harde wind en regen niet te verwachten.

De detectie is onderzocht door gelijktijdige waarneming van naderend verkeer en van de LED-indicaties in de regelautomaat. Vanaf de regelautomaten is uitstekend zicht op richting 02. Het zicht op richting 08 is vooral op kruispunt Heusdensebaan wat minder.

Waargenomen is dat de detectiesystemen gebrekkig werken en grote onderlinge verschillen vertonen. Exacte scores van juiste detectie kunnen niet worden bepaald, omdat niet bekend is welke criteria worden gehanteerd, bijvoorbeeld wat de ondergrens voor de lengte is. Duidelijk is wel dat korte ongelede voertuigen (lengte 8-10 m) relatief vaker worden gemist.

Er is geprobeerd enig zicht te krijgen op de factoren die bepalen of een voertuig gedetecteerd wordt. Duidelijke verbanden konden niet worden vastgesteld. De volgende factoren lijken bij te dragen tot het *niet* detecteren van vrachtwagens:

- witte of grijze opbouw (in tegenstelling tot felle of donkere kleuren);
- halfopen opbouw (veewagens);
- snelheid vrachtverkeer aan de onderkant van het bereik (40-50 km/u);
- druk verkeer van personenauto's op de linkerrijstrook.

De volgende tabel geeft een globale indicatie van de score. De percentages zijn het minimum en maximum over twee onderzoeksdagen en 2 waarnemers, en gelden ten opzichte van het werkelijke (visueel waargenomen) aantal vrachtwagens en bussen.

Tabel 2: Score van de Tovergroen-detectiesystemen (indicatief, momentopnames)

Kruispunt en richting	Score vrachtwagens	Onjuist (geen vrachtwagen/bus)	Score bussen
Mgr. Zwijsenstraat, richting 02	50-60%	0%	slecht
Mgr. Zwijsenstraat, richting 08	90-95%	5-15%	goed
Heusdensebaan, richting 02	60-70%	0-5%	gemiddeld
Heusdensebaan, richting 08	60-85%	5-10%	gemiddeld

Dat een hoge score gepaard gaat met wat meer onterechte detecties is natuurlijk niet verrassend. Het gaat dan om voertuigen als personenauto's met caravan, busjes met aanhangert, of grote campers (foto).

4.5 Verkeerskundige werking Tovergroen

De volgende verkeerskundige aspecten van Tovergroen zijn geobserveerd:

1. toekenning tovergroen;
2. aansturing van de signaalgevers;
3. vasthouden van het groen.

Ad 1. Toekenning tovergroen

Volgens de applicatiecode wordt tovergroen onder de volgende voorwaarden toegekend:

- De richting verkeert in groen, tussen start groen en einde 2^e VAG.
- De vrachtwagen kan (op basis van zijn gemeten snelheid) de stopstreep halen in de 'resterende' tijd. Dat is de tijd tot aan de maximumgroentijd, vermeerderd met de toegestane extragroen-tijd (EP_TOVERGROENxx).
- Op start groen staat de wachtrij niet voorbij de verweglussen. Is dat wel zo, dan wordt geen tovergroen toegekend in die cyclus. Het criterium hiervoor is dat minstens één verweglus op start groen bezet is en reeds 2 of 3 seconden is bezet. Op kruispunt Heusdensebaan zijn er vier verweglussen op richting 02 en 08, op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat is er (vanuit de software gezien) telkens één verweglus. Alle zijn korte lussen.



Op het bedieningspaneel van de automaten wordt het tovergroen verklikt, maar niet de condities die tovergroen verhinderen.

Waargenomen is, dat de toekenning van tovergroen overeenkomt met de beschrijving en met de werking die de applicatiecode beoogt. In die zin werkt het technisch correct. Dit betekent wel dat in veel gevallen geen tovergroen wordt toegekend aan een gedetecteerde vrachtwagen of bus, terwijl de waarnemer ziet dat tovergroen wel mogelijk is. Dit is in de volgende situaties het geval:

- De richting gaat pas naar groen op enkele seconden na het moment van detectie. Meestal past de vrachtwagen dan nog ruim in de groenfase; maar op stille momenten komt het voor dat de vrachtwagen het niet meer haalt.
- Er staat (kennelijk, dit is vanaf de automaat niet altijd zichtbaar) op start groen een wachtrij tot aan de verweglussen. Zo'n wachtrij is in 30-40 s volledig afgereden, maar een groenduur van 60-80 s tot einde 2^e VAG is niet uitzonderlijk (zie volgende paragraaf over adaptieve regeling). Bij een lange groenfase is er dan geen reden meer om Tovergroen te blokkeren.

De functie om de wachtrij tot aan de verweglussen te detecteren is niet waterdicht. Ongeacht de wachtrijlengte is er kans dat geen enkele verweglus bezet is. De kans op het missen van de wachtrij wordt als volgt ingeschat:

- kruispunt Mgr. Zwijsenstraat: 8%;
- kruispunt Heusdensebaan: < 1%.

Op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat is inderdaad waargenomen dat tovergroen werd toegekend bij een duidelijk langere wachtrij.

Van onterechte toekenning van tovergroen lijkt ook sprake wanneer een vrachtwagen afslaat. Dit is niet te voorkomen, omdat het detectiepunt ver voor het begin van de opstelstroken ligt.

Ad 2. Aansturing signaalgevers

In de applicatiecode wordt voorspeld wanneer een vrachtwagen met Tovergroen de signaalgever nadert. De signaalgever licht op zolang de vrachtwagen zich volgens deze voorspelling tussen 40 en 10 m afstand bevindt. Afhankelijk van de snelheidsklasse is dat tussen 2,7 en 1,3s bij één solitaire vrachtwagen, maar langere tijden komen voor bij meer vrachtwagens achter elkaar of in beide rijstroken.



De aansturing van de signaalgever op richting 08 van kruispunt Mgr. Zwijsenstraat is geobserveerd. Deze richting is gekozen omdat zij het hoogste scoort bij detectie van vrachtwagens; dat is belangrijk omdat een waarnemer die bij de signaalgever staat, van een passerende vrachtwagen niet weet of die is gedetecteerd.

Tabel 3 geeft het beeld van de signaalgever vanuit de naderende verkeersstroom. De waarneming vond plaats tegen de middag. De waarnemer zat op 40 m van het bord (normaal wordt vanaf dat punt de signaalgever aangestuurd). Telkens wanneer een vrachtwagen of bus langs kwam is gekeken naar de aansturing van het bord en vervolgens of het voertuig wel of niet kon doorrijden. Bedenk dat dit een momentopname is.

Aansturing terwijl de vrachtwagen niet kon doorrijden is een situatie die niet zou mogen voorkomen en een veiligheidsrisico met zich meebrengt. Waarschijnlijke oorzaak hier is afremmen voorbij het detectiepunt. Detectiestoringen zouden ook deze situatie kunnen veroorzaken, vooral als geen ander verkeer dan de vrachtwagen zich in het detectieveld bevindt.

De situatie 'niet aangestuurd/doorrijden wel mogelijk' hangt samen met langdurig meeverlengegroen en een relatief klein verkeersaanbod. In de resultaten zit ook het effect van het missen van vrachtwagens door het selectieve detectiesysteem

Tabel 3: Aansturing signaalgever vanuit gezichtspunt weggebruiker

Mgr. Zwijsenstraat richting 08	Doorrijden mogelijk	Doorrijden niet mogelijk
Signaalgever wel aangestuurd	95%	5%
Signaalgever niet aangestuurd	40%	60%
	Signaalgever aangestuurd	Signaalgever niet aangestuurd
Doorrijden wel mogelijk	71%	29%
Doorrijden niet mogelijk	3%	97%

Gelijktijdig is beoordeeld of de aansturing van de signaalgever tijdig plaatsvindt, namelijk wanneer het voertuig waar het signaal voor is bestemd zich tussen 40 en 10 m bevindt. Zie volgende tabel. Bij de categorieën 'tijdig', 'te vroeg' en 'te laat' is duidelijk voor welk voertuig het signaal is bestemd. Bij 'niet te bepalen' is dat niet duidelijk, of is er in het geheel geen vrachtwagen in de buurt.

Te late aansturing treedt vooral op bij vrachtwagens die ruim boven 80 km/u rijden (wat een overtreding is).

Tabel 4: Tijdigheid aansturing signaalgever ten opzichte van naderende vrachtwagen/bus

Mgr. Zwijsenstraat, richting 08	Tijdig	Te vroeg	Te laat	Niet te bepalen
Aansturing signaalgever	73%	8%	8%	11%

Ad 3. Vasthouden van het groen

Het vasthouden van het groen na toekenning tovergroen werkt als volgt:

- Gedurende een 'overbruggingstijd', waarbinnen de vrachtwagen het detectieveld moet bereiken, wordt het groen onvoorwaardelijk vastgehouden.
- Vervolgens wordt gedurende een 'meet criteriumtijd', waarbinnen de vrachtwagen de stopstreep moet bereiken, het groen vastgehouden zolang een eerste of tweede hiaattijd loopt.

Beide tijden worden dynamisch bepaald uit afstand en snelheids categorie.

Geobserveerd is of het groen voldoende lang maar niet onnodig lang wordt vastgehouden voor een vrachtwagen waaraan tovergroen is toegekend. Voor alle richtingen geldt dat het groen (ruimschoots) voldoende lang wordt vastgehouden, namelijk tot na het passeren van de stopstreep. Dit terwijl de normale detectieafhandeling erop is gericht om de halve geeltijd te benutten, wat voor de richtingen 02 en 08 neerkomt op 2,5 s. Uit oogpunt van capaciteitsbenutting en wachttijd voor conflicterend verkeer wordt derhalve het groen onnodig lang vastgehouden.

Indicatief kan worden gesteld dat de groenduur correct is op richting 02 van kruispunt Mgr. Zwijsenstraat, en te lang op de andere tovergroenrichtingen. De dynamische bepaling van overbruggings- en meet criteriumtijd leidt tot ruime tijden, vooral omdat met de ondergrens van de snelheids categorie wordt gerekend. Weliswaar eindigt de meet criteriumtijd zodra geen hiaattijd meer loopt, maar als zich na de vrachtwagen nog voertuigen in het detectieveld bevinden, zullen deze de meet criteriumtijd volmaken.

4.6 Adaptieve regeling

Vanwege de samenhang met Tovergroen is enige aandacht besteed aan de werking van de adaptieve regeling die in beide VRI's is opgenomen.

- De afrijcapaciteiten voor de adaptieve regeling op de richtingen 02 en 08 zijn met 1800 motorvoertuigen per uur per rijstrook te laag ingesteld. Hierdoor worden de vereiste cyclustijd en maximumgroentijden overschat.
- De gebruikte Websterformule is $(F_1 * T_v + F_2) / 1 - Y$ met $F_1 = 1,5$ en $F_2 = 5$. De waarde 1,5 van F_1 hoort bij de klassieke berekening van de optimale cyclustijd van een *starre* regeling, wat een geheel andere situatie is dan online-optimalisatie van een voertuigafhankelijke regeling. Doorgaans zal hiermee een 10 à 15% langere cyclustijd worden berekend dan met $F_1 = 1,2$.

- Opmerkelijk is ook dat de parameters van de Websterformule als getal in de programmacode zijn vastgelegd en dus niet instelbaar zijn.
- De maximumgroentijden op de richtingen 02 en 08 van VRI N65 / Heusdensebaan werden berekend op 100 seconden. Dit is de bovengrens van de in te stellen waarde. Het kruispunt is in principe niet overbelast, maar volgens de adaptieve regeling wel.
- Op het hoogtepunt van de avondspits liep de wachtrij op richting 11 van kruispunt Heusdensebaan op tot 15 voertuigen. De bijbehorende actuele maximumgroentijd volgens de adaptieve regeling was ongeveer 32 seconden. Door te krap ingestelde hiaattijden werd deze waarde evenwel nooit benaderd.

4.7 Afrijtijd vrachtwagens

Ter ondersteuning van de kwantitatieve analyse is bepaald hoe lang een afrijdende vrachtwagen de koplus bezet houdt na start groen (eerste voertuig) of in totaal (tweede voertuig). Van beide groepen is een vijftiental voertuigen waargenomen. Voor gelede vrachtwagens van minstens 14m lengte zijn de waarden als volgt:

- eerste voertuig: 5,5 – 9,0s
- tweede voertuig: 3,5 – 5,5s.

De waarden voor het eerste voertuig liggen ver boven de grens van 3,0s die in de opdrachtomschrijving is voorgesteld. In paragraaf 5.9 wordt hier nader op ingegaan en worden de meetresultaten op de koplus gepresenteerd.

4.8 Andere waarnemingen

- In de VRI N65 / Mgr. Zwijsenstraat is de LED van detector d05.2 defect. Dit is vastgesteld door de detector op een stil moment handmatig op te zetten. Uit de MV-file blijkt dat de detector zelf wel werkt.
- Er bestaat twijfel over het functioneren van d26.1 in VRI N65 / Heusdensebaan. De LED-verklikking gedraagt zich of er al in de procesbesturing een bezettijd op zit. Waargenomen is dat bij het passeren van een groep van 40 langzame fietsers de detector slechts 2x gedurende korte tijd op kwam. Met de lichte vouwfiets van de waarnemer is het helemaal niet gelukt de detector te activeren.
- Op de koplus van richtingen 05 en 11 is waargenomen, dat van grote landbouwvoertuigen de wielen (assen) afzonderlijk worden gedetecteerd en niet het voertuig als geheel. Hierdoor kan voortijdig het hiaat vallen.
- Voor het overige functioneert de detectie correct.
- Ter hoogte van het tovergroenbord van richting 08 op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat wordt vaak de rechterkantstreep overschreden, een Poolse vrachtwagen kwam met zijn wielen buiten het asfalt. Blijkbaar mist men het einde van de flauwe bocht. Misschien leidt de Tovergroensignaalgever hier teveel af.

5 Resultaten kwantitatieve analyse

5.1 Roodlichtrijders (alle verkeer)

5.1.1 Hypothesen

Verwacht wordt dat met Tovergroen AAN minder roodlichtrijders op de richtingen met Tovergroen zullen worden waargenomen. Naast vrachtwagens zullen ook personenauto's van de langere groentijd kunnen profiteren.

Een effect op de conflictrichtingen van de richtingen met Tovergroen wordt niet verwacht, omdat bij een zichtbaar naderende vrachtwagen duidelijk is dat men niet voor niets wacht.

5.1.2 Analysemethode

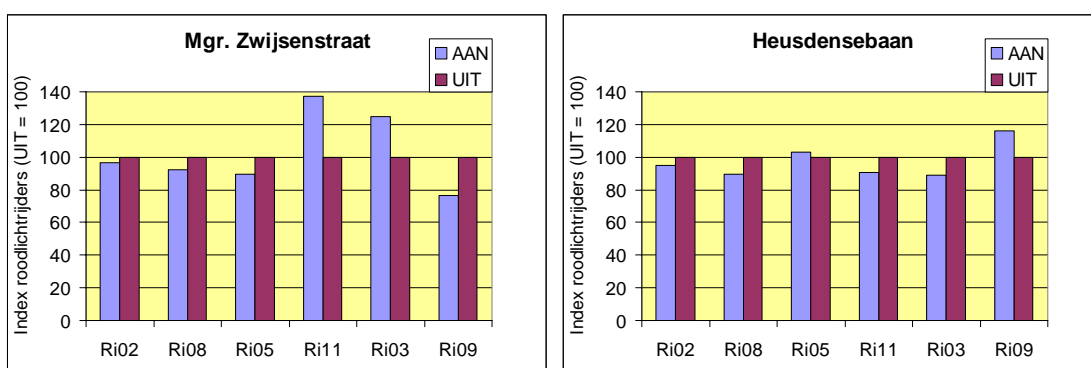
Het aantal roodlichtrijders is bepaald aan de hand van kopluspassages tijdens rood. Om vergelijkbare resultaten voor personenauto's en vrachtauto's te bereiken, is het tijdstip start bezetting koplus als criterium gebruikt. Een roodlichtrijder wordt geteld als de koplus bezet wordt na tenminste 0,7 s rood en daarna vrijkomt voordat de richting naar groen is gegaan.

Met de waarde van 0,7 s zijn de resultaten voor personenauto's vergelijkbaar met een telling op het vrijkomen van de koplus vanaf 1,0s rood.

De richtingen 01 en 07 en de parallelle fietsrichtingen zijn niet onderzocht omdat hier op voorhand geen effect van Tovergroen is te verwachten. Ri22 en Ri26 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat zijn niet onderzocht omdat geschikte detectie ontbreekt.

5.1.3 Resultaten

Het *aandeel* roodlichtrijders op de motorvoertuigenrichtingen is over het geheel klein, 0,4% van de voertuigen rijdt volgens bovenstaande bepaling door rood. Op de fietsrichtingen is het aandeel roodlichtrijders groot, maar niet met enige nauwkeurigheid te bepalen.



Figuur 8: Ontwikkeling roodlichtrijders per etmaal, Tovergroen UIT = 100

In Tabel 5 en volgende is per dagdeel het gemiddelde aantal voertuigen aangegeven dat per uur door rood rijdt. Dit gedaan voor de volgende richtingen:

- Ri02 en Ri08 (richtingen die extra groen krijgen door Tovergroen);
- Ri03, Ri05, Ri09 en Ri11 (motorvoertuigrichtingen in conflict met Ri02 en Ri08);
- Ri22 en Ri26 van kruispunt Heusdensebaan (fietsrichtingen in conflict met Ri02 en Ri08).

De uren van 5:00 – 6:00 en van 6:00 – 7:00 zijn afzonderlijk vermeld omdat het aantal roodlichtrijders dan opvallend groot is. Van belang hierbij is dat beide regelingen van 23:00 tot 6:00 uur in wachtstand rood staan.

Tabel 5: Gemiddeld aantal roodlichtrijders (motorvoertuigen) per uur op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat

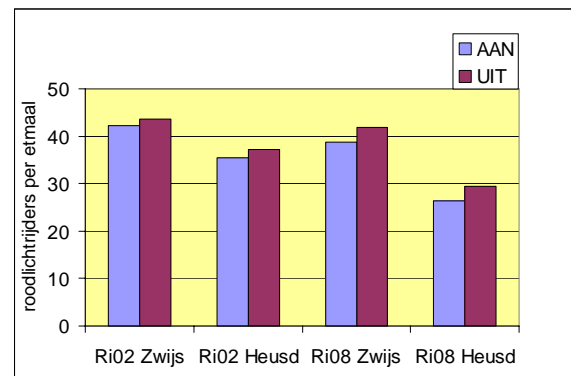
Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		Ri03/Ri09		Ri05/Ri11		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		2.30	4.40	4.20	6.50	0.00	0.30	1.00	1.20
6:00 – 7:00		3.30	3.20	2.20	2.80	0.80	0.40	2.60	3.00
7:00 – 10:00		2.40	2.40	1.93	1.53	0.90	0.67	2.73	2.60
10:00 – 14:00		1.63	1.60	1.75	1.80	0.85	0.68	1.68	1.83
15:00 – 19:00		2.43	2.28	1.93	2.23	1.00	1.30	2.80	2.95
etmaal 0:00 – 24:00		1.76	1.82	1.71	1.75	0.64	0.58	1.72	1.80

Tabel 6: Gemiddeld aantal roodlichtrijders (motorvoertuigen) per uur op kruispunt Heusdensebaan

Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		Ri03/Ri09		Ri05/Ri11		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		3.40	2.90	4.00	5.10	0.20	0.10	1.40	3.20
6:00 – 7:00		2.60	3.60	2.40	2.50	0.60	0.60	4.00	4.70
7:00 – 10:00		1.28	1.66	0.69	1.15	1.11	1.19	7.85	8.23
10:00 – 14:00		1.13	1.63	1.25	1.15	1.00	1.40	6.20	6.85
15:00 – 19:00		1.63	1.61	1.17	1.15	1.44	1.85	11.06	10.72
etmaal 0:00 – 24:00		1.47	1.55	1.10	1.23	0.97	0.99	5.75	6.02

De volgende zaken vallen op:

- Op etmaalbasis is het aantal roodlichtrijders op de richtingen 02 en 08 consistent kleiner met Tovergroen AAN.
- Per dagdeel bezien is het beeld minder duidelijk. Er zijn ongeveer even vaak meer als minder roodlichtrijders. Dit is niet volgens verwachting. Blijkbaar zijn er niet zoveel personenauto's die meeprofiteren met een daadwerkelijke groenverlenging door Tovergroen, dat zij een herkenbaar effect veroorzaken.
- Op de richtingen 05 en 11 lijkt sprake van een afname. Een oorzakelijk verband met Tovergroen is niet plausibel, daarom wordt uitgegaan van een toevalseffect.
- Op de richtingen 02 en 08 is het aantal roodlichtrijders op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat groter dan op kruispunt Heusdensebaan. Het gemiddelde etmaaltotaal bevestigt dit: 81 op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat tegen 62 op kruispunt Heusdensebaan. Oorzaak is waarschijnlijk het verschil tussen de detectievelden: op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat tot 80 m, tegen 120 m op kruispunt Heusdensebaan.
- Eveneens op de richtingen 02 en 08 is het aantal roodlichtrijders tussen 5:00 en 7:00 uur opvallend groot.
- Op de richtingen 05 en 11 van kruispunt Heusdensebaan is het aantal roodlichtrijders opvallend groot (onderling verschillen deze richtingen weinig), zeker in verhouding tot de intensiteiten. Oorzaak is dat het verlengen hier slecht functioneert als gevolg van de ingestelde hi-aattijden.
- Bij de fietsrichtingen is geen eenduidig effect te herkennen.



Figuur 9: gemiddeld aantal roodlichtrijders per etmaal op de richtingen 02 en 08

Tabel 7: Gemiddeld aantal roodlichtrijders (fietsers) per uur op kruispunt Heusdensebaan

Uur of dagdeel	Ri22		Ri26	
	Tovergroen: AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00	0.40	1.30	1.70	2.60
6:00 – 7:00	2.10	2.10	4.70	5.70
7:00 – 10:00	4.10	5.38	19.56	14.18
10:00 – 14:00	2.70	3.25	9.33	8.65
15:00 – 19:00	5.50	4.57	14.64	14.89
etmaal 0:00 – 24:00	2.52	2.59	7.96	7.53

5.1.4 Significantie

Omdat het aantal roodlichtrijders met Tovergroen AAN in sommige periodes wel duidelijk kleiner is dan met Tovergroen UIT, is onderzocht (voor de richtingen 02 en 08 van kruispunt Heusdensebaan) of er sprake is van een statistisch significant verschil. De steekproef bestaat uit de uurwaarden van de afzonderlijke onderzoeksdagen.

Getoetst is per uur of het *aandeel* roodlichtrijders significant verschilt tussen de situaties Tovergroen AAN en UIT. Vervolgens is dezelfde toets uitgevoerd voor de spits- en dalperiodes die in de analyse worden gebruikt. Tenslotte zijn de onderzoeksdagen als geheel vergeleken.

Enkele uren vertonen een zwak significant verschil (>95% kans dat het geen toevalseffect is). Echter voor de meeste uren geldt dit niet, en dus evenmin over de uren en periodes die in de tabellen hierboven zijn vermeld.

5.1.5 Toetsing hypothesen roodlichtrijders (alle verkeer)

- Op de hoofdrichtingen 02 en 08 leidt Tovergroen tot een geringe vermindering van het aantal roodlichtrijders.
- Op de overige richtingen, en op de hoofdrichtingen wanneer men kortere periodes beziet, is er geen duidelijk effect waar te nemen.

5.2 Roodlichtrijders (vrachtwagens)

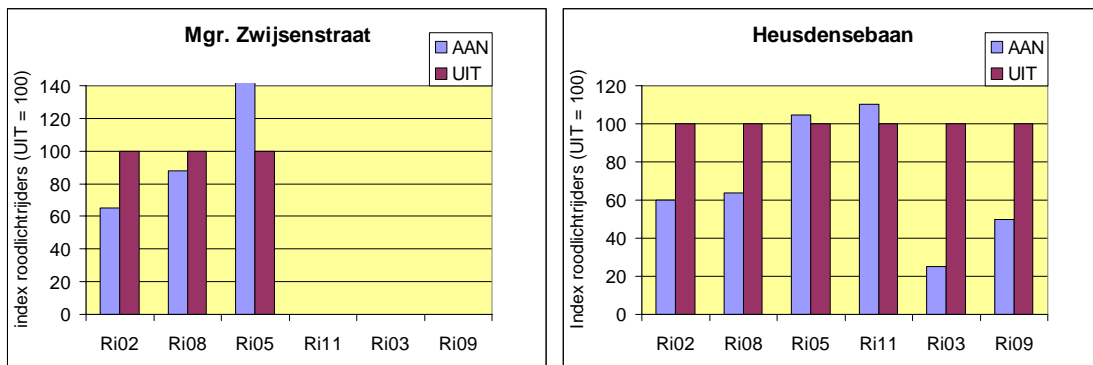
5.2.1 Hypothesen

Verwacht wordt dat met Tovergroen AAN aanzienlijk minder roodlichtrijders onder het vrachtverkeer op de richtingen met Tovergroen worden waargenomen. Een gedetecteerde vrachtwagen die tovergroen krijgt toegekend kan immers gegarandeerd in groen het detectieveld uitrijden.

5.2.2 Analysemethode

Het roodlichtrijden is afzonderlijk onderzocht voor zwaar verkeer. Onder de roodlichtrijders die zijn geteld zoals beschreven in 5.1 is een selectie gemaakt naar de *duur* van de detectiebezetting van de koplus. Als ondergrens is 0,8 s gekozen, wat overeenkomt met een combinatie van 14 m bij 60 km/u. Als bovengrens is 2,0 s gehanteerd, om te voorkomen dat voertuigen die door rood rijden na te zijn gestopt ten onrechte tot het zwaar verkeer worden gerekend.

Deze meetmethode maakt geen gebruik van het Tovergroensysteem en kan dus op alle richtingen met een koplus worden toegepast. Alleen de richtingen 02 en 08 worden nader beschreven, omdat op deze richtingen het grootste effect van Tovergroen te verwachten is, en alleen deze richtingen voldoende zwaar verkeer kennen. Zie de ontbrekende gegevens en in de volgende grafieken.



Figuur 10: Ontwikkeling roodlichtrijders (vrachtverkeer) per etmaal, Tovergroen UIT = 100

Het uur van 5:00 – 6:00 is opgenomen om het effect van wachtstand rood (23:00 tot 6:00 uur) te illustreren. Het uur van 6:00 – 7:00 is afzonderlijk opgenomen omdat een aantal indicatoren dan sterk afwijkt van de rest van de ochtendspits.

5.2.3 Resultaten

Tabel 8: Gemiddeld aantal roodlichtrijders (zwaar verkeer) per uur op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat

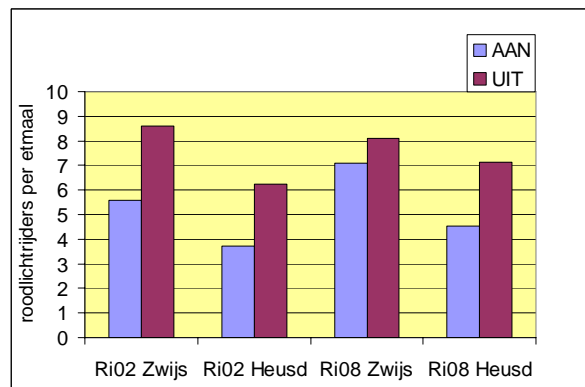
Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		0.70	1.30	1.10	2.10
6:00 – 7:00		0.30	0.30	0.10	0.20
7:00 – 10:00		0.23	0.53	0.33	0.20
10:00 – 14:00		0.25	0.45	0.25	0.38
15:00 – 19:00		0.28	0.35	0.43	0.28
etmaal 0:00 – 24:00		0.23	0.36	0.30	0.34

Tabel 9: Gemiddeld aantal roodlichtrijders (zwaar verkeer) per uur op kruispunt Heusdensebaan

Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		0.50	0.10	0.80	1.20
6:00 – 7:00		0.10	1.10	0.10	0.70
7:00 – 10:00		0.00	0.21	0.07	0.11
10:00 – 14:00		0.20	0.40	0.23	0.23
15:00 – 19:00		0.08	0.21	0.16	0.23
etmaal 0:00 – 24:00		0.16	0.26	0.19	0.30

De volgende zaken vallen op:

- Ook bij het zwaar verkeer is het aantal roodlichtrijders op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat groter dan op kruispunt Heusdensebaan.
- Ook bij het zwaar verkeer is het aantal roodlichtrijders tussen 5:00 en 7:00 uur opvallend groot.
- In de meeste periodes is het aantal roodlichtrijder met Tovergroen AAN kleiner dan met Tovergroen UIT.



Figuur 11: Gemiddeld aantal roodlichtrijders zwaar verkeer per etmaal op de richtingen 02 en 08

Vanwege de kleine aantallen per uur is een voorstelling over het hele etmaal duidelijk:

Tabel 10: Roodlichtrijders (zwaar verkeer) over het etmaal op beide kruispunten

Kruispunt:	Tovergroen:	Ri02		Ri08	
		AAN	UIT	AAN	UIT
Mgr. Zwijsenstraat, etmaalgemiddelde		5.6	8.4	7.1	8.0
Heusdensebaan, etmaalgemiddelde		3.6	6.0	4.4	6.7

5.2.4 Significantie

Pragmatisch kan gesteld worden dat er met Tovergroen AAN gemiddeld 2,4 roodlichtovertredingen *minder* door zwaar verkeer worden begaan dan met Tovergroen UIT, per richting per etmaal.

Een toetsing van het *aandeel* roodlichtrijders binnen de verkeersstroom is hier niet mogelijk omdat het aantal vrachtwagens onvoldoende bekend is. De telling van het Tovergroen-detectiesysteem is niet vergelijkbaar met de selectie van vrachtauto's op grond van de duur bezetting van de koplus. Die is namelijk alleen mogelijk bij rijden op trajectsnelheid. Daarom is hier getoetst op de absolute aantallen roodlichtrijders. Deze toetsing is minder decisief dan die op het aandeel: bij dezelfde aantallen is een groter verschil vereist om hetzelfde significantieniveau te behalen.

Voor kruispunt Heusdensebaan geldt het volgende:

Op richting 02 is het verschil over de ochtendspits significant (>99% kans dat het geen toevalseffect is).

Op richting 08 is het verschil in de ochtendspits significant, in de overige periodes niet.

Over de periode 5:00 – 19:00 uur, waarin het meeste vrachtverkeer rijdt, is voor richting 02 het verschil significant en voor richting 08 zwak significant.

Op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat is over de afzonderlijke periodes het verschil doorgaans niet significant. Over de periode 5:00 – 19:00 uur, is voor richting 02 het verschil sterk significant en voor richting 08 niet significant.

5.2.5 Toetsing hypothesen Roodlichtrijders (vrachtwagens)

- Op de hoofdrichtingen 02 en 08 van beide kruispunten leidt Tovergroen tot een aanzienlijke afname van het aantal roodlichtrijders.
- Voor de richtingen 02 is de afname significant (circa 99% kans dat het geen toevalseffect is).
- Voor de richtingen 08 is de afname zwak significant (circa 98% kans dat het geen toevalseffect is).

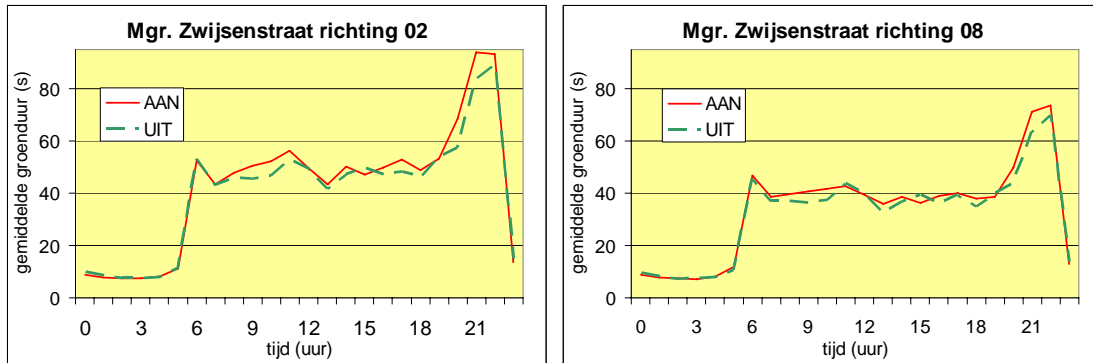
5.3 Gemiddelde groenduur

5.3.1 Hypothesen

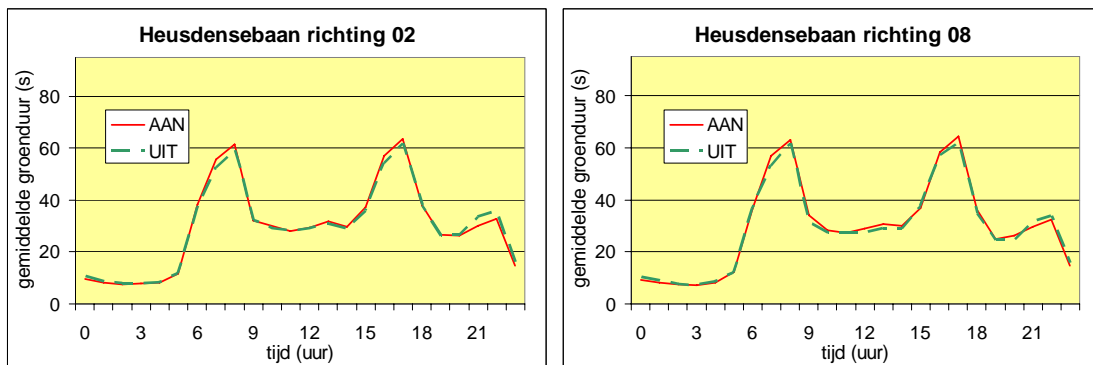
Verwacht wordt dat Tovergroen de volgende effecten zal hebben op de gemiddelde groenduur:

- Langere gemiddelde groenduur op de tovergroenrichtingen 02 en 08, als rechtstreeks gevolg van toekenning van extra groen tijdens tovergroen.
- In de spitsuren een langere gemiddelde groenduur op de richtingen 05 van beide kruispunten en richting 11 van kruispunt Heusdensebaan, omdat de groenduur dan wordt bepaald door het verkeersaanbod, dat per cyclus groter zal zijn als gevolg van een langere cyclustijd.

5.3.2 Resultaten



Figuur 12: Verloop groenduur over het etmaal, Mgr. Zwijzenstraat richting 02 en 08



Figuur 13: Verloop groenduur over het etmaal, Heusdensebaan richting 02 en 08

In Tabel 11 en volgende is per spitsperiode voor een aantal richtingen de gemiddelde duur van de groenfase weergegeven. Het gaat om deze richtingen:

- Ri02 en Ri08 (richtingen die extra groen krijgen door Tovergroen)
- Ri03, Ri05, Ri09 en Ri11 (motorvoertuigrichtingen in conflict met Ri02 en Ri08).
- Ri24 en Ri28 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat. Deze fietsrichtingen realiseren mee met Ri08 respectievelijk Ri02 bij afwezigheid van een conflicterende rechtsaffer.
- Ri22 en Ri26 van kruispunt Heusdensebaan (fietsrichtingen in conflict met Ri02 en Ri08).

De richtingen 01 en 07 zijn niet onderzocht omdat hier geen effect is te verwachten. De niet genoemde fietsrichtingen van beide kruispunten zijn niet onderzocht omdat zij in de praktijk een vaste groenduur hebben.

Het uur van 5:00 – 6:00 is opgenomen om het effect van wachtstand rood (23:00 tot 6:00 uur) te illustreren. Het uur van 6:00 – 7:00 is afzonderlijk opgenomen omdat een aantal indicatoren dan sterk afwijkt van de rest van de ochtendspits.

Tabel 11: Gemiddelde groenduur per groenfase per dagdeel op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat

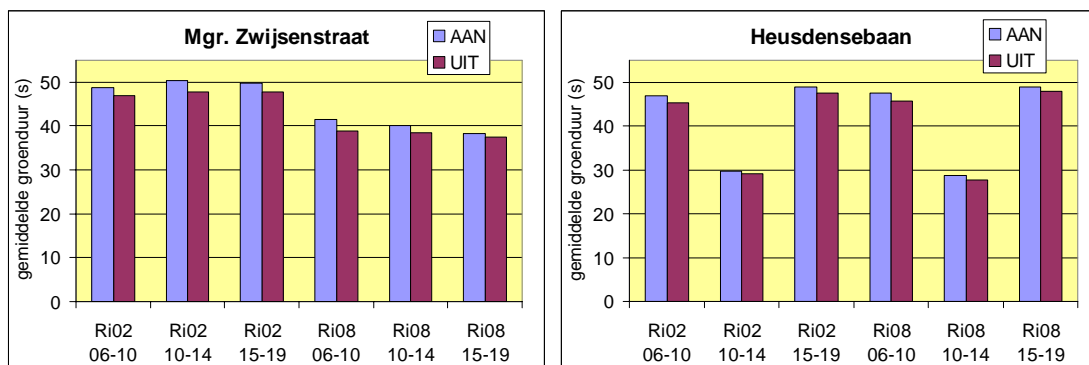
Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		Ri03		Ri09	
	Tovergroen: AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00	11.26	11.18	12.00	10.60	7.10	6.20	7.40	8.00
6:00 – 7:00	52.55	53.40	46.90	45.34	6.86	10.18	11.20	10.18
7:00 – 10:00	47.38	44.85	39.70	36.83	7.79	9.39	9.54	9.39
10:00 – 14:00	50.28	47.74	40.01	38.40	8.09	9.13	8.99	9.13
15:00 – 19:00	49.77	47.75	38.23	37.48	6.88	7.31	8.07	7.31

Uur of dagdeel	Ri05		Ri11		Ri24		Ri28		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		5.35	5.31	5.27	5.18	-----	-----	-----	-----
6:00 – 7:00		6.14	6.06	5.59	5.43	43.09	43.88	52.75	53.44
7:00 – 10:00		7.26	7.12	5.51	5.53	24.75	25.29	33.99	34.01
10:00 – 14:00		7.63	7.48	5.48	5.56	18.63	19.10	27.73	27.54
15:00 – 19:00		5.99	5.93	5.57	5.62	27.13	26.92	44.62	43.79

Tabel 12: Gemiddelde groenduur per groenfase per dagdeel op kruispunt Heusdensebaan

Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		Ri03		Ri09		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		11.77	11.71	12.15	11.88	7.53	6.32	6.77	6.33
6:00 – 7:00		38.16	37.07	36.44	36.49	8.82	10.30	11.21	10.30
7:00 – 10:00		49.79	48.09	51.33	48.70	12.32	14.78	14.85	14.78
10:00 – 14:00		29.72	29.10	28.80	27.63	13.48	16.27	16.06	16.27
15:00 – 19:00		48.97	47.54	48.94	47.83	10.95	12.44	12.38	12.44

Uur of dagdeel	Ri05		Ri11		Ri22		Ri26		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		5.23	5.13	6.27	6.27	5.00	5.00	5.00	5.00
6:00 – 7:00		5.52	5.57	6.30	6.55	5.00	5.00	5.07	5.10
7:00 – 10:00		7.33	7.46	8.92	8.93	5.00	5.00	5.14	5.20
10:00 – 14:00		7.93	8.08	9.79	9.73	5.00	5.00	5.16	5.23
15:00 – 19:00		6.23	6.23	7.03	6.99	5.00	5.00	5.37	5.37



Figuur 14: Gemiddelde groenduur richtingen 02 en 08 in spits- en dalperioden

De volgende zaken vallen op:

- Op beide kruispunten is de groenduur van de richtingen 02 en 08 langer bij Tovergroen AAN. Dit is volgens verwachting.
- Op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat zijn de verschillen groter. Dat is als volgt verklaarbaar: dit kruispunt is minder zwaar belast, bij aanwezigheid van een conflict zal de groenfase van Ri02 en Ri08 korter zijn dan op kruispunt Heusdensebaan, zodat Tovergroen gemiddeld meer kan verlengen
- Tussen de spitsen is de groenduur van richting 02 en 08 op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat veel langer dan op kruispunt Heusdensebaan. De VRI N65 / Mgr. Zwijzenstraat komt in die periode vaak in wachtstand.
- In de spitsen is de groenduur van Ri02 op beide kruispunten vrijwel gelijk, Ri08 heeft echter een kortere groenduur op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat. Dit komt door het asymmetrische verkeersaanbod aldaar: Ri08 wordt vaak afgekapt door Ri03, maar Ri02 zelden door Ri09. Daardoor kan Ri08 zelden met Ri09 meeverlengen.
- Op richting 05 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is met Tovergroen AAN de groenduur over alle dagdelen iets langer. Dit verwachte effect is niet duidelijk aanwezig op richting 05 en 11

van kruispunt Heusdensebaan. Het geringere effect van Tovergroen op de hoofdrichting van dit kruispunt zal hierbij meespelen.

- Op richting 24 en 28 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat, waar de groenduur in hoofdzaak door meeverlengen met richting 08 respectievelijk 02 wordt bepaald, is toch geen effect waar te nemen.
- Ri22 van kruispunt Heusdensebaan heeft een vaste groentijd van 5,0 s ondanks de aanwezigheid van verlengdetectie. De oorzaak is herleid tot een typefout in de applicatiecode.

5.3.3 Toetsing hypothesen gemiddelde groenduur

- Op de hoofdrichtingen 02 en 08 van beide kruispunten leidt Tovergroen tot een iets langere gemiddelde groenduur. Het verschil is niet groter dan 5%.
- Op de dwarsrichtingen is vrijwel geen effect op de gemiddelde groenduur waarneembaar.
- Daarom is de conclusie gerechtvaardigd dat het effect van Tovergroen op de cyclustijd beperkt blijft tot het verschil in groenduur van de hoofdrichting.

5.4 Gemiddelde maximale wachttijd

Het begrip ‘gemiddelde maximale wachttijd’ vraagt verduidelijking. Bedoeld is het gemiddelde van de maximale wachttijden van een richting *per cyclus*, berekend over een zekere periode. De maximale wachttijd is de tijd dat het eerste aankomende voertuig voor rood licht staat.

5.4.1 Hypothesen

Verwacht wordt dat Tovergroen de volgende effecten zal hebben op de gemiddelde maximale wachttijd:

- een kortere wachttijd voor de richtingen met Tovergroen (Ri02 en Ri08);
- een langere wachttijd voor hun conflictrichtingen.

Voor de overige richtingen (rechtsaf en parallelle fietsers) wordt geen effect verwacht.

5.4.2 Analysemethode

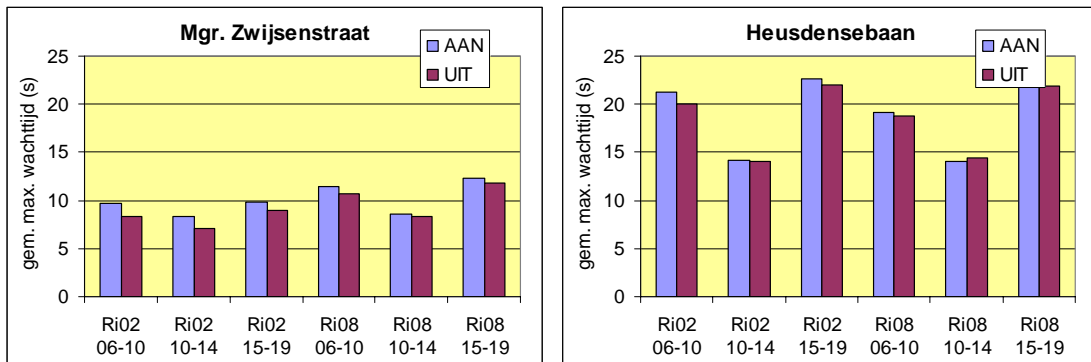
De maximale wachttijd wordt gemeten vanaf de eerste start detectiebezetting van koplus of drukknop in rood, tot aan start groen. De gemiddelde maximale wachttijd is per definitie 0 als er geen voertuigen in rood aankomen, maar wel tijdens groen. Dit treedt op wanneer de regelingen in wachtstand rood verkeren en door aanvraag op lange lussen naar groen gaan voordat het eerste voertuig de koplus bereikt. Als er in het geheel geen voertuigen aankomen wordt de wachttijd niet bepaald.

Voor fietsrichtingen, ook indien voorzien van lusdetectie, wordt alleen de wachttijd na drukknopaanvraag onderzocht. Gebruik van de lusdetectie (met aanvraag na bezettijd) zou onrealistische resultaten geven door roodlichtrijden en gebruik tegen de bedoelde rijrichting in.

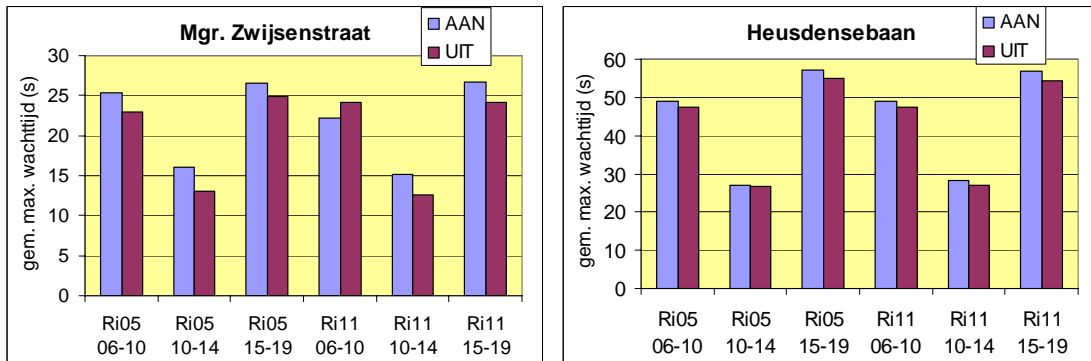
Het uur van 5:00 – 6:00 is opgenomen om het effect van wachtstand rood (23:00 tot 6:00 uur) te illustreren. Het uur van 6:00 – 7:00 is afzonderlijk opgenomen omdat een aantal indicatoren dan sterk afwijkt van de rest van de ochtendspits. Bedenk echter dat het op deze uren soms om één waarneming gaat (fietsers, linksaffers).

5.4.3 Resultaten

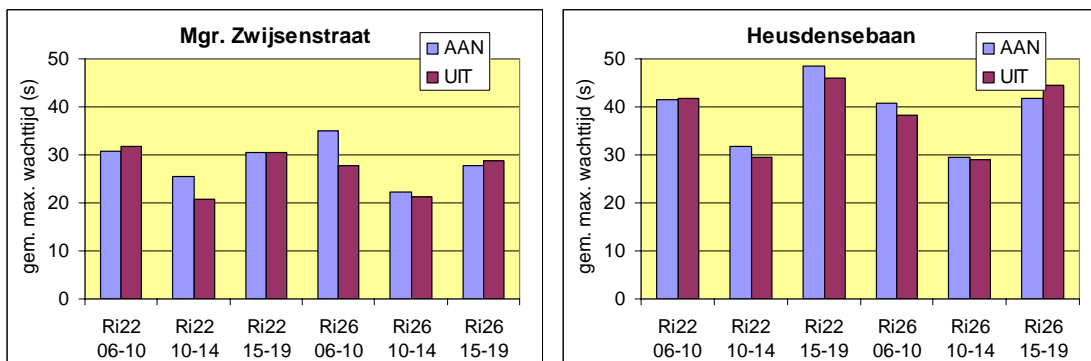
In Tabel 13 en volgende is per spitsperiode voor (bijna) alle richtingen de gemiddelde maximale wachttijd weergegeven. Alleen de richtingen 21 en 25 van kruispunt Heusdensebaan zijn niet opgenomen. Dit zijn de hard gekoppelde nalooprichtingen van 22 respectievelijk 26. Omdat zij zelden afzonderlijk worden aangevraagd heeft een bepaling van de gemiddelde maximale wachttijd voor deze richtingen weinig betekenis.



Figuur 15: Gemiddelde maximale wachttijd richtingen 02 en 08 in spits- en dalperioden



Figuur 16: Gemiddelde maximale wachttijd richtingen 05 en 11 in spits- en dalperioden



Figuur 17: Gemiddelde maximale wachttijd richtingen 22 en 26 in spits- en dalperioden

Tabel 13: Gemiddelde maximale wachttijd per dagdeel op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat

Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		Ri03		Ri09	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00	9.97	7.91	7.04	6.00	2.59	4.96	0.54	0.00
6:00 – 7:00	8.18	6.55	7.97	7.36	19.58	13.57	31.40	2.67
7:00 – 10:00	10.16	9.00	12.54	11.80	25.34	20.45	20.19	29.82
10:00 – 14:00	8.35	7.13	8.55	8.28	14.06	11.61	11.72	12.84
15:00 – 19:00	9.81	8.94	12.28	11.78	21.44	19.81	25.77	22.68

Uur of dagdeel	Ri05		Ri11		Ri24		Ri28	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00	9.14	7.89	3.94	6.50	-----	-----	-----	-----
6:00 – 7:00	14.78	11.26	11.96	14.26	-----	-----	6.70	7.50
7:00 – 10:00	28.96	26.75	25.67	27.83	9.67	10.01	13.35	6.05
10:00 – 14:00	15.98	13.10	15.09	12.64	11.40	5.10	5.13	7.65
15:00 – 19:00	26.51	24.91	26.66	24.22	9.52	10.35	10.06	9.88

Uur of dagdeel	Ri01		Ri07		Ri22		Ri26		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		0.00	0.00	0.24	1.77	-----	-----	-----	-----
6:00 – 7:00		0.52	0.03	11.33	13.82	10.70	-----	-----	26.63
7:00 – 10:00		4.67	3.01	12.67	9.02	37.58	31.63	35.11	28.27
10:00 – 14:00		5.26	3.71	10.84	9.91	25.44	20.87	22.23	21.24
15:00 – 19:00		5.72	8.84	14.01	12.68	30.57	30.61	27.81	28.87

Tabel 14: Gemiddelde maximale wachttijd per dagdeel op kruispunt Heusdensebaan

Uur of dagdeel	Ri02		Ri08		Ri03		Ri09		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		8.11	7.10	7.43	6.35	5.80	14.38	3.55	4.75
6:00 – 7:00		11.57	11.12	10.40	10.46	18.51	16.55	19.28	18.53
7:00 – 10:00		24.58	23.06	22.10	21.56	46.16	43.58	39.05	36.99
10:00 – 14:00		14.23	14.10	14.03	14.40	21.42	19.94	18.93	19.02
15:00 – 19:00		22.64	22.02	22.48	21.92	43.06	42.49	38.55	36.94

Uur of dagdeel	Ri05		Ri11		Ri24		Ri28		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		9.49	9.13	10.12	10.61	5.21	3.75	0.20	-----
6:00 – 7:00		20.54	21.68	22.85	22.63	12.62	13.70	39.40	0.20
7:00 – 10:00		58.45	56.10	57.68	55.52	14.52	15.80	18.19	17.73
10:00 – 14:00		26.89	26.68	28.21	27.08	15.01	14.35	15.08	13.20
15:00 – 19:00		57.08	54.96	56.80	54.19	18.56	16.53	20.02	18.95

Uur of dagdeel	Ri01		Ri07		Ri22		Ri26		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
5:00 – 6:00		4.35	7.65	8.75	4.70	12.65	15.03	16.91	13.14
6:00 – 7:00		15.73	12.52	15.07	15.00	26.91	28.07	30.48	20.90
7:00 – 10:00		22.98	21.03	23.70	23.03	46.46	46.44	44.17	44.19
10:00 – 14:00		15.21	14.91	16.94	18.02	31.81	29.60	29.42	29.03
15:00 – 19:00		19.01	22.25	22.23	19.69	48.54	45.97	41.80	44.56

Van belang voor de resultaten van kruispunt Mgr. Zwijsenstraat is dat de richtingen 01, 09 en 11 zeer weinig verkeer hebben, en dat Ri24 en Ri28 weinig worden aangevraagd omdat ze vaak meerealiseren met Ri08 respectievelijk Ri02. Over deze richtingen worden verder geen uitspraken gedaan.

De volgende zaken vallen op:

- Over het algemeen is met Tovergroen AAN de gemiddelde maximale wachttijd enkele seconden langer. Dit beeld is consistent over alle richtingen met enig verkeer, het geldt dus ook voor de richtingen 02 en 08.
- Op de richtingen 02 en 08 is een langere wachttijd met Tovergroen AAN niet naar verwachting. Een mogelijke oorzaak is de toegepaste blokstructuur. Als bijvoorbeeld Ri03 vroeg realiseert en op Ri02 de maximumgroentijd wordt volgemaakt door tovergroen, kan Ri08 niet meer terugkomen en moet dan wachten tot de volgende cyclus. Daarnaast geldt dat bij constante groenverdeling de maximale wachttijd recht evenredig is met de cyclustijd. Een afname bij de richtingen met Tovergroen is pas te verwachten als hun *aandeel* groen in de cyclus toeneemt.
- Het effect is het meest uitgesproken in de ochtend- en avondspitsperiode (7:00 – 10:00 uur en 15:00 – 19:00 uur).
- Op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat is het verschil in wachttijd (tussen Tovergroen AAN en UIT) groter dan op kruispunt Heusdensebaan

5.4.4 Toetsing hypothesen gemiddelde maximale wachttijd

- Op de hoofdrichtingen 02 en 08 van beide kruispunten leidt Tovergroen tot een geringe toename van de wachttijd.
- Op de dwarsrichtingen leidt Tovergroen tot een grotere toename van de wachttijd dan op de hoofdrichtingen. De toename ligt rond 5%.

5.5 Doorrijkans

Als onderdeel van de berekeningen om het effect van Tovergroen op de luchtkwaliteit te bepalen, is op een aantal richtingen de doorrijkans bepaald.

5.5.1 Hypothesen

Verwacht wordt dat Tovergroen de volgende effecten zal hebben op de doorrijkans:

- De doorrijkans voor vrachtverkeer op de richtingen 02 en 08 zal duidelijk zal toenemen.
- De doorrijkans voor het overige verkeer op deze richtingen, zal eveneens toenemen, zij het in mindere mate, omdat alle verkeer mee profiteert van het extra groen voor vrachtverkeer.
- Op de afslaande richtingen wordt geen effect verwacht.

5.5.2 Analysemethode

De doorrijkans is als volgt bepaald.

Op de doorgaande richtingen 02 en 08 van de N65 worden drie ritcategorïeën onderscheiden:

- Doorrijden met (bij benadering) de wensnelheid. Hiervan is sprake als voertuigen naderen bij groen licht nadat de wachtrij is afgereden. Roodlichtrijden telt dus niet als doorrijden.
- Remmen tot ongeveer 35 km/u. Hiervan is sprake als voertuigen naderen bij groen licht als er nog een wachtrij van enkele voertuigen staat, of naderen bij rood licht en leeg detectieveld en het licht naar groen gaat terwijl het voertuig zich op de lange lussen bevindt.
- Stoppen. Een voertuig stopt als de wachtrij te lang is of de richting te lang rood blijft om in een van de voorgaande categorieën te passen.

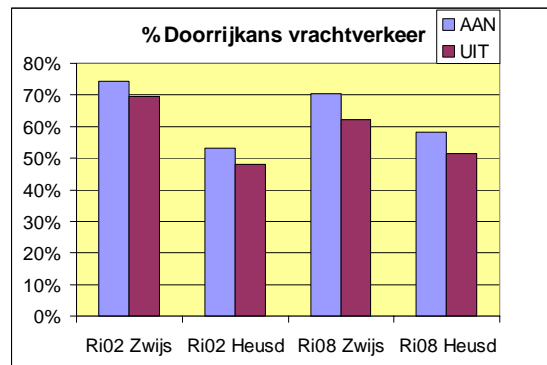
De indeling wordt gemaakt bij het verlaten van de achterste verweglus; dan wordt gekeken naar de bezetting van koplus en lange lussen. Vruchtverkeer wordt onderscheiden met het Tovergroen-detectiesysteem, en ingedeeld in een ritcategorïe bij passeren van de verweglus. Of een vrachtauto het groen zal halen wordt mede bepaald uit de snelheidsklasse waarin hij is ingedeeld. Er wordt alleen naar het feitelijke gedrag van de signaalgroep gekeken; toekenning van tovergroen speelt geen rol bij de indeling.

Het (totale) aantal voertuigen wordt gecorrigeerd met de koplustelling, omdat ook afslaande voertuigen de verweglussen berijden en omdat de verweglussen op kruispunt Mgr. Zwijnsstraat geen rijstroken onderscheiden.

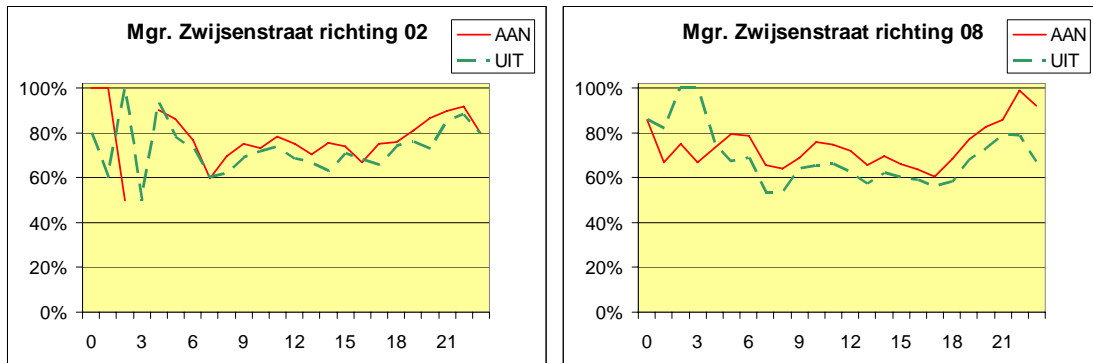
Op de afslaande richtingen van de N65 kan geen sprake zijn van doorrijden met trajectnelheid. Afslaande voertuigen remmen tot circa 35 km/u. Daarom wordt alleen 'stoppen en 'remmen' onderscheiden. De indeling wordt gemaakt bij het verlaten van de koplus.

Op de zijrichtingen 05 en 11 is de doorrijkans nagenoeg 0. Voorzover er voertuigen zonder stop kunnen doorrijden wordt het gunstige effect tenietgedaan door het optreden van dubbele stops. Een doorrijkans van 0 is daarom een goede benadering.

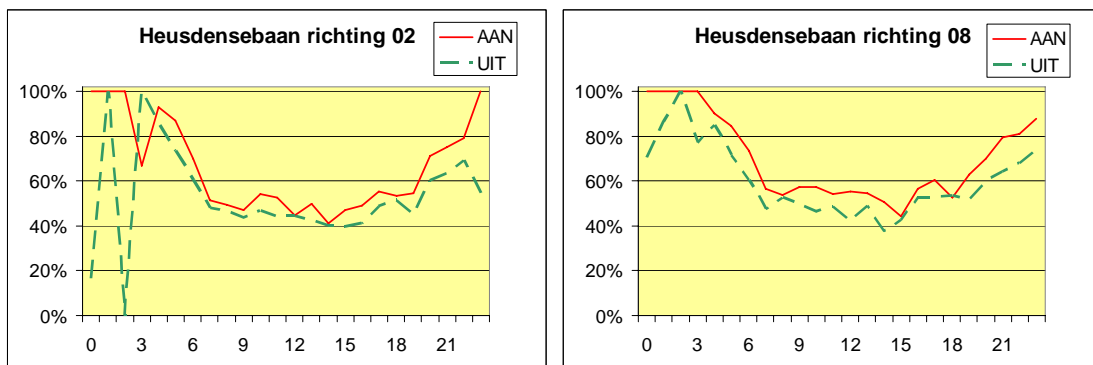
De (brom)fietsrichtingen zijn weinig relevant voor de luchtkwaliteit, door hun geringe verkeersaanbod, het onbekende aandeel bromfietzers, en hun geringe brandstofverbruik. Daarnaast is voor het kruisend (brom)fietsverkeer de doorrijkans nagenoeg 0, en voor het parallelle verkeer is er geen eenduidig verband met Tovergroen.



Figuur 18: Doorrijkans vrachtverkeer op richtingen 02 en 08 van beide kruispunten, etmaalgemiddelde



Figuur 19: Verloop doorrijkans vrachtverkeer over het etmaal, Mgr. Zwijsenstraat



Figuur 20: Verloop doorrijkans vrachtverkeer over het etmaal, Heusdensebaan

5.5.3 Resultaten

In de volgende tabel is de doorrijkans weergegeven (zonder remmen, met de gemeten snelheid voor vrachtverkeer). Er is niet gecorrigeerd voor afslaand vrachtverkeer.

Tabel 15: Gemiddelde doorrijkans vrachtverkeer per dagdeel

Uur of dagdeel	Mgr. Zwijsenstraat				Heusdensebaan			
	Ri02		Ri08		Ri02		Ri08	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
23:00 – 5:00	85.7%	85.0%	78.4%	75.7%	90.3%	66.7%	92.3%	78.9%
5:00 – 6:00	86.3%	78.1%	79.6%	67.3%	86.9%	73.6%	84.7%	71.4%
6:00 – 7:00	76.9%	73.1%	78.5%	68.9%	70.1%	60.5%	73.4%	60.3%
7:00 – 10:00	68.5%	63.7%	65.9%	56.9%	49.3%	45.9%	55.7%	50.0%
10:00 – 14:00	74.2%	69.9%	71.9%	62.5%	50.4%	44.2%	55.2%	46.5%
15:00 – 19:00	72.5%	69.4%	64.4%	58.4%	50.6%	44.1%	52.9%	49.5%
19:00 – 23:00	84.7%	78.0%	82.4%	73.5%	64.7%	56.4%	70.8%	59.6%
6:00 – 23:00	74.0%	69.2%	69.8%	61.8%	52.3%	46.9%	57.0%	49.5%
etmaal 0:00 – 24:00	74.4%	69.7%	70.3%	62.3%	53.2%	48.0%	58.2%	51.3%

Van belang voor de resultaten is dat op de richtingen 02 in de nachturen (23:00 – 5:00) zeer weinig vrachtverkeer is gedetecteerd (circa 4 voertuigen per nacht) tegen circa 10 op de richtingen 08. Van belang is verder dat tussen 23:00 en 6:00 uur in beide regelingen een wachtstand rood actief is.

In de volgende tabel is de doorrijkans (zonder remmen) voor personenauto's weergegeven. Het gaat in feite om het totale verkeer, waarvan het vrachtverkeer is afgetrokken dat door het Tovergroensysteem is gedetecteerd.

Tabel 16: Gemiddelde doorrijks personenauto's /licht verkeer per dagdeel

Uur of dagdeel	Mgr. Zwijzenstraat				Heusdensebaan			
	Ri02		Ri08		Ri02		Ri08	
	Tovergroen: AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
23:00 – 5:00	80.2%	77.9%	82.2%	79.4%	77.9%	74.4%	79.1%	78.1%
5:00 – 6:00	76.9%	76.5%	76.3%	73.4%	74.3%	73.0%	69.4%	68.5%
6:00 – 7:00	71.7%	76.5%	69.5%	68.5%	58.7%	56.2%	59.8%	58.1%
7:00 – 10:00	67.4%	67.4%	63.8%	62.0%	43.8%	42.8%	51.1%	49.8%
10:00 – 14:00	70.9%	72.3%	68.8%	66.3%	45.6%	44.1%	47.9%	46.5%
15:00 – 19:00	70.5%	70.0%	63.5%	63.4%	45.9%	45.2%	50.8%	51.2%
19:00 – 23:00	81.1%	80.8%	78.5%	77.1%	58.2%	58.5%	62.8%	62.2%
6:00 – 23:00	71.5%	71.6%	66.9%	65.6%	47.2%	46.4%	51.8%	50.9%
etmaal 0:00 – 24:00	71.9%	71.9%	67.6%	66.2%	48.8%	48.2%	53.1%	52.3%

In de tabellen is het volgende te zien:

- Voor vrachtverkeer is de doorrijks met Tovergroen AAN consistent hoger. In de drukke dagdelen bedraagt het verschil 5 tot 10%.
- Gerekend over het etmaal bedraagt het verschil 5% op de richtingen 02 en 7 à 8% op de richtingen 08. Dit zal door het verschil in detectiescore worden veroorzaakt.
- Uitgezonderd de nachturen is de doorrijks voor vrachtverkeer op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat altijd rond 20% groter dan op kruispunt Heusdensebaan. Dit vindt zijn oorzaak in de lagere kruispuntbelasting en daarmee het hogere aandeel (wachtstand-) groen op de doorgaande richtingen.
- Het effect van Tovergroen op die doorrijks is voor beide kruispunten bij benadering gelijk.
- Opmerkelijk is dat in de nachturen de doorrijks voor vrachtverkeer met Tovergroen AAN juist op kruispunt Heusdensebaan het hoogst is.
- Voor personenauto's zijn de verschillen gering. Op kruispunt Heusdensebaan en op richting 08 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is echter wel een consistent hogere doorrijks te zien met Tovergroen AAN. Het effect dat personenauto's met het tovergroen kunnen meeliften is dus aantoonbaar.
- Op richting 2 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is het effect niet consistent. Over het etmaal is er geen verschil, het uur van 6:00 tot 7:00 springt eruit met een 5% *kleinere* doorrijks met Tovergroen AAN. Toekenning van Tovergroen op richting 08 kan geen reden zijn waarom richting 02 eerder naar rood gaat dan richting 08; de intensiteit op richting 09 (minder dan 1 voertuig per uur tussen 6:00 tot 7:00 uur) kan dit niet verklaren. Wellicht zijn detectiestoringsmaatregelen op richting 09 de oorzaak.
- Vergelijking van de doorrijks van personenauto's en vrachtauto's laat bij Tovergroen AAN een duidelijk grotere doorrijks voor vrachtauto's zien, terwijl deze bij Tovergroen UIT gelijk is aan of iets lager dan die voor personenauto's.
- Voor het afslaand verkeer van de N65 is geen effect waargenomen (hiervan zijn geen tabellen opgenomen).

5.5.4 Toetsing hypothesen doorrijks

- Voor vrachtverkeer leidt Tovergroen tot een duidelijk grotere doorrijks. Het effect ligt tussen 5% en 10% op etmaalbasis.
- Voor het overige verkeer neemt de doorrijks in geringe mate toe.

5.6 Snelheid vrachtverkeer

Een belangrijk onderdeel van het selectieve detectiesysteem van Tovergroen is de snelheidsmeting. Omdat een juiste snelheidsmeting essentieel is voor een juiste werking van Tovergroen, zijn de gemeten snelheden onderzocht.

5.6.1 Hypothesen

- De gemeten snelheden op de verschillende detectiepunten zullen weinig verschillen.
- De laagste gemiddelde snelheid wordt verwacht op richting 08 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat, omdat ter plaatse een flauwe bocht ligt.
- Tovergroen AAN of UIT zal geen verschil maken, omdat tovergroen pas 100 m voorbij het detectiepunt wordt aangekondigd.

5.6.2 Analysemethode

Het Tovergroensysteem deelt de gedetecteerde vrachtwagens in vijf snelheidsklassen in. De snelheid komt als detectiesignaal in de regelapplicatie binnen, samen met een detectiesignaal 'vrachtwagen/bus gedetecteerd'. Hierbij zijn de volgende bijzondere situaties waargenomen:

- Bij een snelheid van minder dan 40 km/u wordt de vrachtwagen *niet* ingedeeld en kan hij geen tovergroen krijgen. Het detectiesignaal 'vrachtwagen/bus gedetecteerd' wordt *wel* opgezet.
- Sporadisch komt het voor dat één vrachtwagen in twee (openvolgende) snelheidsklassen wordt ingedeeld. Vermoed wordt dat de snelheid in zo'n geval rond de klassengrens ligt.

Om de gemiddelde snelheid te schatten is voor iedere klasse, ook voor de hoogste, gerekend met de ondergrens van de klasse + 5 km/u.

5.6.3 Resultaten

De resultaten zijn bepaald over de gehele onderzoeksperiode; het zijn dus etmaalwaarden.

Tabel 17: Waargenomen verdeling gedetecteerde vrachtwagens over de snelheidsklassen

Snelheidsklasse:	Mgr. Zwijzenstraat				Heusdensebaan				
	Ri02		Ri08		Ri02		Ri08		
	Tovergroen:	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
40-50 km/u		1.7%	1.3%	1.9%	2.8%	0.5%	0.7%	2.9%	4.2%
50-60 km/u		3.9%	3.2%	5.4%	7.8%	6.6%	8.6%	19.8%	13.2%
60-70 km/u		4.5%	4.0%	10.8%	25.0%	4.6%	5.7%	16.2%	16.6%
70-80 km/u		71.7%	72.9%	51.9%	41.6%	51.0%	52.0%	39.0%	41.4%
> 80 km/u		18.2%	18.7%	30.0%	22.8%	37.2%	32.9%	22.0%	24.5%
schatting gemiddelde snelheid (km/u)		75.1	75.5	75.3	72.4	76.8	75.8	70.7	71.9

In deze tabel is het volgende zichtbaar:

- Er zijn duidelijke verschillen tussen de vier detectiepunten. De geschatte gemiddelde snelheden lopen echter niet ver uiteen.
- Er worden weinig voertuigen in de klasse 40-50 km/u waargenomen
- Het aandeel met snelheid boven 80 km/u ligt tussen 20 en 30%. Dit is in alle gevallen een snelheidsovertreding, want het gaat om een 80 km-weg.
- Op de richtingen 02 van beide kruispunten verschilt de snelheidsverdeling weinig tussen Tovergroen AAN en Tovergroen UIT.
- Op de richting 08 is er meer verschil:
 - Op richting 08 van kruispunt Heusdensebaan liggen de snelheden lager met Tovergroen AAN; vooral in de klasse 50-60 km/u valt dat op. Een verband met Tovergroen is niet aannemelijk.
 - Op richting 08 van kruispunt Mgr. Zwijzenstraat worden met Tovergroen AAN meer hoge snelheden waargenomen. Hogere snelheden met Tovergroen AAN liggen juist hier niet voor de hand, vanwege de flauwe bocht ter plaatse van het detectiesysteem.

Reeds eerder is geconstateerd dat het gedrag van het detectiesysteem rond 1 juni is veranderd. Mogelijk is dit de oorzaak van de waargenomen verschillen.

5.6.4 Toetsing hypothesen snelheid vrachtverkeer

- De gemiddelde snelheden op de verschillende detectiepunten verschillen weinig; in de verdeling over de klassen komen onverwacht grote verschillen voor.
- De laagste gemiddelde snelheid wordt waargenomen op richting 08 van kruispunt Heusden-sebaan, en niet zoals verwacht op richting 08 van kruispunt Mgr. Zwijsenstraat.
- Tovergroen AAN of UIT maakt zeer weinig verschil, de verschillen tussen AAN en UIT zijn kleiner dan die tussen de kruispunten en richtingen onderling.

5.7 Verdeling links / rechts vrachtverkeer

Kennis van de verdeling van vrachtwagens en bussen over de linker- en rechterrijstrook is nuttig in verband met de vraag of men Tovergroen op beide rijstroken van een tweestrooksrijbaan zou willen installeren.

Tabel 18: Waargenomen verdeling gedetecteerde vrachtwagens over de rijstroken

Rijstrook:	Mgr. Zwijsenstraat				Heusdensebaan			
	Ri02		Ri08		Ri02		Ri08	
	Tovergroen: AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
rechterrijstrook	85.0%	84.1%	88.9%	88.2%	92.1%	91.6%	88.2%	88.1%
linkerrijstrook	15.0%	15.9%	11.1%	11.8%	7.9%	8.4%	11.8%	11.9%

In deze tabel is het volgende te zien:

- Van de gedetecteerde vrachtwagens en bussen rijdt 8 tot 16% op de linkerrijstrook.
- De richtingen 08 van beide kruispunten hebben een even groot aandeel 'links' van 11 à 12%.
- De richtingen 02 lopen juist flink uiteen, met een groot aandeel links op kruispunt Mgr. Zwijsenstraat. Hiervoor is geen reden te bedenken; tijdens de observatie is dit niet opgeval-

5.8 Tovergroen en extragroen

Het aantal malen en de gemiddelde duur van tovergroen geven, in combinatie met de aansturing van de signaalgever, een vrij nauwkeurige indicatie van de kans dat een gedetecteerde vrachtwagen tovergroen krijgt en dus gegarandeerd kan doorrijden. Deze gegevens zijn echter niet per afzonderlijke vrachtwagen bekend, omdat er meerdere vrachtwagens van dezelfde toekenning van tovergroen kunnen profiteren. De beste indicatie van het aantal vrachtwagen dat tovergroen krijgt is het aantal malen dat de signaalgever is aangestuurd. Voor meer dan een vrachtwagen per aansturing kan tot zekere hoogte worden gecorrigeerd.

Alleen Ri02 en Ri08 zijn onderzocht, omdat deze indicatoren specifiek voor Tovergroen zijn en dus alleen bij deze richtingen beschikbaar zijn.

Het uur van 5:00 – 6:00 is opgenomen om het effect van wachtstand rood (23:00 tot 6:00 uur) te illustreren. Het uur van 6:00 – 7:00 is afzonderlijk opgenomen omdat een aantal indicatoren dan sterk afwijkt van de rest van de ochtendspits.

5.8.1 Betekenis extragroen

Extragroen betekent hier, in afwijking van de ontvangen documentatie, niet meer dan dat de richting tijdens het Tovergroen is overgegaan naar meeverlenggroen. Het is dus een aanwijzing dat de richting zonder Tovergroen *mogelijk* eerder naar rood was gegaan. Het betekent in de meeste gevallen niet dat de normale maximumgroentijd is overschreden. Dit is vastgesteld door het bestuderen van de applicatiecode.

Een duidelijke aanwijzing voor deze werking is het feit dat extragroen veel langer kan duren dan de 10,0 s die in de applicatie is ingesteld (in EP_TOVERGROENxx) als toelaatbare Extra verlenging bovenop het maximumgroen. De waargenomen maximumduur van extragroen bedraagt 26 s, wat overeenkomt met de vereiste duur Tovergroen voor één vrachtwagen die 40 km/u rijdt. Dit is geheel volgens verwachting: extragroen impliceert meeverlenggroen, en

tijdens meeverlenggroen wordt (ongeacht de actuele groenduur) geen ‘nieuw’ Tovergroen meer toegekend.

5.8.2 Effect afronding

In de gepresenteerde tijdsduren (zoals gemiddelde duur tovergroen) zit een afronding naar hele seconden als gevolg van toepassing van het programmeervoorschrift van de IT&T Kwaliteitscentrale. Tijdsduren korter dan 1,0 s (niet afgerond) lopen kans te worden gemist, omdat de Kwaliteitscentrale ingrepen korter dan 1 s negeert.

De afronding is random wat afzonderlijke waarden betreft. Bijvoorbeeld de waarde 5,7 heeft 70% kans op afronding naar boven en 30% op afronding naar beneden. De waarde 0,6 heeft 60% kans om als 1 te worden geregistreerd, en 40% kans om *niet* te worden geregistreerd.

De afronding is zuiver voor waarden groter dan 1,0: zij vertekent het gemiddelde niet.

5.8.3 Aantal malen tovergroen en extragroen

Verwacht wordt dat het aantal malen tovergroen op de volgende wijze van andere factoren zal afhangen:

- positieve correlatie met de intensiteit van het (gedetecteerde) vrachtverkeer;
- positieve correlatie met groenduur en het aandeel groen van de richting, en derhalve met de totale intensiteit;
- negatieve correlatie met de conflictbelasting vanaf een zekere waarde, omdat bij wachtrijvorming Tovergroen niet wordt toegekend.

Omdat extragroen tovergroen impliceert, is er in beginsel een positieve correlatie tussen extragroen en tovergroen. Daarnaast worden de volgende verbanden verwacht:

- Negatieve correlatie met de (totale) intensiteit van de richting, omdat druk verkeer en lange groentijd de kans op overgang naar meeverlenggroen verkleinen.
- Positieve correlatie met de intensiteit van het (gedetecteerde) vrachtverkeer en daarmee de *duur* van het Tovergroen, omdat langdurig Tovergroen een grotere kans op overgang naar meeverlenggroen met zich meebrengt.

Tabel 19: Gemiddeld aantal malen tovergroen per uur

Uur of dagdeel	Kruispunt: Mgr. Zwijsenstraat		Heusdensebaan	
	Ri02	Ri08	Ri02	Ri08
5:00 – 6:00	9.3	23.9	8.8	14.0
6:00 – 7:00	29.7	46.8	26.9	36.0
7:00 – 10:00	23.7	30.5	21.6	21.7
10:00 – 14:00	30.5	38.4	24.3	26.0
15:00 – 19:00	24.9	31.5	21.9	23.0

Tabel 20: Gemiddeld aantal malen extragroen per uur

Uur of dagdeel	Kruispunt: Mgr. Zwijsenstraat		Heusdensebaan	
	Ri02	Ri08	Ri02	Ri08
5:00 – 6:00	9.2	22.9	7.2	12.2
6:00 – 7:00	10.1	16.6	10.5	15.7
7:00 – 10:00	9.3	13.3	5.8	6.3
10:00 – 14:00	10.6	16.2	10.6	13.4
15:00 – 19:00	8.5	13.2	5.7	6.5

Tabel 21: Gemiddelde verhouding aantal malen extragroen / aantal malen tovergroen per dagdeel

Uur of dagdeel	Kruispunt: Mgr. Zwijzenstraat		Heusdensebaan	
	Ri02	Ri08	Ri02	Ri08
5:00 – 6:00	0.99	0.96	0.82	0.87
6:00 – 7:00	0.34	0.35	0.39	0.44
7:00 – 10:00	0.39	0.43	0.27	0.29
10:00 – 14:00	0.35	0.42	0.44	0.52
15:00 – 19:00	0.34	0.42	0.26	0.28

De volgende zaken vallen op:

- Het aantal malen Tovergroen op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is groter dan op kruispunt Heusdensebaan. Dit geldt voor beide richtingen in alle beschouwde periodes. Oorzaak zal de lagere conflictbelasting zijn (groter aandeel groen Ri02 en Ri08, vaker in wachtstand groen) en daarmee samenhangend minder vaak blokkeren van Tovergroen wegens lange wachtrij. Daarnaast geldt dat in de onderzoeksperiode Tovergroen AAN de detectie op Ri08 van kruispunt Heusdensebaan minder scoorde dan op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat.
- Binnen dezelfde VRI is het aantal malen Tovergroen op richting 08 altijd groter dan op richting 02. De oorzaak ligt vermoedelijk in de hogere detectiescore op richting 02 van beide kruispunten. Het verschil is vooral groot op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat; daar weerspiegelt het de verhouding tussen de detectiescores van deze richtingen uit Tabel 2.
- In de dalperiodes is er vaker Tovergroen dan in de spitsen. Dit zal dezelfde oorzaken hebben als in het eerste punt genoemd.
- Tussen 5:00 en 6:00 uur gaat tovergroen vrijwel altijd gepaard met extragroen. In dit uur staan de regelingen in wachtstand rood en is er nog niet veel verkeer. Blijkbaar zijn de richtingen dan uitverlengd of is de maximumgroentijd verstreken voordat de vrachtwagen het detectieveld bereikt.
- Op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat is de verhouding extragroen/tovergroen verder de hele dag constant. Op kruispunt Heusdensebaan wordt in de spits duidelijk minder extragroen toegekend dan in de dalperiode.

5.8.4 Duur tovergroen en extragroen

Alvorens resultaten worden vermeld wordt hier ingegaan op de kansverdeling van de duur van tovergroen en extragroen. Terwijl bijvoorbeeld wachttijden een verdeling volgen die bij 0 begint, is dat bij Tovergroen niet het geval. De duur van Tovergroen wordt in eerste aanleg bepaald op basis van de snelheidsklasse van een gedetecteerde vrachtauto. De toegekende waarden (voor één vrachtauto) bedragen circa 13, 15, 18, 22 of 26 seconden, voor snelheidsklassen van 80⁺ tot 40-50 km/u. Wordt binnen die tijd een volgende vrachtauto gedetecteerd dan wordt het Tovergroen verlengd. Verlaat de vrachtauto eerder dan berekend het detectieveld, door accelereren of afslaan, dan wordt de gerealiseerde duur korter dan de toegekende waarde. Hierdoor komen sporadisch ook waarden korter dan 13s voor. De bovengrens is de maximumgroentijd + de maximale Extra tijd uit de parameter EP_TOVERGROENxx. De theoretische maximumduur is onbeperkt wanneer de richting in wachtstand groen staat.

De duur van extragroen heeft een ondergrens van 0, omdat de overgang naar meeverlenggroen op een willekeurig laat tijdstip tijdens tovergroen kan plaatsvinden. De bovengrens is de maximale duur van tovergroen voor één vrachtwagen (26 s), omdat tijdens meeverlenggroen geen nieuw tovergroen meer wordt toegekend.

De waargenomen minimum- en maximumduur zijn als volgt.

- tovergroen: minimum 10 s, maximum 80 s.
- extragroen: minimum 1 s, maximum 26 s.

Alleen de gemiddelde duur wordt verder geanalyseerd.

Verwacht wordt dat de gemiddelde duur van het Tovergroen op de volgende wijze van andere factoren zal afhangen:

- Positieve correlatie met de intensiteit van het (gedetecteerde) vrachtverkeer. Een hoge intensiteit vergroot de kans dat meer dan een vrachtwagen per keer tovergroen wordt afgehandeld, wat de duur verlengt.
- Positieve correlatie met groenduur en het aandeel groen van de richting, en dus met de totale intensiteit.
- Negatieve correlatie met de snelheid van het (vracht)verkeer.

5.8.4.1 Resultaten duur Tovergroen

Tabel 22: Gemiddelde duur tovergroen per dagdeel

Uur of dagdeel	Kruispunt: Mgr. Zwijsenstraat		Heusdensebaan	
	Ri02	Ri08	Ri02	Ri08
5:00 – 6:00	14.8	14.4	15.2	14.9
6:00 – 7:00	18.1	17.8	17.9	18.0
7:00 – 10:00	19.6	21.2	19.1	22.0
10:00 – 14:00	19.0	19.6	18.3	21.6
15:00 – 19:00	19.7	20.6	19.0	22.7

De volgende zaken vallen op:

- De gemiddelde duur van het tovergroen is vrij constant, de variatie is veel minder dan die in het aantal malen. Er is geen sterk verband met het aantal malen tovergroen. Alleen het uur van 5:00-6:00 uur wijkt af met een kortere duur.
- De gemiddelde duur van het tovergroen verschilt niet tussen de kruispunten onderling
- De gemiddelde duur van het tovergroen op Ri08 is meestal langer dan op Ri02. Oorzaak zal de hogere detectiescore op die richtingen zijn.

De kans op overgang naar meeverlenggroen op enig tijdstip tijdens tovergroen is bij benadering homogeen verdeeld. Verwacht wordt dan ook dat de gemiddelde duur van het extragroen de helft van de gemiddelde duur van tovergroen zal zijn. Een afhankelijkheid van andere factoren wordt niet verwacht.

Tabel 23: Gemiddelde duur extragroen per dagdeel

Uur of dagdeel	Kruispunt: Mgr. Zwijsenstraat		Heusdensebaan	
	Ri02	Ri08	Ri02	Ri08
5:00 – 6:00	8.9	9.1	8.7	7.6
6:00 – 7:00	7.7	8.4	7.9	6.1
7:00 – 10:00	8.4	8.9	6.4	7.9
10:00 – 14:00	7.7	8.7	7.3	7.2
15:00 – 19:00	8.2	8.8	6.6	7.2

Te zien is dat de gemiddelde duur van het extragroen vrijwel constant is over de dag, maar gemiddeld nog het langst tussen 5:00 en 6:00 uur. Dit wijkt enigszins af van de verwachting 'duur extragroen is halve duur tovergroen'. Tussen 5:00 en 6:00 uur is de duur van het extragroen langer de helft van de duur tovergroen, daarna wat korter.

5.8.5 Kans op tovergroen

De kans op tovergroen voor een naderende vrachtwagen is een zinvolle indicator voor de effectiviteit van het systeem. Verwacht wordt een verband tussen deze kans en de wachtstand van de regelingen: bij wachtstand rood en weinig verkeer zal de kans zeer gering zijn, bij langdurig wachtstand groen groot, en bij cyclisch draaiende regeling gemiddeld.

De kans op tovergroen kan niet exact worden bepaald, omdat de toekenning van tovergroen niet per gedetecteerde vrachtwagen wordt geregistreerd, en meerdere vrachtwagens van dezelfde toekenning van tovergroen kunnen profiteren.

Een goede benadering van het aantal vrachtwagen met tovergroen is het aantal malen dat de signaalgever wordt aangestuurd. Weliswaar kan ook een aansturing van de signaalgever meerdere vrachtwagens bedienen, maar dit komt alleen voor als vrachtwagens elkaar onmiddellijk volgen.

Op grond van de waargenomen duur aansturing is geschat dat per aansturing van de signaalgever gemiddeld 1,15 vrachtwagens tovergroen hebben gekregen. Met dit aantal is de kans op tovergroen berekend die in de volgende tabel is weergegeven. De kansen zijn gemiddelden over alle snelheidsklassen. Hogere snelheidsklassen hebben een belangrijk grotere kans op Tovergroen, omdat het eerder binnen de beschikbare tijd zal passen.

De kansen gelden per *gedetecteerde* vrachtwagen. Ook niet-gedetecteerde vrachtwagens profiteren van Tovergroen, wanneer zij worden gevolgd door een vrachtwagen waaraan tovergroen is toegekend. Er wordt op gewezen dat de detectiescore op de richtingen 02 belangrijk lager is dan op de richtingen 08.

Tabel 24: Gemiddelde kans op Tovergroen per dagdeel

Uur of dagdeel	Kruispunt: Mgr. Zwijzenstraat		Heusdensebaan	
	Ri02	Ri08	Ri02	Ri08
00:00 – 05:00	0.04	0.32	0.09	0.14
05:00 – 06:00	0.41	0.37	0.42	0.41
06:00 – 07:00	0.67	0.65	0.62	0.69
07:00 – 10:00	0.65	0.49	0.47	0.53
10:00 – 14:00	0.63	0.57	0.48	0.54
15:00 – 19:00	0.62	0.51	0.50	0.51
20:00 – 24:00	0.90	0.78	0.60	0.65
etmaal 0:00 – 24:00	0.64	0.54	0.49	0.54

De volgende zaken vallen op:

- In de nachturen is de kans op tovergroen klein. Dit is naar verwachting.
- Tussen 5:00 en 6:00 uur, nog steeds bij wachtstand rood, is de kans al veel groter. Kennelijk zijn de groentijden van Ri02 en Ri08 al vrij lang op dit uur.
- Gedurende de overige dagdelen, bij wachtstand groen, lijkt de kans op tovergroen negatief met de intensiteiten te correleren. Dit is een gevolg van de wachtstand groen op Ri02 en Ri08. Uiteraard heeft bij voortdurende wachtstand groen de toekenning van tovergroen geen enkel gevolg.

5.9 Vrachtwagens gevangen voor de stopstreep

Het tot stilstand komen van vrachtwagens voor de stopstreep is van belang omdat een traag op-trekkende vrachtwagen de effectieve afrijcapaciteit van zijn rijstrook vermindert.

5.9.1 Hypothese

Verwacht wordt dat Tovergroen het volgende effect heeft op het aantal voor de stopstreep gevangen vrachtwagens:

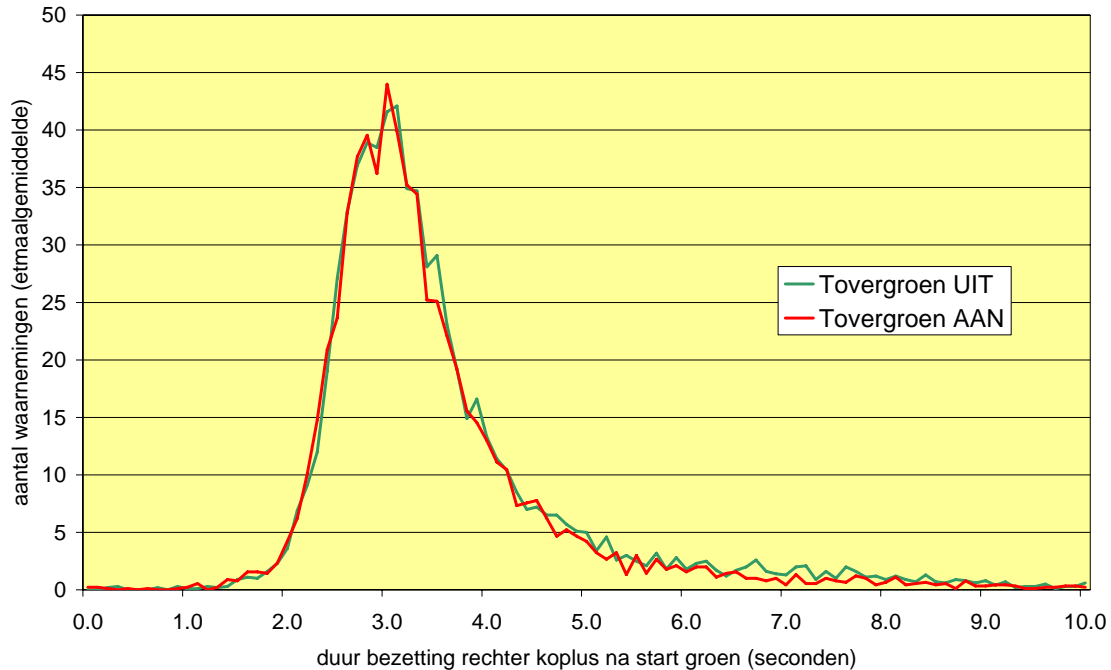
- Er komen minder vrachtwagens als eerste voertuig voor de stopstreep tot stilstand.

5.9.2 Analysemethode

Vanwege de opdrachtgever is gesteld dat als een koplus vanaf start groen langer dan 3 s bezet blijft, moet worden aangenomen dat de bezetter een vrachtwagen is. Deze meetmethode is met succes toegepast, maar de grens van 3 seconden is geen geschikte waarde voor deze kruispunten: daarmee zou ruwweg de helft van het verkeer als vrachtwagen zijn geclassificeerd.

Om te bepalen wat een geschikte grenswaarde is zijn twee methodes gevolgd:

- Meting ter plaatse. Deze is beschreven in 4.7 en geeft indicatief een bereik van 5 tot 9 seconden aan voor de eerste afrijdende vrachtwagen.
- Onderzoek van de frequentieverdeling van de koplusbezetting door het eerste afrijdende voertuig. Die verdeling ziet er als volgt uit. Het betreft de rechterrijstrook van Ri02 van kruispunt Heusdensebaan. De frequentie (etmaalgemiddelde) is uitgezet tegen de bezettijd (gemeten in tienden van seconden).



Figuur 21: Frequentieverdeling bezetting koplus na start groen. Klassenbreedte 0.1s

In de grafiek is het volgende te zien:

- De top van de verdeling ligt bij 3,0 s, de ondergrens is ongeveer 1,5 s.
- Afgezien van deze ruis is de curve monotoon dalend. Verwacht was dat een afzonderlijke piek van lange voertuigen te herkennen zou zijn, omdat voertuiglengtes tussen 11 en 15 m weinig voorkomen.
- Niettemin ligt de curve Tovergroen UIT (groen) in het bereik tussen 5,5 en 9,0 s overall boven de rode curve van Tovergroen AAN. Op enkele punten na is dit het geval in het hele bereik tussen 4,5 en 10,0 s.

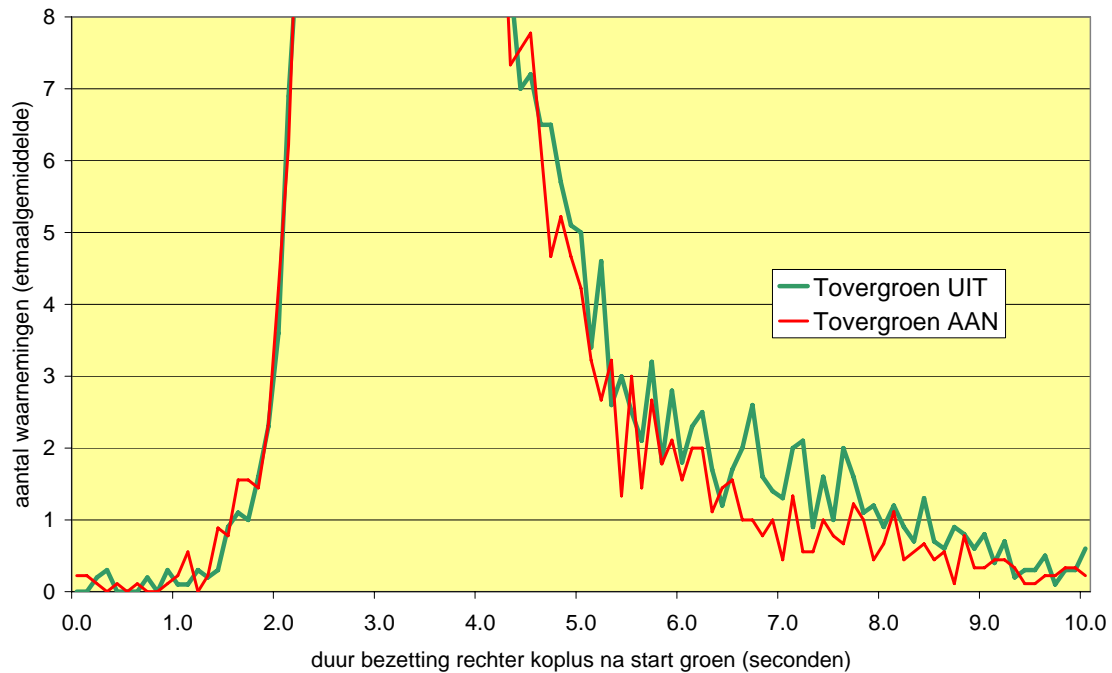
Nb: bezettingen langer dan 10,0 s zijn weggelaten.

De volgende grafiek vergroot dit bereik uit.

Een dergelijk verschil is consequent te zien op de rechterrijstrook van alle tovergroenrichtingen. Op de linkerrijstroken is geen verschil waarneembaar. Aangenomen moet worden dat dit een effect van Tovergroen is. Daarom kan worden gesteld dat het *verschil* tussen de aantallen bezettingwaarnemingen in het gevonden bereik overeenkomt met het *verschil* in het aantal vrachtwagens dat voor de stopstreep tot stilstand is gekomen.

De absolute aantallen vrachtwagens waarom het gaat zijn echter niet te bepalen. Naast vrachtwagens zit in het bedoelde bereik een onbekend aantal slapende bestuurders, bestuurders die in de verkeerde rijstrook stonden, en mogelijk andere storende factoren. Wel vormt het aantal waarnemingen in dit bereik de bovengrens van het aantal vrachtwagens

Verwacht wordt dat het totaal aantal vrachtwagenstops met dezelfde factor zal afnemen als het aantal stops als eerststoppend voertuig!



Figuur 22: Frequentieverdeling bezetting koplus na start groen. Klassenbreedte 0.1s. Uitvergroting bereik met langere bezettijden

5.9.3 Resultaten

Tabel 25: Vrachtwagens gevangen voor de stopstreep, gemiddelden per etmaal, kruispunt Mgr. Zwijzenstraat

kruispunt Mgr. Zwijzenstraat Alleen rechter rijstrook!	Richting: Tovergroen:	Ri02		Ri08	
		AAN	UIT	AAN	UIT
Aantal eerstafrijdende voertuigen, Tovergroen AAN		512.1	526.0	581.1	611.1
kopluksbezettijd tijdens groen in bereik 4,5 – 10,0 s		75.0	92.3	82.6	106.6
verschil Tovergroen UIT – AAN:		17.3		24.0	
ondergrens percentage afname UIT - AAN:		18.7%		22.5%	

Tabel 26: Vrachtwagens gevangen voor de stopstreep, gemiddelden per etmaal, kruispunt Heusdensebaan

kruispunt Heusdensebaan Alleen rechter rijstrook!	Richting: Tovergroen:	Ri02		Ri08	
		AAN	UIT	AAN	UIT
Aantal eerstafrijdende voertuigen, Tovergroen AAN		648.8	682.8	632.1	661.5
kopluksbezettijd tijdens groen in bereik 4,5 – 10,0 s		79.7	106.1	116.6	137.5
verschil Tovergroen UIT – AAN:		26.4		25.9	
ondergrens percentage afname UIT – AAN:		24.9%		18.9%	

De gevonden verschillen kunnen op grond van de tekentoets als sterk significant worden gekwalificeerd.

Opmerkelijk is dat op kruispunt Heusdensebaan richting 02 een aanzienlijk grotere afname vertoont dan richting 08, terwijl het tovergroensysteem van Ri02 een lagere detectiescore heeft. Het verschil zou verband kunnen houden met een meer verspreide aankomst (minder pelotonvorming) van vrachtverkeer op Ri08, omdat het bovenstroomse kruispunt (Kreitenmolenstraat - Pannenschuurlaan op 1,4 km) afslaand vrachtverkeer van betekenis kent.

5.9.4 Toetsing hypothese 'vrachtwagens gevangen voor de stopstreep'

- Er komen minder vrachtwagens als eerste voertuig voor de stopstreep tot stilstand. De afname bedraagt ten minste 20% gemiddeld over de tovergroenrichtingen.

6 Luchtkwaliteit

6.1 Inleiding

Door activiteiten van de mens, zoals de industrie, verkeer en landbouw, wordt de lucht vervuild. Luchtverontreiniging kan tot acute en chronische gezondheidsklachten leiden; van keel- en neusirritaties tot zware astmatische klachten en hart- en vaatzieken. Daarom is het van belang de concentraties luchtverontreinigende stoffen in de lucht zo laag mogelijk te houden. In Nederland gelden regels voor luchtkwaliteit, deze staan in het Besluit luchtkwaliteit. Dit besluit is gebaseerd op regels van de Europese Unie (EU).

In dit hoofdstuk wordt getracht de vraag te beantwoorden of Tovergroen, zoals toegepast op deze kruispunten, een meetbaar effect heeft op de luchtkwaliteit. Deze vraag is als extra onderzoeksvraag na het opstarten van het project gesteld.

6.2 Het Besluit luchtkwaliteit

Het Besluit luchtkwaliteit, dat in 2001 van kracht is geworden, is eind juli 2005, met terugwerkende kracht tot 4 mei 2005, vervangen door het Besluit luchtkwaliteit 2005. Aanleiding hiervoor waren uitspraken van de Raad van State waarbij diverse besluiten werden vernietigd. Het Besluit luchtkwaliteit 2005 bevat een meer genuanceerde regeling dan zijn voorganger. Een groot deel van de bepalingen is ongewijzigd gebleven. Bepalingen die hun rechtskracht inmiddels hebben verloren zijn niet meer opgenomen.

Het Besluit is een Algemene Maatregel van Bestuur. Met het Besluit implementeert Nederland in de Nederlandse wetgeving richtlijn 1999/30/EG van de Raad van de Europese Unie betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofdioxiden, zwevende deeltjes (fijn stof) en lood in de lucht. In het Besluit luchtkwaliteit 2005 zijn tevens voor koolmonoxide en benzeen regels opgenomen. Het Besluit luchtkwaliteit 2005 geeft de beleidshorizon aan tot 2010. Voor de periode vanaf 2010 moet overal aan de grenswaarden worden voldaan.

Het doel van het Besluit luchtkwaliteit 2005 is het beschermen van mens en milieu tegen de negatieve effecten van luchtverontreiniging. Het Besluit is primair gericht op het voorkomen van effecten op de gezondheid van de mens. Daarnaast zijn er voor zwaveldioxide en stikstofdioxiden normen opgenomen ter bescherming van ecosystemen.

Het Besluit betreft zes luchtverontreinigende stoffen. Al deze stoffen verdienen de aandacht. Echter voor de luchtverontreiniging door zwaveldioxide, koolmonoxide en lood geldt dat in Nederland nauwelijks overschrijding van de normen wordt verwacht. Voor fijn stof (PM₁₀) moet conform Europese regels per 1 januari 2005 aan de grenswaarden zijn voldaan. Voor deze stoffen zijn daarom alleen grenswaarden en geen plandrempels opgenomen in het Besluit luchtkwaliteit 2005. Voor stikstofdioxide (NO₂) en benzeen zijn wel plandrempels opgenomen. Voor stikstofdioxide worden nog regelmatig overschrijdingen verwacht. Voor benzeen vragen smalle straten met veel stagnerend verkeer en - ondergrondse - parkeergarages bijzondere aandacht.

Het Besluit luchtkwaliteit verplicht gemeenten tot het maken van een jaarlijkse rapportage over de luchtkwaliteit binnen de gemeentegrenzen en een plan van aanpak indien de grenswaarden voor NO₂ en PM₁₀ worden overschreden in de gemeente. Zo'n plan van aanpak omvat een set maatregelen waarmee een gemeente de luchtkwaliteit binnen haar gemeente wil verbeteren. Een

veel genoemde maatregel is Tovergroen. Naar de effecten van Tovergroen is echter nog weinig onderzoek gedaan.

6.2.1 Toelichting NO₂ en PM₁₀

De term NO₂ betreft de chemische stof stikstofdioxide. Het is een bruin gas, zwaarder dan lucht, met een kenmerkende, chloorachtige geur. Deze stof ontstaat, samen met NO, bij verbrandingsprocessen, in het bijzonder bij zeer hoge temperatuur en een overmaat aan zuurstof. Het verkeer is de belangrijkste bron. Vaak wordt ook de term NO_x gebruikt voor de combinatie van NO en NO₂; een deel van het NO wordt na het ontstaan omgezet in NO₂.

De stof veroorzaakt gezondheidsschade in de vorm van luchtwegaandoeningen. Ze bevordert het ontstaan van longkanker en allergieën.

De term PM₁₀ betreft deeltjes (Particles) met een diameter kleiner dan 10 micron. 1 micron = 1 µm = 0,001 mm. De normstelling is thans op deze grootte gericht. Het betreft hier deeltjes, dus vaste stof, van willekeurige chemische samenstelling. Door hun geringe gewicht blijven ze zweven, zodat ze kunnen worden ingeademd.

Vermoed wordt dat het vooral de (veel) kleinere deeltjes zijn die enerzijds gezondheidsschade veroorzaken, in de vorm van hart- en longaandoeningen, en anderzijds in belangrijke mate afkomstig zijn van het wegverkeer.

6.3 Werkwijze

Grontmij heeft een onderzoeksopzet voorgesteld waarin de luchtkwaliteit niet met ter plaatse opgestelde apparatuur wordt gemeten, maar waarin deze wordt geschat met een globale berekening op basis van de verkeerscijfers en het voertuiggedrag zoals dat uit de MV-files van de onderzoeksdagen bekend is. De oorspronkelijke onderzoeksopzet voor dit onderdeel moest op een aantal punten worden bijgesteld, omdat het niet mogelijk bleek de nodige verkeersgegevens te bepalen, of omdat het gebruikte luchtkwaliteitsmodel CAR II de mogelijkheid niet biedt.

Als meetperioden zijn de gehele onderzoeksperioden Tovergroen AAN en Tovergroen UIT gebruikt, zoals die ook voor de kwantitatieve analyses gelden. Er is gerekend met de gemiddelde waarden over die perioden van telkens 10 werkdagen. Dit lijkt bij nader inzien een betere aanpak dan het selecteren van representatieve dagen. Van belang hierbij is dat het totale verkeersbeeld zeer stabiel is (maximaal 2% verschil tussen Tovergroen AAN en Tovergroen UIT op de hoofdrichtingen).

Als tijdvak binnen die onderzoeksdagen zijn de uren van 6:00 tot 23:00 uur gekozen. Van het totale verkeer valt circa 94% hierbinnen, van het (als zodanig gedetecteerde) vrachtverkeer circa 96%. Belangrijkste motief voor deze keuze is dat *buiten* deze uren de regelingen in wachtstand rood staan, wat qua doorrijkans, wachttijd e.d. resultaten kan geven die sterk afwijken van de uren met wachtstand groen.

Op de N65 wordt het vrachtverkeer onderscheiden, zoals dat met het detectiesysteem van Tovergroen is onderscheiden. Omdat de detectiepunten op 300 m liggen, ruim voor het begin van de opstelstroken, is het afslaan van vrachtverkeer (richtingen 01, 03, 07 en 09) hierin mede begrenzen.

Op de zijrichtingen 05 en 11 is het niet mogelijk vrachtverkeer te onderscheiden. Door het naast elkaar rijden op 1 rijstrook (richtingen 05) en door stagnerend verkeer als gevolg van deelconflict (richting 05 en 11 van kruispunt Heusdensebaan) is geen enigszins betrouwbaar onderscheid van vrachtverkeer op de koplus mogelijk. Daarom wordt dit verkeer geschat op basis van de afslaan van stromen van de N65 en de indruk die bij de observatie is verkregen.

Het bepalen van de wachttijd is in beginsel goed mogelijk. De bepaling van de gemiddelde maximale wachttijd heeft hiervoor de bouwstenen geleverd. De geraadpleegde milieukundigen hebben echter aangegeven dat het meerekenen van de wachttijd (stilstaan, stationair draaien) van verwaarloosbare invloed is op de totale emissie rond het kruispunt. Daarom is dit effect niet meegenomen in de berekening.

In paragraaf 5.5 is beschreven hoe het waargenomen verkeer is ingedeeld in de ritcategorieën ‘stoppen’, ‘remmen’ en ‘doorrijden’ en zijn de resultaten daarvan als doorrijkans gepresenteerd.

De verdeling van het waargenomen verkeer over voertuigcategorieën is in beperkte mate bekend. Het Tovergroen-detectiesysteem levert de splitsing tussen licht verkeer enerzijds, en vrachtauto's en bussen anderzijds. Voor de onderverdeling binnen het vrachtverkeer is een aanname gedaan op grond van wat bij de observatie is waargenomen.

De volgende onderverdeling is gekozen:

- 5% bussen
- 15% ongelede vrachtauto's
- 80% gelede vrachtauto's.

Om te voorkomen dat de kleine verschillen in etmaalgemiddelden tussen Tovergroen AAN en UIT de resultaten zouden bepalen, zijn alle waargenomen intensiteiten door middel van correctiefactoren op hetzelfde niveau gebracht:

- Intensiteiten voor Tovergroen AAN en UIT zijn aangepast tot de hoogste van de twee;
- Intensiteiten van de richtingen 02 en 08 zijn aangepast tot de hoogste van de twee;
- Intensiteiten van vrachtverkeer op de richtingen 02 en 08 zijn aangepast tot de hoogste van de twee, en daarbij tevens naar boven bijgesteld op basis van de geschatte detectiescore van het Tovergroensysteem. Uiteraard zonder daarmee de totale intensiteit verder te verhogen.

Wat dan overblijft zijn de reële verschillen tussen Tovergroen AAN en UIT, en tussen de intensiteiten en verkeersstromen van de kruispunten onderling.

Op grond van het waargenomen effect van Tovergroen op met name het aantal stops wordt een geringe afname van de emissie verwacht. Uitgaande van een vuistregel dat een zware vrachtwagen tot 20x zoveel uitstoot als een personenauto, zal de bijdrage van optrekkend verkeer aan de uitstoot met rond 5% afnemen als gevolg van het kleinere aantal stops.

6.4 Luchtkwaliteitsmodel CAR II

De berekeningen voor de te verwachten luchtkwaliteit zijn uitgevoerd met CAR II versie 5.1. De berekeningen met het model CAR zijn geschikt om een goed beeld te verkrijgen van de luchtkwaliteit en het bestaan van eventuele knelpunten.

Het programma is nadrukkelijk niet bedoeld om tot in hoge mate van detail berekeningen uit te voeren. Er wordt in dit model slechts in algemene zin rekening gehouden met gebouwinvloeden en hoogte van de waarnemers (bewoners).

Met het model wordt berekend wat de concentratie is van de volgende stoffen:

- NO₂ (stikstofdioxide)
- PM₁₀ (fijn stof)
- Benzeen
- SO₂
- CO
- BaP (Benzo(a)pyreen)

De eerste vijf stoffen hebben een norm in het Besluit Luchtkwaliteit 2005, voor BaP is nog geen norm opgenomen in het Besluit. Omdat de berekening direct gerelateerd is aan de Amersfoort-coördinaten, wordt gerekend met de juiste achtergrondconcentratie behorend bij een rekenpunt. De resolutie van de achtergrondconcentratie die het RIVM heeft vastgesteld is niet gedetailleerder dan 1 bij 1 km. Een aanduiding van de onderscheiden weggedelen/tracés op meters nauwkeu-

rig is daarom weinig relevant. Wel is een en ander wel zo correct en gedetailleerd mogelijk ingevoerd.

6.5 Beoordelingsafstand tot de weg

Op 27 november 2006 is het meet- en rekenvoorschrift bevoegdheden luchtkwaliteit van kracht geworden. In artikel 8 van dit meet- en rekenvoorschrift is aangegeven op welk punt het effect op de luchtkwaliteit dient te worden beoordeeld. Dit punt is gedefinieerd als de afstand tot de rand van de weg en is afhankelijk is van de beschouwde luchtverontreinigende stof.

Voor NO₂ bedraagt de afstand tot de wegrand 5m. Voor PM₁₀ bedraagt deze 10 m.

In dit onderzoek is het niet primair van belang wat het effect van de luchtverontreiniging op de luchtkwaliteit in de omgeving is, maar wat het effect van Tovergroen is op de luchtverontreiniging op de 2 beschouwde kruispunten. Voor het onderzoek zou het daarom wenselijk zijn om op het midden van de weg te rekenen. Met Car is dit echter niet mogelijk. Er is daarom voor gekozen om zo dicht mogelijk bij het midden van de weg te rekenen, om zo de verschillen tussen Tovergroen aan en uit zo duidelijk mogelijk te maken. De korst mogelijke afstand tot de wegas in Car is 5 m. Met deze afstand is dan ook gerekend

6.6 Berekeningsresultaten

CAR II behandelt een weg als een lijnbron. Een kruispunt is er slechts een gat in de gevelwand, niet een punt waar verkeersstromen samenkomen. Daarom zijn de verschillende kruispuntstromen niet onderscheiden in de berekening.

De indeling van het waargenomen verkeer in ritcategoriën ('stoppen', 'remmen' en 'doorrijden', zie paragraaf 5.5) is als volgt vertaald naar de snelheidstypen van het CAR II-model:

ritcategorie	snelheidstype
Stoppen	Stagnerend verkeer
Remmen	Normaal stadsverkeer
Doorrijden	Buitenweg

Allereerst is voor de bovenstaande ritcategoriën afzonderlijk de luchtkwaliteit doorberekend. De resultaten van deze rekensessie zijn weergegeven in bijlage 1. De concentraties NO₂ en PM₁₀ uit de ritcategoriën Stoppen en Remmen zijn vervolgens in Car als bonbijdrage bij ritcategorie Doorrijden opgeteld. Deze resultaten van deze berekening zijn weergegeven in bijlage 1. In onderstaande tabel is weergegeven wat de percentuele afname van de concentraties NO₂ en PM₁₀ is.

Tabel 27: procentueel effect Tovergroen op luchtkwaliteit

kruispunt	% NO ₂ afname	% PM ₁₀ afname
Mgr. Zwijsenstraat (Haaren)	1,06	0,68
Heusdensebaan (Oisterwijk)	1,00	0,63

Uit de rekensessie blijkt dat Tovergroen mogelijk een kleine bijdrage kan leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit.

Omdat Car een vrij robuust model is, is moeilijk aan te geven hoeveel waarde aan bovenstaande maatregelen kan worden toegeschreven. Het dient daarom aanbeveling om in een later stadium, wanneer er een verfijnder luchtkwaliteitmodel beschikbaar is, de rekenexercitie te herhalen, of om in de praktijk metingen te verrichten.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De belangrijkste conclusies in het kort:

- Tovergroen heeft duidelijk positieve effecten op de afwikkeling van vrachtverkeer. Daaronder zijn:
 - Grotere doorrijkans
 - Minder roodlichtnegatie
 - Kleinere kans om voor de stopstreep te worden gevangen.
- De nadelige effecten voor het overige verkeer zijn in verhouding gering of afwezig.
- De hier gebruikte detectiesystemen voor vrachtverkeer functioneren gebrekkig.
- Is eenmaal een vrachtwagen gedetecteerd en tovergroen toegekend, dan is de afhandeling verder correct.
- Tovergroen heeft een gering maar gunstig effect op de luchtkwaliteit.
- Het positief effect van Tovergroen zal tenminste tweemaal zo groot zijn bij goed functionerende detectie gecombineerd met een aantal software-aanpassingen.

Tovergroen heeft duidelijk positieve effecten op de afwikkeling van vrachtverkeer.

Deze conclusie is gegrond op een aantal meetbare effecten:

- Tovergroen vermindert de roodlichtnegatie door zwaar verkeer. Het aantal forse roodlicht-overtredingen door zwaar verkeer neemt met circa 30% af. Verwacht wordt dat het gunstige effect groter zal zijn bij een betrouwbaarder detectie. *Zie 5.2.3, p. 34 e.v.*
- Tovergroen vergroot de doorrijkans voor vrachtwagens met 5 à 10% Het aandeel van de vrachtwagens dat met de waargenomen snelheid kan doorrijden neemt met 5 à 10% toe. Het percentage verschilt naar kruispunt en richting. *Zie 5.5.3, p. 42 e.v.*
- Tovergroen vermindert het aantal vrachtwagens dat voor de stopstreep wordt gevangen met tenminste 20% Dit komt neer op een veertigtal vrachtwagens en bussen *minder*, per kruispunt en per etmaal, die als eerste voertuig voor de stopstreep tot stilstand komen. *Zie 5.9.3, p. 51.*

De nadelige effecten voor het overige verkeer zijn in verhouding gering of afwezig.

Deze conclusie is gegrond op een aantal meetbare effecten:

- Met Tovergroen nemen de gemiddelde verliestijden op alle richtingen met circa 5% toe. Voor de conflicten van de tovergroenrichtingen is dit een onvermijdelijk effect. Voor de tovergroenrichtingen zelf is dit een neveneffect van de hier toegepaste regelstructuur. *Zie 5.4.3, p. 38 e.v.*
- Tovergroen heeft geen invloed op de roodlichtnegatie door overig (niet-vracht)verkeer. *Zie 5.2.3, p. 34 e.v.*

De detectiesystemen voor vrachtverkeer functioneren gebrekkig.

Van de voertuigen die het systeem zou moeten detecteren wordt slechts 50 tot 90% werkelijk gedetecteerd. De score verschilt van dag tot dag en tussen de 4 systemen. De systemen zijn ge-

voelig voor weers- en lichtomstandigheden. De score bij duisternis is niet bekend maar naar verwachting slechter dan bij daglicht.

De snelheidsclassificatie van de detectiesystemen werkt wel naar behoren.

Zie 3.3 (p. 17 e.v.) en 4.4 (p. 25 e.v.).

Tovergroen als zodanig functioneert in grote lijnen naar behoren.

Is eenmaal een vrachtwagen gedetecteerd en tovergroen toegekend, dan is de afhandeling verder correct. Het voertuig zal vrijwel altijd de stopstreep in groen passeren. Zie 4.5 (p. 26 e.v.)

Het positief effect van Tovergroen zal tenminste tweemaal zo groot zijn bij goed functionerende detectie gecombineerd met een aantal software-aanpassingen.

De grootste verbetering is te verwachten van een goed functionerend detectiesysteem. De effecten op het overige verkeer zullen daarbij minder dan evenredig toenemen.

Verder zijn op veel punten softwarematige verbeteringen mogelijk die leiden tot het vaker toekennen van Tovergroen, en het beter afstemmen van de (extra) groentijd op de behoefte. Zie aanbevelingen hierna

7.2 Aanbevelingen

7.2.1 Tovergroen, detectiesysteem

Bij gebruik van signaalgevers zoals hier toegepast staat of valt de geloofwaardigheid van het systeem met een betrouwbare detectie en een tijdige aansturing van de signaalgever.

Men kan zich afvragen of de keuze voor een detectiesysteem op basis van video bij de huidige stand van de techniek de beste is. Ongeacht de kwaliteit van de apparatuur, blijft een camerasysteem in principe gevoelig voor licht- en weersomstandigheden, zodat een consistente waarneming niet bij voorbaat is verzekerd.

In Zweden is binnen LHOVRA vergelijkbare functionaliteit toegepast op basis van lusdetectie. Lengtedetectie van bussen is in Nederland in de praktijk ruimschoots bewezen.

- De detectiesystemen moeten zodanig worden verbeterd dat zij een score van 100% opleveren voor het verkeer waarvoor zij zijn bedoeld. Een zeker percentage onterechte detecties daarbij is onvermijdelijk en onschadelijk.
- De detectiescore van Tovergroen bij duisternis zou nader moeten worden onderzocht.

7.2.2 Tovergroen, verkeerskundig

Tovergroen zou in meer situaties kunnen worden toegekend dan in de huidige regelingen het geval is:

- Tovergroen kan reeds worden toegekend voordat de richting naar groen is gegaan, als deze volgens de structuur als eerstvolgende realiseert en alleen nog wacht op het aflopen van geel- en ontruimingstijden. De signaalgever moet bij voorkeur niet eerder dan vanaf start groen worden aangestuurd. Deze aanpassing zal vooral nuttig zijn in de klokperiode met wachtstand rood.
- Eveneens in de klokperiode wachtstand rood zou men dit kunnen combineren met een aanvraagfunctie op de Tovergroendetectie, in elk geval voor de hogere snelheidsklassen.
- Als op start groen de wachtrij tot op de verweglussen staat, wordt nu Tovergroen voor de hele groenfase geblokkeerd. Aanbevolen wordt om Tovergroen toe te staan zodra de wachtrij is afgereden. Een mogelijk criterium is dat op alle verweglussen een of enkele malen het hiaat is gevallen. In elk geval is de wachtrij afgereden als op geen van de verweglussen meer een hiaattijd loopt.

Tovergroen kan beter inspelen op pelotons van vrachtwagens:

- Het komt nu voor dat de voorste vrachtwagens van een peloton tovergroen krijgen en de achterste niet, omdat de laatste niet meer in de beschikbare tijd passen. Aanbevolen wordt om de beschikbare extragroen-tijd te splitsen in een deel voor de eerste vrachtwagen (bij-

voorbeeld 0s) en een deel voor volgende vrachtwagens die binnen korte tijd (bijvoorbeeld maximaal 4s) daarachter volgen. Die ‘extra extragroen-tijd’ kan dan langer zijn dan de huidige instelling voor extragroen.

Tijdstellingen kunnen scherper worden ingeregeld:

- Het uitgangspunt is nu dat de vrachtwagen of bus de stopstreep in groen moet passeren. Op basis van de afstand tot de stopstreep wordt, voor de ondergrens van de snelheidsklasse, de benodigde tijd bepaald. Het groen duurt dan minimaal tot het verlaten van de voorste lange lus. Een lange vrachtwagen zit dan met zijn neus op de stopstreep (kruispunt Heusdensedbaan) of is er al voorbij (kruispunt Mgr. Zwijzenstraat). Aanbevolen wordt in plaats daarvan uit te gaan van 2s geel, echter alleen als de voorgestelde pelotonbehandeling wordt toegevoegd. Technisch kan dit met de volgende maatregelen worden bereikt:
 - De voorste lange lus (dichtste bij de stopstreep) niet meer mee laten doen met de hiaatmeting, en eventueel een aangepast hiaattijd op de achterste lange lus gebruiken waarmee het voertuig tot 20 à 30m van de stopstreep komt.
 - De benodigde rijtijd, en daarmee de vereiste meetcriteriumtijd, berekenen met het klassemidden, of klassen van 5 km/u breed gebruiken. Een alternatief hiervoor is om de gemeten snelheid als numerieke waarde aan de regelapplicatie te melden.
- De meetcriteriumtijd zou niet moeten worden volgemaakt door een voertuig dat de vrachtwagen volgt. De volgende maatregelen kunnen hiertoe bijdragen. Zij zijn echter alleen effectief als het veiligheidsgroen (bij 2 voertuigen in het detectieveld) ook per rijstrook wordt afgehandeld. Dat is nu niet het geval, en op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat eist dat een detectieaanpassing.
 - Voor een vrachtwagen die rechts gedetecteerd is, het meetcriterium alleen aanhouden op de lussen in de rechter rijstrook. Dit beperkt ook het nadelige effect bij een linksafslaande vrachtauto
 - De meetcriteriumtijd splitsen in een tijd voor de VAG2-lussen en een voor de VAG1-lussen, zodat na verstrijken van het VAG2-deel een volgend voertuig op deze lussen het meetcriterium niet meer aanhoudt.
- De aansturing van de signaalgever moet worden verruimd. De huidige manier van aansturing is te gevoelig voor de snelheid (meetnauwkeurigheid, niet-constante snelheid). Te late aansturing is zinloos, maar tegen ‘te’ vroege aansturing bestaat geen enkel bezwaar. Men zou de signaalgever kunnen aansturen vanaf het toekennen van tovergroen tot het voorspelde moment van passage, en de aansturing handhaven zolang nog meer vrachtwagens in aantocht zijn die tovergroen hebben gekregen.

7.2.3 Tovergroen, kwaliteitscentrale

De volgende aanbevelingen gelden ten behoeve van toekomstige evaluaties van Tovergroen, bijvoorbeeld op andere kruispunten.

- Voor evaluatiedoeleinden is een extra signaal wenselijk, dat meldt wanneer het groen alleen nog door Tovergroen wordt vastgehouden. Dit kan analoog aan de manier waarop veiligheidsgroen op het bedieningspaneel wordt gemeld.
- Het signaleren van extragroen in de applicatie moet worden herzien. Alleen extragroen na afloop van maximumgroen zou gemeld moeten worden.
- Bij het schrijven van bijzondere ingrepen in de kwaliteitscentrale, met name de inmeldingen van vrachtverkeer, moet te allen tijde een duur van minimaal 1 seconde worden geschreven ook als de werkelijke duur korter is. Nu mislukt hierdoor regelmatig het registreren van inmeldingen.

7.2.4 Andere aspecten van de regeling

- De toepassing van wachtstand rood in de nachtelijke uren heroverwegen.
Wachtstand rood is weinig gebruikelijk op kruisingen van een hoofdweg met een zeer on-dergeschikte weg. Er is een opvallend hoog aandeel roodlichtrijders gevonden tussen 5:00 en 6:00 uur. Tevens is gevonden dat de wachtstand rood de kans op toekenning van Tovergroen sterk verkleint.
Aanbevolen wordt om 24 uur per dag wachtstand groen toe te passen; als alternatief kan men overwegen het overgangstijdstip in de ochtend op maandag tot en met vrijdag te vervroegen tot 04:30 uur.
- De verlengfunctie van de zijrichtingen 05 en 11 verbeteren. De huidige tijdstellingen lijken op een misverstand te berusten. Geadviseerd wordt de hiaattijden als volgt in te stellen:
 - kruispunt Heusdensebaan: 1,4s op de lange lus en 2,0s op de koplus;
 - kruispunt Mgr. Zwijzenstraat: 1,7s op de lange lus en geen hiaatmeting op de koplus.
 Om het verlies te beperken kan men overwegen op termijn verweglussen aan te brengen en de lange lus de functie van het eerste hiaat te geven.
Toelichting: tijdens het onderzoek was de instelling van de hiaattijden als volgt:
 - Koplus: 1^e hiaat, hiaattijd 1,4s
 - Lange lus: 2^e hiaat, hiaattijd 0,0s
 De lange lus is 10m lang en ligt op 10m (kruispunt Heusdensebaan) respectievelijk 8m lang op 3m (kruispunt Mgr. Zwijzenstraat).
Inmiddels is de hiaattijd van de lange lussen verhoogd tot 0,8s; deze maatregel lijkt geen voldoende verbetering te hebben gegeven, het aantal roodlichtrijders op de drukste uren bleef hoog in week 27.
Ontruimingslussen op het kruisingsvlak aanbrengen. Hiermee is een voertuigafhankelijke ontruimingstijd mogelijk, bijvoorbeeld ten behoeve van landbouwverkeer, en om de richtin-gen 02 en 08 tegen te houden zolang nog verkeer op het kruisingsvlak staat opgesteld als ge-volg van deelconflict.
- De blokstructuur anders inrichten. Vroege realisatie van een linksaffer gevolgd door langdu-rig doorverlengen van de parallelle rechtdoorgaande richting leidt nu veelvuldig tot een on-geloofwaardig beeld.
 - Binnen de huidige structuur zou men Ri02 en Ri08 alternatief in blok2 kunnen opnemen
 - Wil men Ri02 en Ri08 beperken tot eenmaal per cyclus dan kan men linksaf voor rechtdoor indelen. In België is dit de standaardvolgorde op 2x2-wegen. Als men daarbij de huidige blokvolgorde omdraait, blijft de combinatie 1 linksaffer + 1 fietsoversteek moge-lijk.
Zo'n volgorde zal qua ontruimingstijden ongunstig zijn; bedenk echter dat een volledige cyclus waarin alle richtingen aanvragen hier zelden voorkomt.
- De instellingen van de adaptieve regeling per kruispunt afzonderlijk optimaliseren. Waarge-nomen is dat berekende maximumgroentijden veelal onnodig lang zijn. Enkele aangrijppun-ten voor optimalisatie
 - Voor de afrijcapaciteiten praktijkwaarden gebruiken, en niet de waarden die men in het ontwerpproces van een kruispunt gebruikt.
 - Websterberekening uitvoeren met $F2 = 1.2$.

7.2.5 Verkeerstechnische vormgeving en markering

- De vormgeving aanpassen om de linksaffers van de zijrichting voor elkaar langs te laten rij-den. Op kruispunt Mgr. Zwijzenstraat kan het aanbrengen van markering volstaan. Op kruis-punt Heusdensebaan is aanpassing van de koppen van de middengeleiders op de N65 nood-zakelijk.
- Afkruisen van de aansluitingen van de parallelweg zuidzijde op de richtingen 05. Op kruis-punt Mgr. Zwijzenstraat kan dit zonder meer; op kruispunt Heusdensebaan is daarbij aanpas-sing van de detectieconfiguratie gewenst.

Bijlage 1

Luchtkwaliteitberekening

Stratenbestand en berekeningsresultaten afzonderlijke categorieën

Stratenbestand: K:\Algemeen\W&R\MM\Luchtkwaliteit standaardbestanden\Lucht Rik Zegers\TOVERGROEN Tilburg\CAR kruispunt vijf en zes.txt

Versie 5.1.0

Gebruiker	R. Zegers
Bedrijf	Grontmij
Gemeente/Plaats	Arnhem

Plaats	Straatnaam	X [m]	Y [m]	Intensiteit [mv/etm]	Fractie licht	Fractie middel zwaar	Fractie zwaar	Fractie autobus	Aantal parkeer-bewegingen	Snelheidstype	Wegtype	Bomenfactor	Afstand tot weg [m]
Haaren Kruispunt 5	Tovergroen uit	142453	402782	11035	0,908	0,014	0,073	0,005	0	Stagnerend verkeer	2	1,25	5
Haaren Kruispunt 5	Tovergroen uit	142453	402782	3199	0,913	0,013	0,07	0,004	0	Normaal stadsverkeer	2	1,25	5
Haaren kruispunt 5	Tovergroen uit	142453	402782	24563	0,909	0,014	0,073	0,004	0	Buitenweg	2	1,25	5
Haaren Kruispunt 5	Tovergroen aan	142453	402782	10852	0,926	0,011	0,059	0,004	0	Stagnerend verkeer	2	1,25	5
Haaren kruispunt 5	Tovergroen aan	142453	402782	3034	0,913	0,013	0,07	0,004	0	Normaal stadsverkeer	2	1,25	5
Haaren kruispunt 5	Tovergroen aan	142453	402782	24911	0,901	0,015	0,079	0,005	0	Buitenweg	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen uit	141078	401491	19488	0,913	0,013	0,07	0,004	0	Stagnerend verkeer	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen uit	141078	401491	4745	0,92	0,012	0,064	0,004	0	Normaal stadsverkeer	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen uit	141078	401491	16965	0,901	0,015	0,079	0,005	0	Buitenweg	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen aan	141078	401491	19162	0,922	0,012	0,062	0,004	0	Stagnerend verkeer	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen aan	141078	401491	4634	0,921	0,012	0,063	0,004	0	Normaal stadsverkeer	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen aan	141078	401491	17402	0,891	0,016	0,088	0,005	0	Buitenweg	2	1,25	5

Kruispunt		Snelheidstype		X		Y		Jaargemiddelde NO ₂ Totaal [µg/m ³]		Jaargemiddelde NO ₂ Achtergrond [µg/m ³]		Jaargemiddelde NO ₂ Bronbijdrage [µg/m ³]		# Overschrijdingen grenswaarde NO ₂		# Overschrijdingen plandirempel NO ₂		Jaargemiddelde PM ₁₀ Totaal [µg/m ³]		Jaargemiddelde PM ₁₀ Achtergrond [µg/m ³]		Jaargemiddelde PM ₁₀ Bronbijdrage [µg/m ³]		# Overschrijdingen grenswaarde PM ₁₀		# Overschrijdingen plandirempel PM ₁₀		Jaargemiddelde Benzeen Totaal [µg/m ³]		Jaargemiddelde Benzeen Achtergrond [µg/m ³]		Jaargemiddelde SO ₂ Totaal [µg/m ³]		Jaargemiddelde SO ₂ Achtergrond [µg/m ³]		# Overschrijdingen 24 uursgemiddelde SO ₂ [µg/m ³]		98-Perctiel CO 8h [µg/m ³]		98-Perctiel CO achtergrond [µg/m ³]		Jaargemiddelde BaP Totaal [ng/m ³]		Jaargemiddelde BaP Achtergrond [ng/m ³]	
5	UIT	stagnerend	142453	402782	43.1	24.9	18.2	0	0	35.2	28.8	6.4	56	56	2.2	0.8	2.7	2.1	0	1340	668	0.5	0.3																						
5	UIT	stad	142453	402782	30.8	24.9	5.9	0	0	30.3	28.8	1.5	32	32	1.1	0.8	2.3	2.1	0	830	668	0.4	0.3																						
5	UIT	buiten	142453	402782	46.2	24.9	21.3	0	0	36.4	28.8	7.6	63	63	1.9	0.8	3.0	2.1	0	1182	668	0.5	0.3																						
5	AAN	stagnerend	142453	402782	41.1	24.9	16.2	0	0	34.6	28.8	5.8	53	53	2.2	0.8	2.7	2.1	0	1329	668	0.5	0.3																						
5	AAN	stad	142453	402782	30.6	24.9	5.7	0	0	30.2	28.8	1.4	32	32	1.1	0.8	2.3	2.1	0	822	668	0.3	0.3																						
5	AAN	buiten	142453	402782	47.3	24.9	22.4	0	0	36.8	28.8	8.0	65	65	1.9	0.8	3.0	2.1	0	1192	668	0.5	0.3																						
6	UIT	stagnerend	141078	401491	50.3	24.8	25.5	0	0	39.7	28.7	11.0	81	81	3.3	0.8	3.2	2.1	0	1846	658	0.7	0.3																						
6	UIT	stad	141078	401491	32.6	24.8	7.8	0	0	30.9	28.7	2.2	34	34	1.3	0.8	2.3	2.1	0	900	658	0.4	0.3																						
6	UIT	buiten	141078	401491	42.4	24.8	17.6	0	0	34.2	28.7	5.5	51	51	1.5	0.8	2.7	2.1	0	1015	658	0.4	0.3																						
6	AAN	stagnerend	141078	401491	48.8	24.8	24.0	0	0	39.1	28.7	10.4	77	77	3.2	0.8	3.1	2.1	0	1826	658	0.7	0.3																						
6	AAN	stad	141078	401491	32.4	24.8	7.6	0	0	30.8	28.7	2.1	34	34	1.3	0.8	2.3	2.1	0	894	658	0.4	0.3																						
6	AAN	buiten	141078	401491	43.5	24.8	18.7	0	0	34.6	28.7	5.9	53	53	1.5	0.8	2.8	2.1	0	1026	658	0.4	0.3																						

Stratenbestand en berekeningsresultaten totaal

Stratenbestand: K:\Algemeen\WAR\MM\Lucht\kwaliteit standaardbestanden\Lucht Rik Zegers\TOVERGROEN Tilburg\CAR kruispunt vijf en zes bijdrage.txt

Versie 5.1.0

Gebruiker	R. Zegers
Bedrijf	Grontmij
Gemeente/Plaats	Arnhem

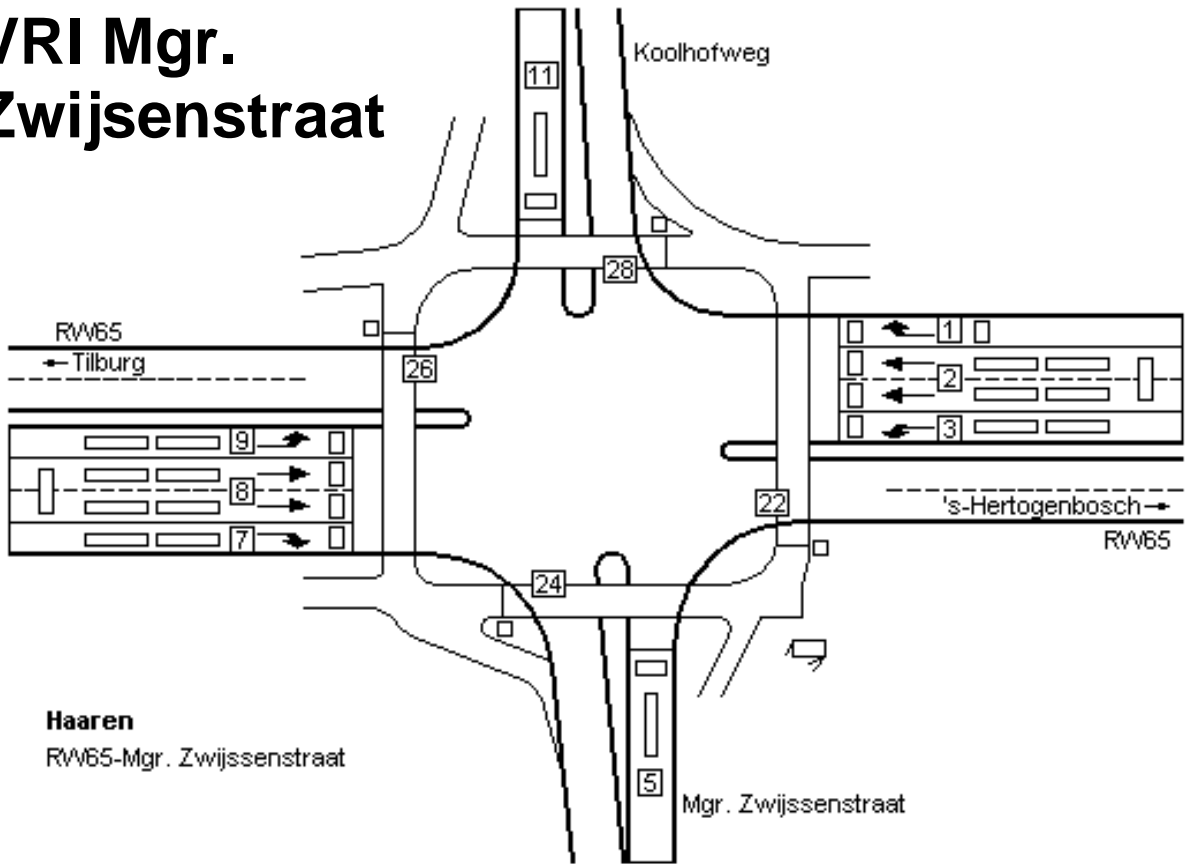
Plaats	Straatnaam	X [m]	Y [m]	Intensiteit [mvt/etm]	Fractie licht	Fractie middel zwaar	Fractie zwaar	Fractie autobus	Aantal parkeer-bewegingen	Snelheidstype	Wegtype	Bomenfactor	Afstand tot wegas [m]
Haaren kruispunt 5	Tovergroen uit doorrijden	142453	402782	24563	0,909	0,014	0,073	0,004	0	Buitenweg	2	1,25	5
Haaren kruispunt 5	Tovergroen aan doorrijden	142453	402782	24911	0,901	0,015	0,079	0,005	0	Buitenweg	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen uit doorrijden	141078	401491	16965	0,901	0,015	0,079	0,005	0	Buitenweg	2	1,25	5
Oisterwijk kruispunt 6	Tovergroen aan doorrijden	141078	401491	17402	0,891	0,016	0,088	0,005	0	Buitenweg	2	1,25	5

R. Zegers		Versie 5.1.0																					
Grontmij				K:\Algemeen\W&R\MM\Luchtqualiteit standaardbestanden\Lucht Rik Zegers\TOVERGROEN Tilburg\CAR kruispunt vijf en zes bijdrage.txt																			
Arnhem				2006																			
Stratenbestand				Meerjarige meteorologie																			
Jaartal																							
Resultaten inclusief bronbijdragen				1																			
Meteorologische conditie				1																			
Schalingsfactor emissiefactoren				1																			
Personenauto's				1																			
Middelzwaar verkeer				1																			
Zwaar verkeer				1																			
Autobussen				1																			
Kruispunt 5 = Mgr. Zwijzenstraat (Haaren) 6 = Heusdensedaan (Oisterwijk)	UIT AAN	optelling	X	Y	Jaargemiddelde NO ₂	Jaargemiddelde NO ₂	Jaargemiddelde NO ₂	# Overschrijdingen	# Overschrijdingen	Jaargemiddelde PM ₁₀	Jaargemiddelde PM ₁₀	Jaargemiddelde PM ₁₀	# Overschrijdingen	# Overschrijdingen	Jaargemiddelde Benzeen	Jaargemiddelde Benzeen	Jaargemiddelde SO ₂	Jaargemiddelde SO ₂	# Overschrijdingen	98-Perctiel CO	98-Perctiel CO	Jaargemiddelde BaP	Jaargemiddelde BaP
					Totaal [µg/m ³]	Achtergrond [µg/m ³]	Bronbijdrage [µg/m ³]	grenswaarde NO ₂	plandrempel NO ₂	Totaal [µg/m ³]	Achtergrond [µg/m ³]	Bronbijdrage [µg/m ³]	grenswaarde PM ₁₀	plandrempel PM ₁₀	Totaal [µg/m ³]	Achtergrond [µg/m ³]	grenswaarde PM ₁₀	plandrempel PM ₁₀	Totaal [µg/m ³]	Achtergrond [µg/m ³]	grenswaarde SO ₂	plandrempel SO ₂	24 uursgemiddelde SO ₂ [µg/m ³]
5	UIT	optelling	142453	402782	56.5	24.9	31.6	1	0	44.3	28.8	15.5	106	106	1.9	0.8	3.0	2.1	0	1182	668	0.5	0.3
5	AAN	optelling	142453	402782	55.9	24.9	31.0	1	0	44.0	28.8	15.2	104	104	1.9	0.8	3.0	2.1	0	1192	668	0.5	0.3
6	UIT	optelling	141078	401491	60.0	24.8	35.2	2	0	47.4	28.7	18.7	122	122	1.5	0.8	2.7	2.1	0	1015	658	0.4	0.3
6	AAN	optelling	141078	401491	59.4	24.8	34.6	2	0	47.1	28.7	18.4	120	120	1.5	0.8	2.8	2.1	0	1026	658	0.4	0.3

Kruispunt 5 = Mgr. Zwijzenstraat (Haaren) 6 = Heusdensedaan (Oisterwijk)	UIT AAN	optelling	X	Y	% afname NO ₂	% afname PM ₁₀
5			142453	402782	1.06	0.68
6			141078	401491	1.00	0.63

Bijlage 2
Kruispuntplaatjes

VRI Mgr. Zwijssenstraat



VRI Heusdensebaan

