

# Turbulentie bij rijstrookbeëindigingen

Interactie tussen voertuigen bij rijstrookbeëindigingen links  
Rijkswaterstaat

20 juni 2022



## Contactpersoon

**HESSEL DE JONG**  
Senior Projectleider

M +316 2117 1998  
E [hessel.dejong@arcadis.com](mailto:hessel.dejong@arcadis.com)

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>Volgtijden nabij de rijstrookbeëindiging</b>	<b>13</b>
1.1	Aanleiding	4	4.1	Gemiddelde volgtijden	13
1.2	Doel onderzoek rijstrookbeëindiging	4	4.2	Zeer kleine volgtijden	14
1.3	Leeswijzer	4			
<b>2</b>	<b>Aanpak van het onderzoek</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>15</b>
2.1	Te meten indicatoren	5	5.1	Conclusies	15
2.2	Onderzoekslocaties	5	5.2	Aanbevelingen	16
2.3	Video-analyses	5			
2.3.1	Dataverzameling	5			
2.3.2	Gegevensverwerking	7			
2.3.3	Analyse resultaten	7			
2.4	Aandeel verkeer per rijstrook	7			
<b>3</b>	<b>Turbulentie bij rijstrookbeëindigingen</b>	<b>8</b>		<b>Bijlagen</b>	<b>17</b>
3.1	Vergelijking met richtlijnen	8			
3.2	Rijstrookwisselingen bij rijstrookbeëindigingen	9			
3.3	Rijstrookwisselingen over grotere afstand	11			

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Rondom discontinuïteiten op autosnelwegen ontstaat over enige afstand turbulentie van voertuigen die invoegen, uitvoegen of van rijstrook wisselen. Deze turbulentie heeft gevolgen voor zowel de doorstroming als voor verkeersveiligheid. In de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA2019) zijn benodigde waarden voor turbulentie bij de discontinuïteiten opgenomen. Rijkswaterstaat wil deze waarden nader onderbouwen en naar de laatste stand van kennis brengen. Eerder is al onderzoek gedaan naar de turbulentie rond invoegingen en uitvoegingen<sup>1</sup>. Tevens loopt er onderzoek naar de situatie bij (enkelstrooks)samenvoegingen.

In aanvulling daarop wil Rijkswaterstaat graag nader kennis opdoen over de turbulentiegebieden rond een beëindiging van de meest linker rijstrook op autosnelwegen. De waarden in de ROA2019 voor de meeste discontinuïteiten zijn gebaseerd op basis van empirisch onderzoek. Alleen voor de rijstrookbeëindiging zijn de waarden nog gebaseerd op expert judgement, omdat daar geen onderzoek aan ten grondslag ligt.

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft Arcadis onderzoek gedaan naar de eigenschappen van de turbulentie rond een rijstrookbeëindiging. Hiermee kan de ROA geactualiseerd worden met onderbouwde waarden voor de turbulentielengtes<sup>2</sup>.

## 1.2 Doel onderzoek rijstrookbeëindiging

Het doel van het onderzoek is als volgt:

- Inzicht krijgen in de mate van verhoogde turbulentie nabij rijstrookbeëindigingen en de verkeersveiligheidsrisico's op deze locaties.

Met deze informatie is er meer kennis over de verkeersafwikkeling rond rijstrookbeëindigingen en is het mogelijk om de positie van een rijstrookbeëindiging in relatie tot andere discontinuïteiten beter te beoordelen. De resultaten hiervan kunnen aanleiding zijn om de waarden in de ROA2019 te actualiseren.

## 1.3 Leeswijzer

Het voorliggende rapport bevat de resultaten van het onderzoek naar turbulentie bij rijstrookbeëindigingen. In hoofdstuk 2 is de aanpak van het onderzoek beschreven. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de inhoudelijke resultaten en bevindingen. Tot slot zijn in hoofdstuk 4 conclusies en aanbevelingen opgenomen.



Figuur 1 Rijstrook beëindiging op de A6 bij Almere (bron: Cyclomedia)

<sup>1</sup> Van Beinum, A., Farah, H., Wegman, F., & Hoogendoorn, S. (2018). Driving behaviour at motorway ramps and weaving segments based on empirical trajectory data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 92, 426-441. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.018>

<sup>2</sup> Turbulentieafstand: De afstand waarbinnen sprake is van een verhoogde mate van turbulentie, als gevolg van een discontinuïteit. Turbulentielengte: de maat die moet worden aangehouden om voldoende afstand tussen opeenvolgende discontinuïteiten te verkrijgen

## 2 Aanpak van het onderzoek

Dit hoofdstuk beschrijft de methode van het onderzoek. Hierbij wordt eerst ingegaan op de te meten indicatoren. Vervolgens is toegelicht hoe de benodigde data zijn verzameld en geanalyseerd.

### 2.1 Te meten indicatoren

Kern van het onderzoek is om het verkeersgedrag van individuele voertuigen rond rijstrookbeëindiging te meten en op basis hiervan conclusies te trekken over de eigenschappen van de turbulentie. De aanpak is grotendeels gebaseerd op het eerdere onderzoek van Van Beinum e.a. (2018) over de turbulentie rond aansluitingen.

In het onderzoek wordt de mate van turbulentie gemeten en geanalyseerd. Bij de mate van turbulentie gaat het om 'de frequentie en intensiteit van verandering van snelheid, volgtijd of rijstrook door individuele voertuigen op een specifiek deel van het wegvak binnen een bepaalde periode'. Analooq aan het onderzoek van Van Beinum e.a. (2018) worden de volgende indicatoren gemeten:

1. Rijstrookwisselingen van de te beëindigen rijstrook naar de rechts liggende rijstrook ("merging" in Van Beinum et.al. 2018)
2. Voertuigen die op de rijstrook naast de rijstrookbeëindiging rijden en er nog eentje naar rechts op schuiven om ruimte te maken ("anticipation" in Van Beinum et.al. 2018)
3. Voertuigen die op de rijstrook naast de rijstrookbeëindiging rijden en snelheid inhouden om ruimte te maken ("cooperation" in Van Beinum et.al. 2018)
4. Voertuigen die na de rijstrookbeëindiging de afstand tot hun voorganger weer vergroten ("relaxation" in Van Beinum et.al. 2018)
5. TTC (Time to Collision)
6. PET (Post Encroachment Time)

Afhankelijk van de kwaliteit van de dataverzameling is het niet mogelijk dat alle indicatoren met een betrouwbaar kwaliteit gemeten kunnen worden. Met name bij de derde en de vierde indicator kunnen hierin beperkingen optreden, omdat het om relatief kleine gedragsaanpassingen zijn, die moeilijk zijn om nauwkeurig te meten. Ook de PET (zesde indicator) is een indicator die bij rijstrookwisselingen weinig

informatie oplevert, aangezien deze indicator vooral gericht is op meer kruisende voertuigbewegingen die bij verkeer in dezelfde richting weinig voorkomt. De focus in het onderzoek ligt daarom op de andere indicatoren.

### 2.2 Onderzoekslocaties

Voor de locaties is gezocht naar verkeerssituaties met rijstrookbeëindigingen, waarbij er ruime afstand is tussen de rijstrookbeëindiging en andere discontinuïteiten in de nabijheid. Zo wordt de turbulentie als gevolg van de rijstrookbeëindiging zo zuiver mogelijk gemeten. Tabel 1 op de volgende bladzijde toont de locaties die zijn onderzocht.




### 2.3 Video-analyses

#### 2.3.1 Dataverzameling

In de dataverzameling is op verschillende locaties met een rijstrookbeëindiging videobeelden verzameld om het gedrag vast te leggen. Dit geeft gedetailleerd inzicht in de turbulentie in de nabijheid van de rijstrookbeëindiging. Er is gekozen voor het verzamelen van videobeelden door middel van de inzet van drones. Met drones kan het verkeer op de rijbaan over grotere afstand worden waargenomen en is er geen probleem met afdekking (zoals bij camera's in de wegkant). Hierbij zijn op elke locatie meerdere drones simultaan ingezet, waarbij achteraf de afzonderlijke beelden zijn 'samengevoegd'.

Op elke locatie zijn videobeelden verzameld over een afstand van ongeveer 1.500 meter. Het gaat dan om ongeveer 1.000 meter stroomopwaarts van de rijstrookbeëindiging (dit komt overeen met het eerste aankondigingsbord voor de afstreping) en 500 meter stroomafwaarts. Voor de tijdstippen van de dataverzameling is gestreefd naar een verkeerssituatie met een relatief hoge I/C-verhouding, zonder dat er filevorming ontstaat. Afhankelijk van de locatie is dit in de spitsperiode of er net buiten. Er is gemeten gedurende een periode van twee uur, waarmee voldoende aantal voertuigen worden gemeten om uitspraken te doen over de turbulentie.

Tabel 1 Informatie over de onderzoekslocaties

Wegnummer	Locatie (hm)	Aantal rijstroken	Toelichting	Datum en tijdstip	
A2	53,5 Links (Utrecht)	6 → 5	Stroomafwaarts van samenvoeging (1km bord staat bij samenvoeging)	Dinsdag 5 oktober 2021 7:30 – 9:30 uur  Geen filevorming tijdens onderzoeksperiode	
A6	63,0 Rechts (Almere)	3 → 2	Stroomafwaarts van invoeging	Donderdag 14 oktober 2021 16:00 – 18:00 uur  Filevorming tijdens grootste deel onderzoeksperiode	
A58	61,0 Links (Breda)	3 → 2	Stroomafwaarts van samenvoeging (1km bord staat bij samenvoeging)	Dinsdag 5 oktober 2021 16:00 – 18:02 uur  Filevorming tijdens ongeveer driekwart van onderzoeksperiode	

### 2.3.2 Gegevensverwerking

Bij de gegevensverwerking zijn de genoemde indicatoren uit de videobeelden verkregen (zie paragraaf 2.1). Dit is geautomatiseerd gedaan door middel van videoverwerkingssoftware (uitgevoerd door Roelofs/Data from Sky). De basis wordt gevormd door van elk voertuig een bewegingspatroon vast te stellen (voertuigtrajectorie). De genoemde indicatoren zijn geautomatiseerd afgeleid van deze informatie door meerdere trajectoriën aan elkaar te relateren. Hierbij zijn de volgende gegevens verkregen (zie de resultaatrapporten):

- analyse van trajectoriën per voertuig;
- bepalen van TTC-waardes en PET-waardes;
  - Hiervoor is inzichtelijk gemaakt hoe vaak en waar de TTC beneden een signaalwaarde komt.
- rijstrookwisselingen van de te beëindigen rijstrook naar de rechts liggende rijstrook ("merging" in Van Beinum et.al. 2018);
  - dit is visueel inzichtelijk gemaakt door de trajectoriën op beeld weergegeven;
  - dit is als data weergegeven door secties van 100 meter te hanteren en per sectie aan te geven hoeveel wisselbewegingen er plaats hebben gevonden;
- voertuigen die na de rijstrookbeëindiging de afstand tot hun voorganger weer vergroten ("relaxation" in Van Beinum et.al. 2018);
  - Verdeling van de volgtijd van alle voertuigen is op drie locaties, namelijk 500 meter voor de rijstrookbeëindiging, ter plaatse van de rijstrookbeëindiging en 400 meter na de rijstrookbeëindiging.

### 2.3.3 Analyse resultaten

Roelofs leverde de genoemde gegevens aan, waarna Arcadis deze informatie heeft geanalyseerd. De gegevens zijn samengevat in drie rapportages<sup>3 4 5</sup>, die als basis zijn aangehouden voor de analyses. Deze zijn opgenomen in bijlage 1 opgenomen. Tevens zijn ruwe data aangeleverd voor eventuele nadere verdieping.

In de analyse ligt de focus op het inzichtelijk maken van de turbulentie rond een rijstrookbeëindiging. Denk daarbij aan het beantwoorden van de volgende vragen:

- Over welke afstand ontstaat turbulentie vóór en na een rijstrookbeëindiging?
- Waar ontstaan hotspots met korte volgafstanden?
- Hoe gedraagt het verkeer zich op de afzonderlijke rijstroken?
- Komen de bevindingen op de drie locaties met elkaar overeen of zijn er verschillen?

## 2.4 Aandeel verkeer per rijstrook

In aanvulling op de gedetailleerde analyses met video-beelden is op grotere schaal gekeken naar het aandeel verkeer per rijstrook. Dit geeft inzicht in de mate van turbulentie over grotere afstand na een rijstrookbeëindiging. Dit is concreet gemaakt door het aandeel verkeer per rijstrook inzichtelijk te maken. De kerngedachte hierbij is dat een weg met weinig turbulentie leidt tot een stabiele rijstrookverdeling over grotere afstand. In dit onderzoek geeft dit een beeld van de afstand na een rijstrookbeëindiging met turbulentie (in aanvulling op de videoanalyses tot 400m na de rijstrookbeëindiging).

Deze analyse is uitgevoerd met gegevens uit meetlussen (Monica), waarmee het aandeel verkeer per rijstrook inzichtelijk is gemaakt. Dit is gedaan voor de onderzoekslocaties A2 (hmp 53,5) en A58 (hmp 61,0). De locatie A6 is buiten beschouwing gelaten vanwege het ontbreken van meetpunten stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging. Verder zijn dezelfde onderzoeksperiodes gehanteerd als bij het verkrijgen van de videobeelden (zie tabel 1).

<sup>3</sup> Roelofs, Verkeersonderzoek A2, PR01-C01-41087213-nrk-A2

<sup>4</sup> Roelofs, Verkeersonderzoek A6, PR01-C01-41087213-nrk-A6

<sup>5</sup> Roelofs, Verkeersonderzoek A58, PR01-D01-41087213-nrk-A58

### 3 Turbulentie bij rijstrookbeëindigingen

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven over turbulentie rond rijstrookbeëindigingen. Hierbij is eerst weergegeven in hoeverre het ontwerp van de onderzoekslocaties voldoen aan de turbulentielengtes en bebording volgens de richtlijnen. Vervolgens is ingegaan op de informatie over rijstrookwisselingen in de directe omgeving van de beëindiging. Tot slot komt in dit hoofdstuk de verdeling over de rijstroken over grotere afstand aan bod.

#### 3.1 Vergelijking met richtlijnen

Bij het vergelijken van de onderzoekslocaties met de vigerende ontwerprichtlijnen is gekeken naar twee aspecten die de rijstrookwisselingen beïnvloeden. Dit zijn de turbulentielengtes (conform ROA-2019) en de plaatsing van de bebording voor de afstreping (conform CROW, Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen, 2021).

Figuur 2 toont de benodigde turbulentielengtes en de lengtes zoals op de onderzoekslocaties aanwezig. Te zien is dat op alle locaties de turbulentielengtes voldoen aan de vigerende richtlijnen uit de ROA-2019.

In figuur 3 is de plaatsing van de bebording voor het ritsen weergegeven. In grote lijnen komt de plaatsing van de bebording overeen met de richtlijnen van de CROW. Hierbij zijn wel de volgende punten op te merken:

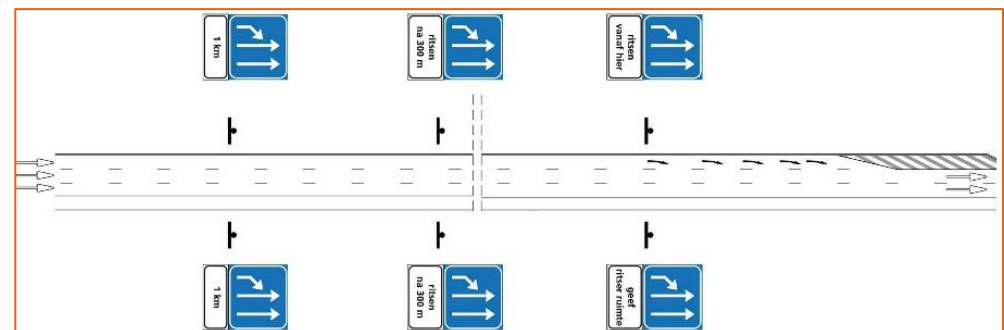
- Op de A2 klopt de afstand van het bord 'Hier ritsen' redelijk. Echter beginnen de verdrijvingspijlen al ongeveer 100 meter eerder.
- Op de A2 staat het bord 'Ritsen na 300m' ongeveer 200 meter te ver stroomopwaarts. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de keuze om de ritsborden aan de portalen te bevestigen.
- Op de A6 komt de bebording goed overeen met de richtlijnen.
- Op de A58 staat het bord '1km' ongeveer 100 meter stroomafwaarts t.o.v. de richtlijn. Dit heeft te maken met de afstand tot de samenvoeging.

tabel 6.5 - turbulentielengtes hoofdbanen\*

Van / Naar (meetpunt)	invoeging (punt puntstuk)	samenvoeging (punt puntstuk)	uitvoeging (punt puntstuk of punt taper)	splitsing (begin blokmarkering)	weefvak (punt eerste puntstuk of punt eerste taper)	strook- beëindiging (begin verrijfstrepen)
<b>invoeging</b> (punt puntstuk)	600 m	600 m	1.100 m	600 m	1.100 m	1.100 m
<b>samenvoeging</b> (punt puntstuk of punt taper)	600 m	600 m	1.100 m	600 m	1.100 m	1.100 m
<b>uitvoeging</b> (punt puntstuk)	200 m	200 m	700 m	200 m	700 m	700 m
<b>splitsing</b> (punt puntstuk)	200 m	200 m	700 m	200 m	700 m	700 m
<b>weefvak</b> (punt tweede puntstuk of punt tweede taper)	200 m	200 m	700 m	200 m	700 m	700 m
<b>strookbeëindiging</b> (einde verrijfstrepen)	500 m	500 m	1.000 m	500 m	1.000 m	1.000 m

\* Bij de discontinuïteit 'extra rijstrook' is geen sprake van relevante turbulentie.

Figuur 2 Benodigde turbulentielengtes tussen discontinuïteiten (ROA-2019)



Figuur 3 Ritsborden conform CROW richtlijn (CROW, 2021)

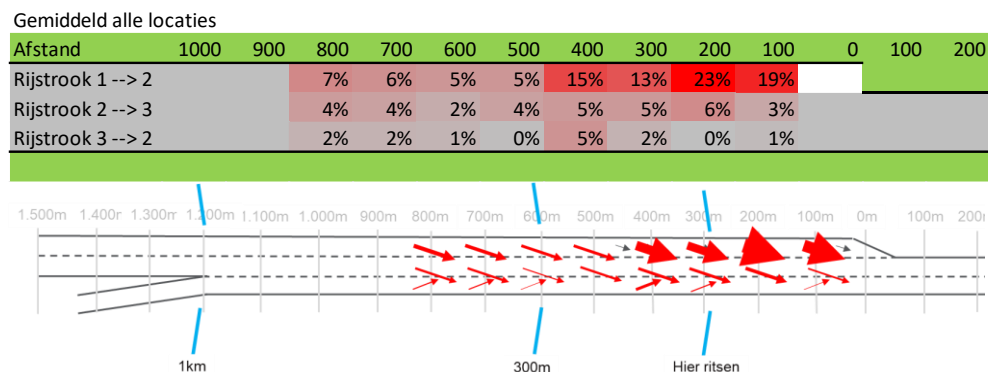


Tabel 2 Turbulentielengtes bij rijstrookbeëindiging onderzoekslocaties

Locatie	Type discontinuïteit	Turbulentielengte ROA-2019 (m)	Turbulentielengte aanwezig (m)
<b>A2 (hm 53,5)</b>	Samenvoeging stroomopwaarts	1.100	1.600
	Uitvoegstrook stroomafwaarts	1.000	3.900
<b>A6 (hm 62,9)</b>	Invoegstrook stroomopwaarts	1.100	1.200
	Uitvoegstrook stroomafwaarts	1.000	4.600
<b>A58 (hm 61,0)</b>	Samenvoeging stroomopwaarts	1.100	1.200
	Uitvoegstrook stroomafwaarts	1.000	1.700

Tabel 3 Plaatsing bebording voor ritsen op onderzoekslocaties

Bebording	CROW (2021)	A2 (hm 53,5)	A6 (hm 62,9)	A58 (hm 61,0)
<b>Afstreping</b>	0	0	0	0
<b>Bord Hier ritsen</b>	335	300	300	335
<b>Bord 300m</b>	635	850	650	620
<b>Bord 1 km</b>	1.335	1.400	1.300	1.200



Figuur 4 Percentage verkeer per rijstrook dat rijstrookwisselingen uitvoert nabij een rijstrookbeëindiging (gemiddelde van de onderzoekslocaties)

### 3.2 Rijstrookwisselingen bij rijstrookbeëindigingen

In de analyse is onderzocht waar de rijstrookwisselingen plaatsvinden ten opzichte van de verdrijfstrepen. Dit geeft inzicht in de spreiding van de rijstrookwisselingen en het ontstaan van eventuele concentraties. Hiermee is het mogelijk om te bepalen hoe groot de gebieden met turbulentie vóór een rijstrookbeëindiging zijn.

De figuren 4 t/m 7 tonen de verdeling van de rijstrookwisselingen. De gegevens zijn afkomstig uit de gegevensrapportages van Roelofs. Het betreft het percentage van het verkeer op de betreffende rijstrook dat een rijstrookwisseling uitvoert van/naar rijstrook 2. Figuur 4 toont het gemiddelde van de drie onderzoekslocaties en figuren 5 t/m 7 de resultaten van de afzonderlijke locaties. Bij de resultaten gelden de volgende verkeersomstandigheden:

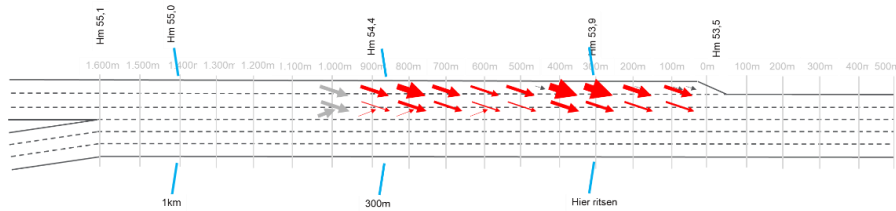
- A2. Geen filevorming.
- A6. Filevorming tijdens grootste deel meetperiode.
- A58. Filevorming tijdens ongeveer driekwart van meetperiode.

Bij de getoonde resultaten zijn de volgende constatering te benoemen:

- De meeste rijstrookwisselingen gaan van rijstrook 1 (links) naar rijstrook 2 (midden).
- In een situatie zonder filevorming ontstaan op twee locaties een verhoging van de concentratie aan rijstrookwisselingen. Dit is op ongeveer 700 meter (nabij bord Ritsen na 300m) en rond 300m (nabij bord Hier ritsen). Dit is terug te zien bij A2 (geen file) en A58 (deels filevorming). Bij de A2 is deze afstand enigszins groter omdat hier het bord Ritsen na 300m te ver stroomopwaarts is geplaatst.
- In een situatie met filevorming gebeuren de meeste rijstrookwisselingen (ongeveer driekwart) in de laatste driehonderd meter (tussen bord 'Hier ritsen' en de verdrijfstrepen).
- Ter hoogte van de concentraties in rijstrookwisselingen van rijstrook 1 naar 2 is ook een verdichting van rijstrookwisselingen van rijstrook 2 (midden) naar rijstrook 3 (rechts) te zien.
- Het aantal rijstrookwisselingen van rijstrook 3 naar rijstrook 2 is beperkt. Enige uitzondering is de A58. Hier is een concentratie aanwezig op ongeveer 900m/1.000m vóór de rijstrookbeëindiging vanwege de samenvoeging. Daarnaast is op ongeveer 400m voor afstreping een verdichting is te zien van rijstrook 3 (rechts) naar rijstrook 2 (midden). Oorzaak hiervan is onbekend (mogelijk een incident, maar dit is niet terug te zien in de data uit videobeelden of meetlussen).

Locatie A2 Links hm 53,5

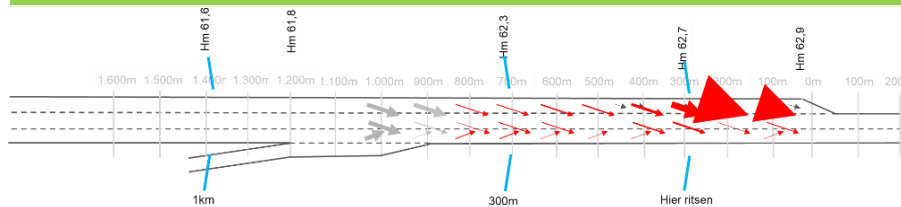
Afstand	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	100	200
Rijstrook 1 --> 2	9%	14%	10%	6%	4%	17%	17%	11%	9%				
Rijstrook 2 --> 3/6	2%	8%	6%	3%	3%	9%	7%	5%	5%				
Rijstrook 3/6 --> 2	1%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%				



Figuur 5 Percentage verkeer per rijstrook dat rijstrookwisselingen uitvoert A2 Links hm53,5

Locatie A6 Rechts hm 62,9

Afstand	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	100	200
Rijstrook 1 --> 2	2%	2%	3%	3%	6%	13%	36%	28%					
Rijstrook 2 --> 3	1%	2%	2%	0%	3%	4%	1%	2%					
Rijstrook 3 --> 2	2%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	1%					

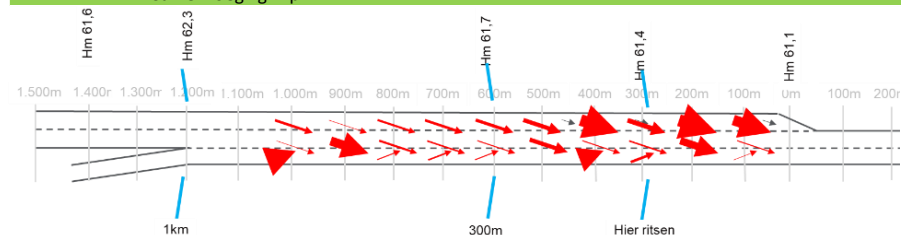


Figuur 6 Percentage verkeer per rijstrook dat rijstrookwisselingen uitvoert A6 Rechts hm62,9

Locatie A58 Links hm 61,0

Afstand	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0	100	200
Rijstrook 1 --> 2	5%	1%	4%	5%	6%	8%	21%	9%	22%	19%			
Rijstrook 2 --> 3	1%	16%	4%	3%	2%	8%	2%	3%	13%	2%			
Rijstrook 3 --> 2	18%	0%	2%	3%	2%	0%	15%	5%	0%	1%			

Samenvoeging knp.



Figuur 7 Percentage verkeer per rijstrook dat rijstrookwisselingen uitvoert A58 Links hm61,0

Wanneer de verzamelde gegevens worden geïnterpreteerd in het licht van de turbulentieafstanden en benodigde turbulentielengtes zijn de volgende conclusies te trekken:

- De plekken waar de meeste rijstrookwisselingen worden uitgevoerd is afhankelijk van de verkeersomstandigheden. In een situatie zonder filevorming ontstaan twee concentraties, die een relatie hebben met de borden voor het ritsen: nabij het bord 'Ritsen na 300m' en het bord 'Hier ritsen'. Bij het 1km bord is geen verhoging van rijstrookwisselingen gevonden in relatie tot de rijstrookbeëindiging. In een situatie met filevorming rijdt het verkeer door tot de laatste driehonderdmeter, met rijstrookwisselingen na het bord 'Hier ritsen'.
- De rijstrookwisselingen rijstrook 1 → rijstrook 2 en rijstrook 2 → rijstrook 3 zijn aan elkaar gekoppeld. Daar waar een verhoging van wisselingen van 1 naar 2 is, gaan ook meer voertuigen van de middelste naar de rechter rijstrook. Er zijn in een reguliere situatie nauwelijks rijstrookwisselingen van rijstrook 3 → 2.
- Voor het bevorderen van een homogene verkeersstroom is het wenselijk om andere discontinuïteiten op voldoende afstand te situeren van de rijstrookbeëindiging. In een filevrije situatie ontstaat rond het bord 'Ritsen 300m' een concentratie, op ongeveer 700 meter stroomopwaarts van een rijstrookbeëindiging. Hierbij geldt dat deze turbulentieafstand vooral is gekoppeld aan de plek van de bebording. Wanneer de borden 'Ritsen 300m' of 'Hier ritsen' niet op de voorgeschreven afstanden worden geplaatst, gelden ook andere benodigde turbulentielengtes.
- De in de ROA-2019 aangegeven turbulentielengtes van 1.100 meter bij een convergentiepunt lijkt goed te functioneren. Op de onderzoekslocaties met een samenvoeging zijn de locaties met concentratie van rijstrookwisselingen van de samenvoeging (A2 en A58) redelijk gescheiden van die voor de rijstrook beëindiging.
- Bij de combinatie van een invoeging en rijstrookbeëindiging ontstaat een genuanceerd beeld. In theorie is sprake van een grotere turbulentielengte, dan de 1.100 meter ROA-2019 voorschrijft. In het onderzoek van Van Beinum e.a. (2018) blijkt dat stroomafwaarts van een invoeging een turbulentieafstand van 475-575 meter is (zie ook ROA-2019 tabel 6.4). Bij elkaar leidt dit (theoretisch) tot een benodigde turbulentielengte van 1.175 tot 1.275 meter, wat enigszins langer is dan de ROA-2019 vraagt. Hierbij zijn echter drie nuanceringen te maken, waaruit de concluderen is dat een turbulentielengte tussen een invoeging en rijstrookbeëindiging van 1.100 meter in de praktijk wel voldoet. Deze nuanceringen zijn:
  - Tijdens de onderzoeksperiode op de A6 is een gescheiden beeld te zien van turbulentie door de invoeging en vóór het rijstrookeinde. Bij grote drukte en filevorming verschuift de concentratie van turbulentie richting de afstreping

(vooral na het bord 'Hier ritsen'). Hierdoor is er minder overlap in turbulentieconcentraties, bij drukke verkeerssituaties.

- De concentratie aan van rijstrookwisselingen gebeuren bij een invoeging (vooral rechts op de rijbaan) en rijstrookbeëindiging (vooral links op de rijbaan) op andere rijstroken plaats. Ook hierdoor is de overlap in turbulentieafstanden in de praktijk minder.
- Tot slot constateert de ROA-2019 dat aan de buitenranden van de turbulentieafstanden de verhoging van de mate van turbulentie minimaal is, waardoor enige overlap niet direct tot problemen leidt voor doorstroming of verkeersveiligheid (ROA-2019).
- Ook de turbulentielengtes tussen een ander divergentiepunt en een rijstrookbeëindiging (minimaal 700 meter conform ROA-2019) lijkt in principe voldoende op basis van de onderzochte locaties. Ook hiervoor geldt dat theoretisch een grotere afstand wenselijk is (900-1.075 meter), uitgaande van ongeveer 700 meter vóór een rijstrookbeëindiging en 200-375m ná een uitvoeging. Wel is het zo dat de concentratie aan turbulentie voor het betreffende divergentiepunt nog verder stroomopwaarts en op andere rijstroken ligt. Hierdoor zijn de feitelijke concentratie van turbulentie redelijk van elkaar gescheiden, waardoor een afstand van 700 meter veelal voldoet.
- Ook moet opgemerkt worden dat dit onderzoek slechts drie locaties betreft en de hierboven genoemde bevindingen op andere locaties anders kan uitpakken.

### 3.3 Rijstrookwisselingen over grotere afstand

Op basis van de volgtijden (zie hoofdstuk 4) wordt geconstateerd dat de turbulentieafstand stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging in ieder geval méér dan 400 meter bedraagt. Daarom is nader gekeken naar de verdeling van het verkeer over de rijstroken over grotere afstand stroomafwaarts. De veronderstelling is dat weinig turbulentie resulteert in een stabiele verdeling van het verkeer over de rijstroken. Dit is onderzocht op basis van gegevens uit de meetlussen in de weg (Monica), voor dezelfde onderzoeksperiode als de videoanalyses. Figuur 8 toont de resultaten voor de A2. In figuur 9 zijn de resultaten voor de A58 te zien. In deze grafieken is de volgende informatie opgenomen:

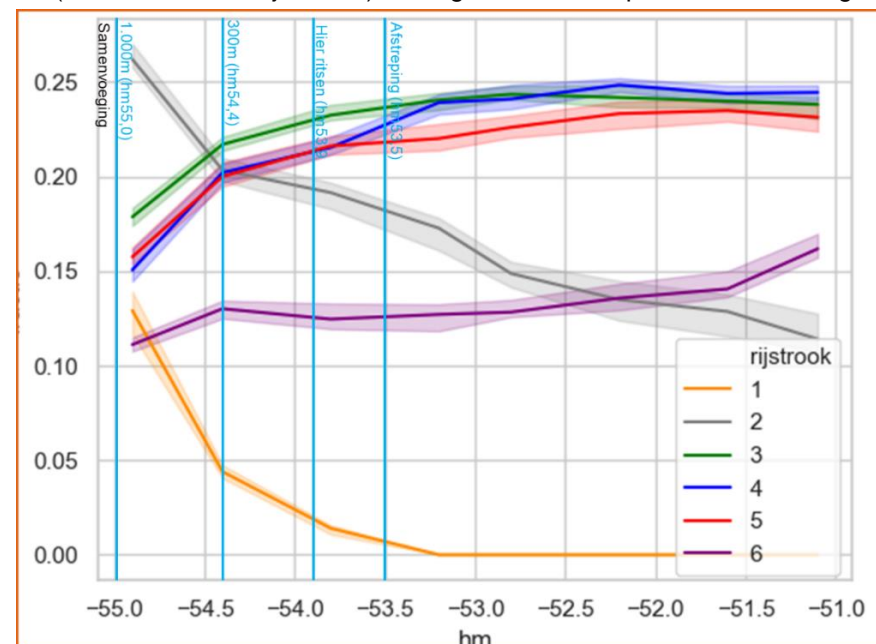
- Op de x-as staat hectometrering.
- Op de y-as staat het aandeel van het verkeer op de rijbaan dat gebruik maakt van één van de rijstroken. Met de lijnen is ter indicatie de tendens per rijstrook

over meerdere meetpunten (mediaan) inzichtelijk gemaakt (vlakke lijn = minder turbulentie).

- In blauw zijn de relevante onderdelen van de rijstrookbeëindiging weergegeven.
- De grijze balken tonen de positionering van andere relevante discontinuïteiten op de A58. Op de A2 is geen sprake van andere discontinuïteiten.

Op de locatie op de A2 is een aantal ontwikkelingen te zien:

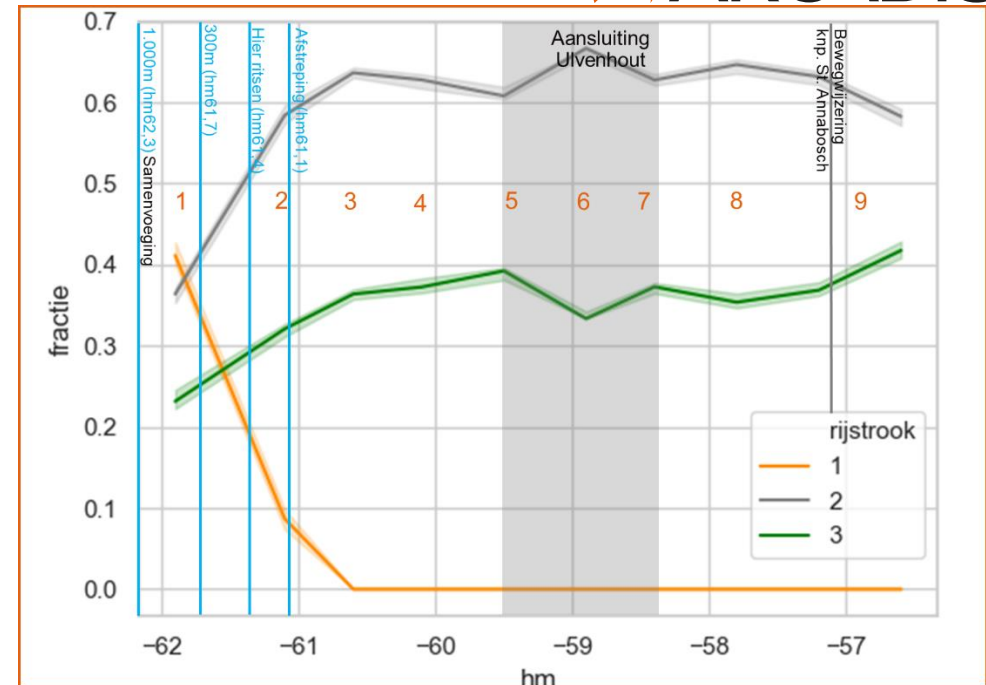
- In het gebied tussen de samenvoeging (hm 55,0) en de rijstrookbeëindiging (hm 53,5) is sprake van turbulentie. De rijstrookwisselingen zijn terug te zien in telkens veranderend aandeel verkeer per rijstrook. Rijstrook 1 gaat naar 0 (de rijstrookbeëindiging). Ook rijstrook 2 kent op dit gedeelte een dalende lijn van verkeer dat na de samenvoeging naar rechts opschuift. De rijstroken 3, 4 en 5 laten hierdoor een stijgende lijn zien. Alleen rijstrook 6 blijft redelijk constant.
- Stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging blijft het aandeel van rijstrook 2 licht dalen. De rijstroken 3, 4 en 5 blijven vanaf hm 52,8 redelijk constant.
- Alleen rijstrook 6 kent bij het laatste meetpunt een toename van hoeveelheid verkeer, wat te verklaren is door de naderende aansluiting Breukelen.
- Op basis van deze informatie is de conclusie dat op de filevrije locatie op de A2 (met relatief veel rijstroken) na ongeveer 500m sprake is van weinig turbulentie.



Figuur 8 Aandeel verkeer per rijstrook onderzoekslocatie A2

Op basis van de meetgegevens bij de onderzoekslocatie op de A58 komt het volgende naar voren:

- Tussen de samenvoeging (hmp 62,1) en de rijstrookbeëindiging (hmp 61,1) is sprake van turbulentie. Dit beeld is vergelijkbaar met de locatie op de A2. Het aandeel verkeer op rijstrook 1 gaat naar 0 (de rijstrookbeëindiging). Ook bij rijstrook 2 en 3 zijn rijstrookwisselingen terug te zien in een stijgend aandeel verkeer per rijstrook.
- Stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging ligt de verdeling over de rijstroken min of meer constant met iets meer dan 60% van het verkeer op de linker rijstrook (rijstr. 2) en iets minder dan 40% op de rechter rijstrook (rijstr. 3).
- De lijnen per rijstrook laten een golvend patroon zien, wat aanduidt dat sprake is van rijstrookwisselingen. Hier zijn verschillende verklaringen voor te geven (zie de nummers in de grafiek):
  - Daling aandeel verkeer op rijstrook 1 en 2 door opschuiven naar rechts stroomafwaarts van samenvoeging.
  - Toename verkeer op rijstrook 2 en 3 door rijstrookbeëindiging. Dit is turbulentie die direct samenhangt met de afstropping.
  - Stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging stabiliseert de verdeling zich. Op het eerste meetpunt na de afstropping (hm60,6) is nog een iets hoger aandeel verkeer op rijstrook 2 te zien.
  - Gestabiliseerde situatie met weinig turbulentie (hm60,1).
  - Een toename van aandeel verkeer op rijstrook 3 (rechts) is te verklaren door de nabijgelegen uitvoegstrook (uitvoegend verkeer).
  - Meetpunt bij aansluiting Ulvenhout tussen de uitvoeging en invoeging in. Het aandeel verkeer op rijstrook 3 (rechts) kent een dip, omdat er verkeer is afgeslagen en verkeer op rijstrook 2 (links) nog niet naar rechts gaat (ook niet vanwege naderende invoeging).
  - Een toename van aandeel verkeer op rijstrook 3 (rechts) is te verklaren door de nabijgelegen invoegstrook (invoegend verkeer op de rechter rijstrook).
  - Gestabiliseerde situatie met weinig turbulentie.
  - Bij de laatste twee meetpunten is weer een toename op rijstrook 3 (rechts) te zien, omdat verkeer zich voorbereidt op de afslaande beweging voor knooppunt Sint Annabosch.
- Op basis van deze informatie op de locatie op de A58 is te concluderen dat na ongeveer 500m er nog enige turbulentie is en na 1.000m er sprake is van weinig turbulentie als gevolg van de rijstrookbeëindiging. Gezien de ligging van de meetpunten ligt de turbulentieafstand ergens tussen de 500 en 1.000 meter stroomafwaarts van de afstropping. De fluctuaties in verdeling over de rijstroken verder stroomafwaarts zijn te verklaren door andere discontinuïteiten.



Figuur 9 Aandeel verkeer per rijstrook onderzoekslocatie A58

Wanneer de twee onderzoekslocaties met elkaar vergeleken worden is te concluderen dat de turbulentieafstand stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging dezelfde orde van grootte heeft. Dit ondanks de verschillen in eigenschappen van de onderzoekslocaties in aantal rijstroken en mate van filevorming. In beide situaties bedraagt de turbulentieafstand in ieder geval 500 meter. Op de A58 (met filevorming) is een langere turbulentieafstand niet helemaal uit te sluiten, maar in ieder geval niet langer dan 1.000 meter.

Op basis hiervan is te concluderen dat de gevraagde turbulentielenktes uit de ROA-2019 van minimaal 500 meter daadwerkelijk als minimum zijn aan te houden.

## 4 Volgtijden nabij de rijstrookbeëindiging

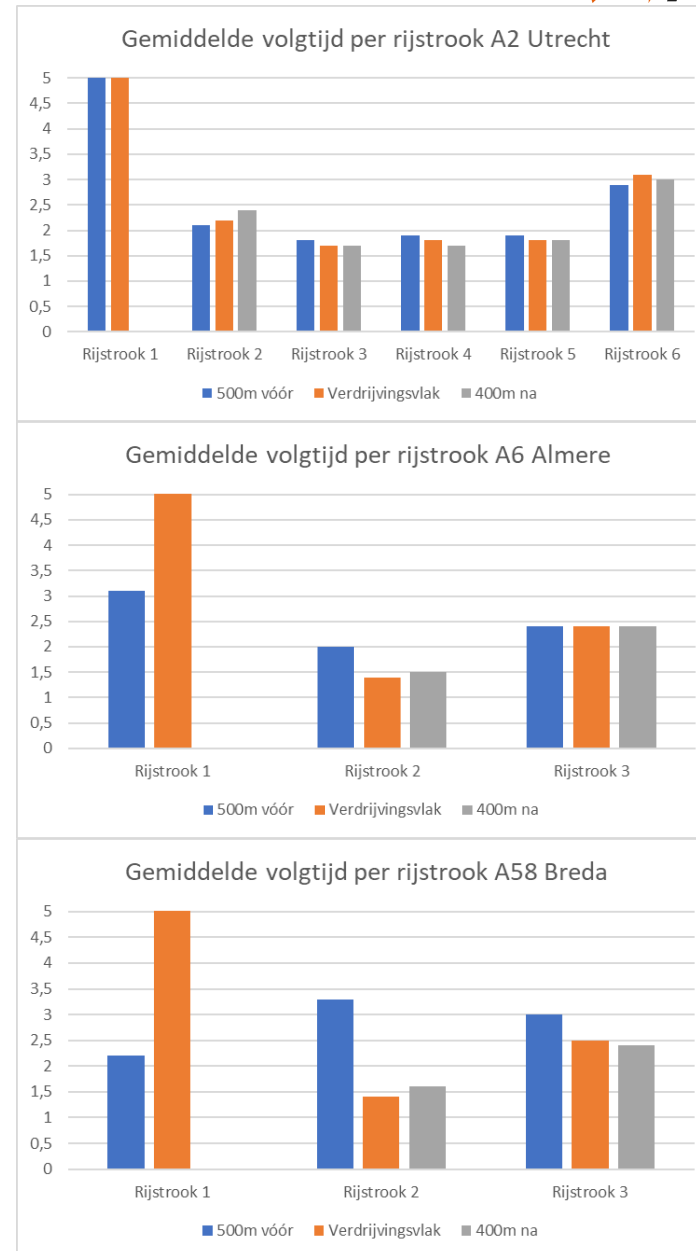
De indicator volgtijden geeft inzicht in de onderlinge afstand die voertuigen ten opzichte van elkaar aanhouden. Op de onderzoekslocaties zijn telkens op drie meetpunten (500m vóór, bij en 400m na de rijstrookbeëindiging) de volgfstanden gemeten. Hieronder wordt afzonderlijk ingegaan op de gemiddelde volgtijden en het aantal voertuigen met zeer lage volgtijden.

### 4.1 Gemiddelde volgtijden

De gemiddelde volgtijden geven een beeld van de hoeveelheid verkeer en de mate waarin er voldoende ruimte is voor de afzonderlijke voertuigen en eventuele rijstrookwisselingen. Figuur 10 toont de gemiddelde volgtijden per rijstrook rondom een rijstrook-beëindiging. Linksboven is het gemiddelde van de drie onderzoekslocaties en de overige grafieken tonen de drie afzonderlijke locaties. De gegevens zijn afkomstig uit de gegevensrapportages van Roelofs.

Op basis van de gegevens over gemiddelde volgtijden zijn de volgende conclusies te trekken:

- Rijstrook 1 kent de grootste volgtijden. Weinig verkeer, omdat het verkeer invoegt op rijstrook 2.
- Rijstrook 2 kent de kleinste volgtijden. Hier komt veel verkeer van rijstrook 1 en 2 samen op één rijstrook.
- Op rijstrook 2 nemen de volgtijden sterk af t.h.v. de afstropping. De A2 lijkt hierbij een uitzondering, vanwege de filevrije verkeerssituatie.
- De volgtijden op de meest rechter rijstrook blijven redelijk constant over de afstand vóór, bij en na de rijstrookbeëindiging.
  - A2. Redelijk constant rond 3,0s. Capaciteit is niet nodig vanwege filevrije situatie.
  - A6. Redelijk constant rond 2,4s. Capaciteit rechter rijstrook is reeds gebruikt vanwege filevorming.
  - A58. Is een afname van volgtijd van rond 3,0s 500m stroomopwaarts van de rijstrookbeëindiging tot rond 2,4s bij en na de beëindiging. Hier wordt ter hoogte van de rijstrookbeëindiging de capaciteit op de rechter rijstrook gebruikt.



Figuur 10 Gemiddelde volgtijd per rijstrook op de onderzoekslocaties

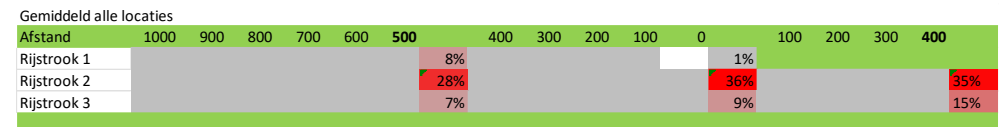
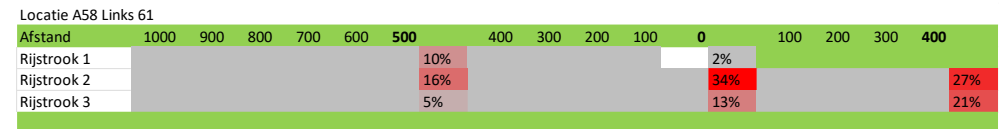
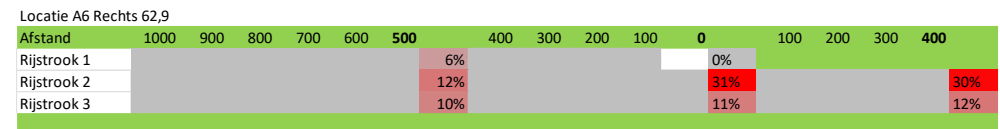
## 4.2 Zeer kleine volgtijden

Kleinere volgtijden zijn een indicatie van het accepteren van grotere risico's door weggebruikers en zijn als indicator vergelijkbaar als de time-to-collision (TTC). In deze paragraaf zijn de resultaten opgenomen voor het aandeel verkeer dat zeer kleine volgtijden aanhoudt. Het gaat hierbij om een volgtijd van 1 seconde of kleiner.

Figuur 11 toont de gemiddelde volgtijden per rijstrook rondom een rijstrookbeëindiging (dwarsdoorsnede). Bovenaan is het gemiddelde van de drie onderzoekslocaties te zien en de overige grafieken tonen de drie afzonderlijke locaties. De gegevens zijn afkomstig uit de gegevensrapportages van Roelofs.

Op basis van de gegevens over gemiddelde volgtijden zijn de volgende conclusies te trekken:

- Op rijstrook 1 is het aandeel voertuigen met korte volgafstand beperkt. Dit is te verklaren doordat de hoeveelheid verkeer op deze rijstrook relatief laag is.
- Rijstrook 2 kent een toename in het aandeel voertuigen met korte volgafstand nabij de rijstrookbeëindiging.
- Opvallend is dat op de A6 het aandeel voertuigen met korte volgtijden op rijstrook 2 t/m 5 relatief hoog is, ondanks filevrije omstandigheden. Dit duidt op groepjes voertuigen. (geen filevorming, maar wel schokgolven?, gevolg van trajectcontrole?)
- De meest rechter rijstrook kent een relatief laag aandeel voertuigen met korte volgafstanden. Dit is op stroomopwaarts van de rijstrookbeëindiging en blijft zo naarmate het verkeer de rijstrookbeëindiging voorbij rijdt. Op de A58 is hier wel een toename te zien, wat overeenkomt met een hoger aantal rijstrookwisselingen naar rijstrook 3 (zie paragraaf 3.1).
- Op enige afstand na afstreping nemen de volgafstanden iets toe, maar het aandeel <1s blijft hoog (schokgolven?). Turbulentie na de afstreping duurt dus langer dan 400m.
- Bij A2 kennen rijstrook 1 en 2 relatief grote volgafstanden, maar toch een relatief hoog aandeel <1s (geen filevorming, maar wel schokgolven?)



Figuur 11 Aandeel voertuigen per rijstrook met een volgtijd < 1 seconde

## 5 Conclusies en aanbevelingen

In de ROA-2019 zijn waarden voor aan te houden turbulentielengtes tussen twee opeenvolgende discontinuïteiten opgenomen. Veel waarden zijn onderbouwd vanuit empirisch onderzoek, of hier wordt onderzoek naar gedaan (enkelstrooks samenvoegingen). In aanvulling daarop heeft Arcadis voor Rijkswaterstaat nader onderzoek gedaan naar de turbulentiegebieden rond een beëindiging van de meest linker rijstrook op autosnelwegen (rijstrookbeëindiging). Dit geeft inzicht in welke mate de waarden uit de ontwerprichtlijnen in de praktijk voldoen.

Hiervoor zijn de verkeersmanoeuvres op drie onderzoekslocaties gemeten en geanalyseerd. In het onderzoek is het verkeersgedrag van individuele voertuigen gemeten met behulp van videobeelden van drones. Hiermee zijn gegevens over rijstrookwisselingen en volgafstanden verzameld. Tevens is gekeken naar gegevens uit meetlussen (Monica) over grotere afstand. Het onderzoek betreft de volgende locaties:

- A2 links (hmp 53,5), nabij Maarssen.
- A6 rechts (hmp 63,0), nabij Almere.
- A58 links (hmp 61,0), nabij Breda.

### 5.1 Conclusies

Bij rijstrookbeëindigingen is sprake van turbulentie. In het onderzoek is dit terug te zien in zowel de rijstrookwisselingen, veranderingen in de verdeling van het verkeer over de rijstroken en de volgafstanden tussen voertuigen. Hierbij is onderscheidt te maken naar de turbulentie stroomopwaarts en stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging. Op basis van de gegevens over turbulentie zijn de volgende conclusies te trekken:

- Stroomopwaarts van een rijstrookbeëindiging is sprake van een turbulentieafstand van ongeveer 700 á 800 meter (vanaf de verdrijfstrepen).
- Op basis van bovenstaande bevinding en de configuratie van de onderzoekslocaties is de conclusie dat de turbulentielengtes uit de ROA-2019 (tabel 6.5) voor de situaties van een discontinuïteit stroomopwaarts van een rijstrookbeëindiging in de praktijk voldoen. In theorie is een langere turbulentielengte nodig van ongeveer 1.175-1.275 meter (optelling van turbulentieafstanden). In de praktijk blijft de echte overlap van de concentraties van rijstrookwisselingen beperkt, mede doordat de turbulentieafstand vóór een rijstrookbeëindiging bij filevorming korter wordt.

- De exacte turbulentieafstand hangt direct samen met de locaties waar de borden Ritsen na 300m en Hier ritsen zijn geplaatst. In de nabijheid van deze borden vinden de grootste concentraties aan rijstrookwisselingen plaats. Wanneer het bord Ritsen na 300m op de juiste afstand wordt geplaatst (635m vanaf verdrijfstrepen) voldoet ook de turbulentielengte uit de ROA-2019. Als dit bord verder stroomopwaarts wordt geplaatst (zoals op de A2) moet ook een langere turbulentielengte worden toegepast.
- Ook de aanwezigheid van filevorming heeft invloed op de turbulentie. Bij filevorming gebeuren de meeste rijstrookwisselingen in de laatste driehonderd meter (tussen bord 'Hier ritsen' en de verdrijfstrepen).

Voor de turbulentie stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging zijn minder duidelijke conclusies te trekken, aangezien informatie over de exacte locaties van rijstrookwisselingen niet voorhanden is. Wel is een aantal voorzichtige conclusies te trekken op basis van volgtijden en verdeling over de rijstroken.

- Stroomafwaarts van de onderzochte rijstrookbeëindigingen is sprake van een turbulentieafstand van in ieder geval 500 meter. De exacte turbulentieafstand is mogelijk nog langer, maar kon met de beschikbare gegevens niet worden bevestigd.
- Geconcludeerd kan worden dat de turbulentieafstand in ieder geval langer is dan 500 meter. Dit blijkt enerzijds uit de gegevens over volgtijden, waarbij op 400m stroomafwaarts van de verdrijfstrepen nog een toename van aandeel verkeer met korte volgafstanden (<1 seconde) is waar te nemen. Daarnaast laten gegevens over de verdeling van het verkeer over de rijstroken zien, dat er op 500 meter nog enige rijstrookwisselingen plaatsvinden.
- Gegevens uit meetlussen (op twee locaties) tonen dat na 700 meter respectievelijk 1.000 meter de verdeling over de rijstroken stabiel blijft, wat een aanwijzing is dat er geen verdere turbulentie is.
- In de ROA-2019 zijn waarden van 500 meter of 1.000 meter voor de turbulentielengtes stroomafwaarts van een rijstrookbeëindiging weergegeven. Op basis van de onderzochte locaties blijkt dat de turbulentielengtes voor een uitvoeging of weefvak (beide 1.000m) in de praktijk voldoen. De turbulentielengtes van 500 meter bij de andere configuraties (invloeging, samenvoeging, splitsing) moeten in ieder geval als minimum worden beschouwd. De onderzochte locaties laten turbulentie zien tot minimaal 500 meter na de verdrijfstrepen.

## 5.2 Aanbevelingen

Op basis van de conclusies uit dit onderzoek zijn aanbevelingen geformuleerd, die zich richten op de waardes in de ontwerprichtlijnen en op nader onderzoek.

### Aanscherping ontwerprichtlijnen

Doel van het onderzoek is om de turbulentielengtes rondom rijstrookbeëindigingen zoals opgenomen in de ROA-2019 nader te onderbouwen. Ondanks dat het onderzoek slechts drie onderzoekslocaties betreft, wijzen de onderzoeksresultaten wel in dezelfde richting. De bevindingen leiden tot de volgende aanbevelingen voor de ROA-2019:

- Handhaaf de turbulentielengtes voor de situatie stroomopwaarts van een rijstrookbeëindiging, zoals in tabel 6.5 van de ROA-2019 is opgenomen.
- Leg in de ROA-2019 een sterkere relatie met de exacte positionering van de ritsborden. Dit kan door een toelichting in de tekst bij de tabel of door de waardes in de tabel toe te voegen of aan te passen.
- Handhaaf de turbulentielengtes in de betreffende tabel voor de situatie stroomafwaarts van een rijstrookbeëindiging voor de uitvoering, weefvak en andere rijstrookbeëindiging.
- Voor de turbulentielengte tot aan een invoeging, samenvoeging of splitsing (blokmarkering) is nader onderzoek nodig voor een goede onderbouwing. Neem in de ROA-2019 of het Kader wegontwerpproces een bepaling op, dat in een ontwerpproces nader onderzoek nodig is wanneer turbulentielengtes in het ontwerp dicht tegen het minimum uit de ROA-2019 aanzitten (bijvoorbeeld met simulatiemodel).

### Uitbreiding onderzoekslocaties

Bij de resultaten uit dit onderzoek moet opgemerkt worden dat het onderzoek met drie onderzoekslocaties een relatief beperkte omvang kent. Ondanks dat de resultaten dezelfde richting aanwijzen, kunnen andere onderzoekslocaties tot andere uitkomsten leiden. Bijvoorbeeld kunnen afwijkende verdeling van verkeersstromen tot andere impact op turbulentieafstanden en concentraties van rijstrookwisselingen leiden. Aan Rijkswaterstaat wordt aanbevolen hoe hier mee om te gaan, waarbij er twee mogelijkheden zijn:

- Doe nader grootschalig onderzoek naar turbulentie rondom discontinuïteiten om de onderbouwing van de turbulentielengtes uit de ROA-2019 verder versterken. Aandachtspunt hierbij is dat er een grootschalig (en daarmee kostbaar) onderzoek nodig is om voldoende onderzoekslocaties in het onderzoek te betrekken.

- Neem in de ROA-2019 of het Kader wegontwerpproces een bepaling op, dat in een ontwerpproces nader onderzoek nodig is wanneer turbulentielengtes in het ontwerp dicht tegen het minimum uit de ROA-2019 aanzitten (bijvoorbeeld met simulatiemodel).

Een uitgebreider onderzoek kan de gevonden resultaten in een breder perspectief bevestigen en invulling geven aan resterende vragen. Hieronder volgt een aantal aanbevelingen voor invulling van nader onderzoek:

- Neem in het onderzoek meerdere nieuwe locaties op, om te kunnen bevestigen dat de conclusies uit het voorliggende onderzoek ook in breder perspectief gelden.
- Geef in het nadere onderzoek ook aandacht aan de turbulentie-eigenschappen stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging en dan in het bijzonder de rijstrookwisselingen.
- De onderzoekslocaties zijn zodanig gekozen dat interactie met andere discontinuïteiten beperkt is. In de praktijk is op veel locaties juist wel sprake van interactie tussen opeenvolgende discontinuïteiten. Neem in het onderzoek ook locaties op met (te) korte turbulentielengtes, om de effecten van overlappende turbulentieafstanden scherper te krijgen.
- In het bijzonder is het interessant om locaties met opeenvolging van een rijstrookbeëindiging en een invoeging op te nemen, aangezien de configuraties vaker voorkomt en in projecten vaak gepaard gaat met ruimtegebrek.

### Relatie met verkeersonveiligheid

In dit onderzoek zijn verkeersveiligheidsaspecten meegenomen door te kijken naar de volgtijden tussen voertuigen. Inzicht in de exacte effecten op verkeersveiligheid kan de waardes in de ontwerprichtlijnen verder aanscherpen en onderbouwen.

Daarom wordt aanbevolen om in een nader onderzoek de relatie met geregistreerde ongevallen in het turbulentiegebied rond een rijstrookbeëindiging te analyseren. Hierbij gelden twee aandachtspunten:

- Neem voldoende onderzoekslocaties in de analyse op, om voldoende betrouwbare uitspraken te doen. Vanwege beperkingen in de ongevalsregistratie en locatiespecifieke invloeden kan alleen met een groot aantal onderzoekslocaties goede conclusies worden getrokken.
- Houd expliciet rekening met de aanwezigheid van andere discontinuïteiten. Het type discontinuïteit en de onderlinge afstand is mede van invloed op het ontstaan van turbulentie en daaraan gerelateerde ongevallen.



## Bijlagen

## Bijlage 1 Rapporten meetgegevens onderzoekslocaties

Roelofs, Verkeersonderzoek A2, 7 maart 2022, PR01-C01-41087213-nrk-A2

Roelofs, Verkeersonderzoek A6, 7 maart 2022, PR01-C01-41087213-nrk-A6

Roelofs, Verkeersonderzoek A58, 7 maart 2022, PR01-C01-41087213-nrk-A58



# Verkeersonderzoek A2

Definitieve rapportage

# Onderzoeksmethodiek

A2 HRB Li hm 52,8 - 54,4

A 2

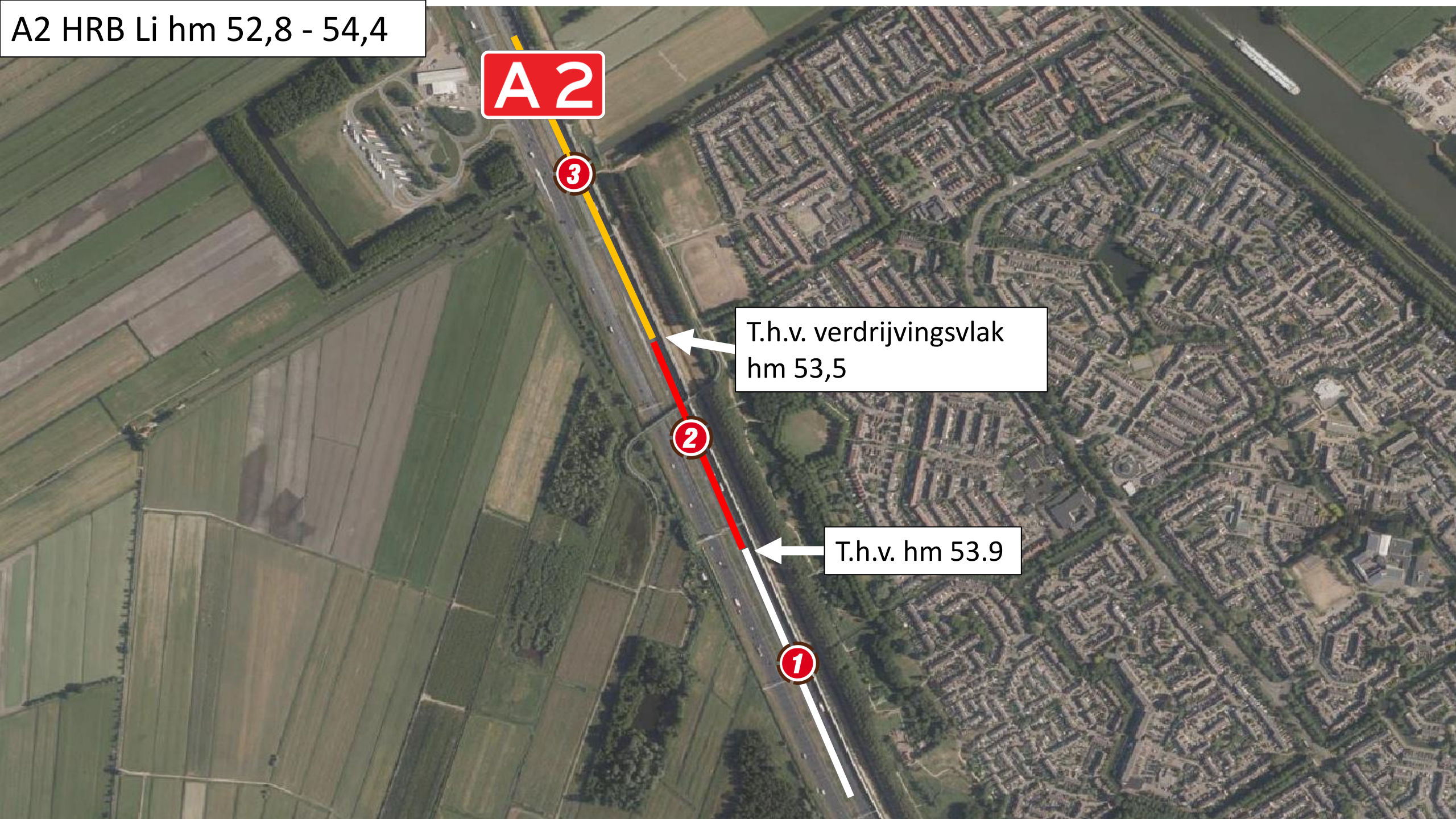
3

T.h.v. verdrijvingsvlak  
hm 53,5

2

T.h.v. hm 53.9

1







3





# Rijstrookindeling

1

Binnenste rijstrook (afvallende rijstrook)

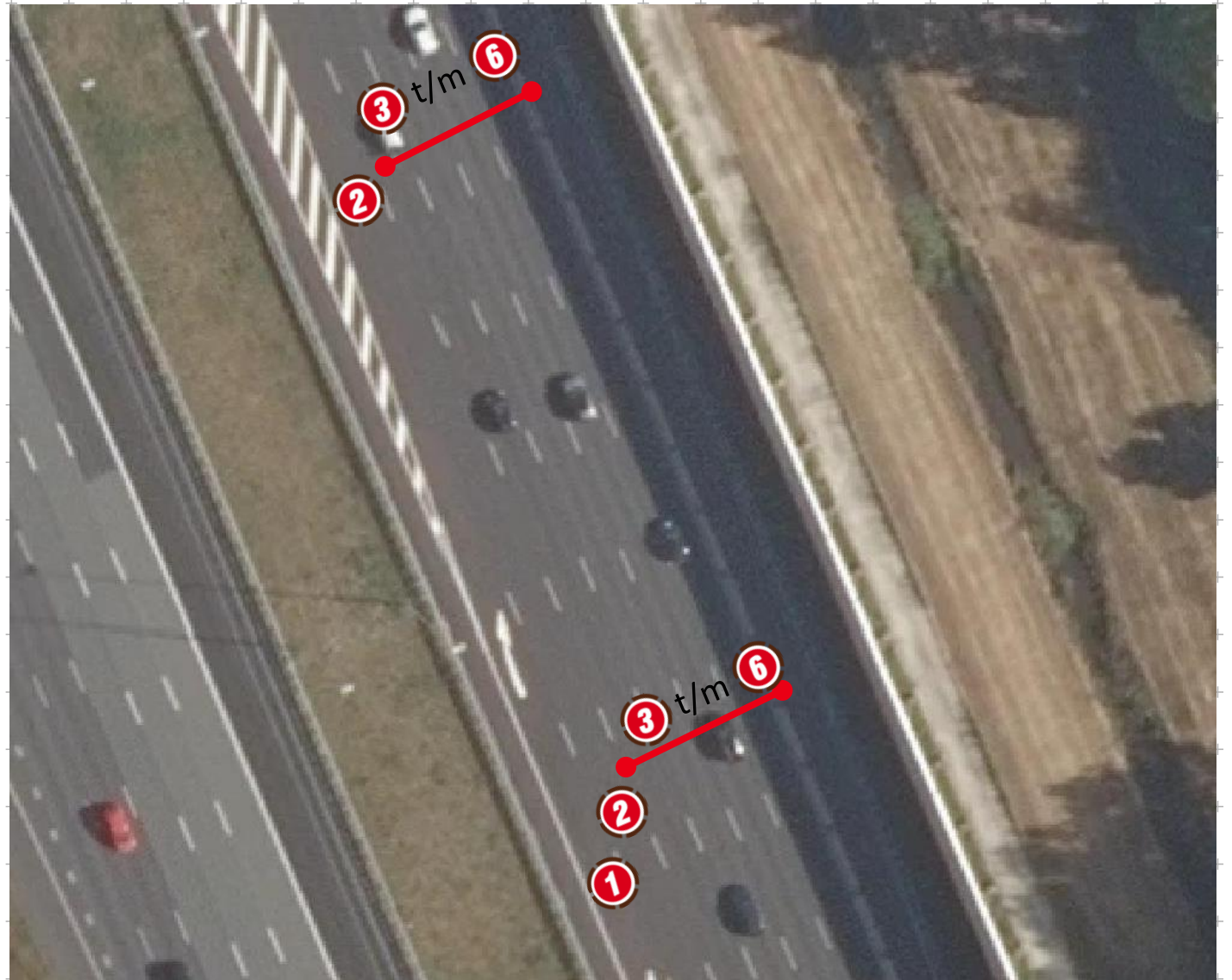
2

Tussenliggende rijstrook

3 4

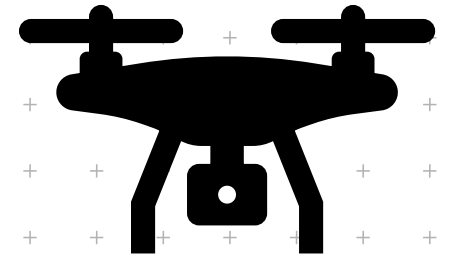
Gecombineerde rijstrook

5 6



# Onderzoeksperiode

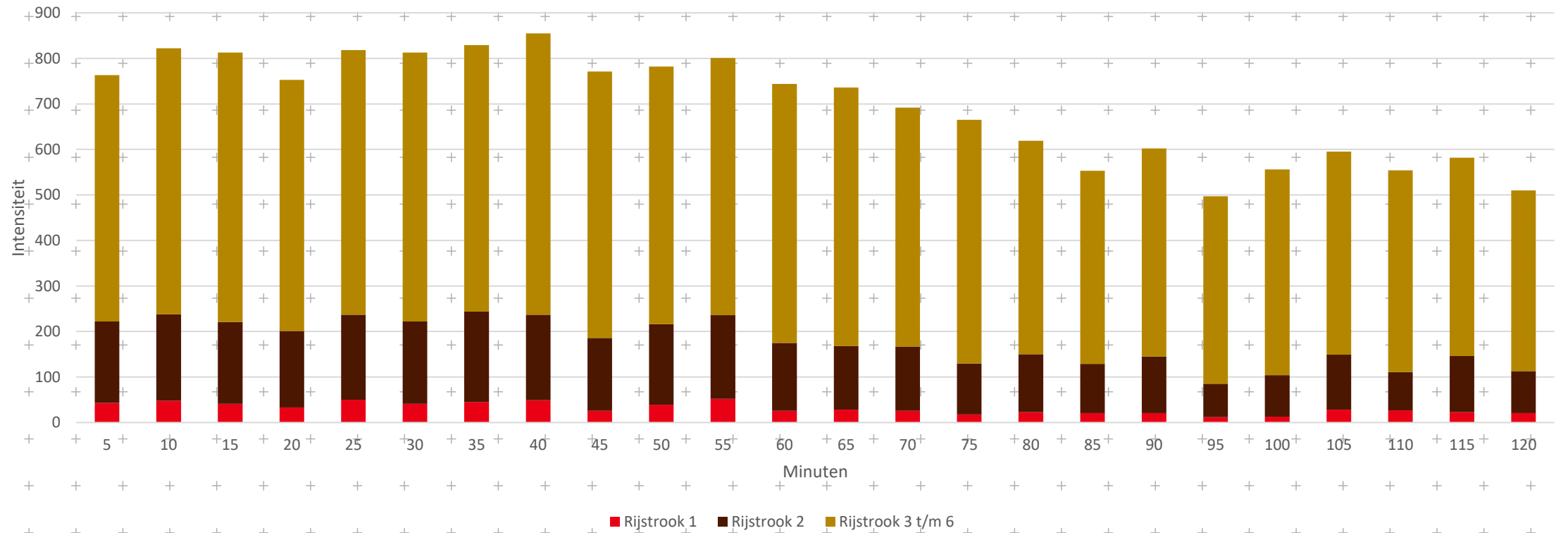
- Dinsdag 5 oktober 7:30 - 9:30



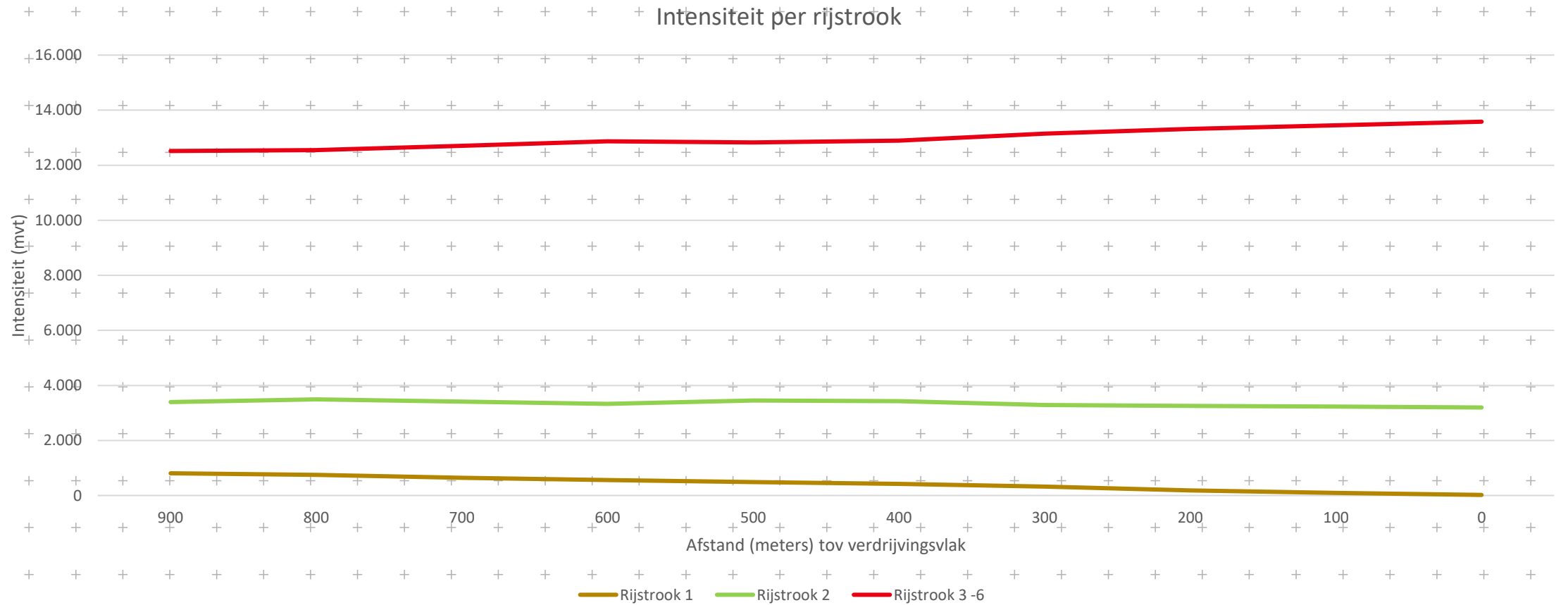
# Intensiteit

# Intensiteit per rijstrook / tijd

Intensiteit per 5 minuten 800m

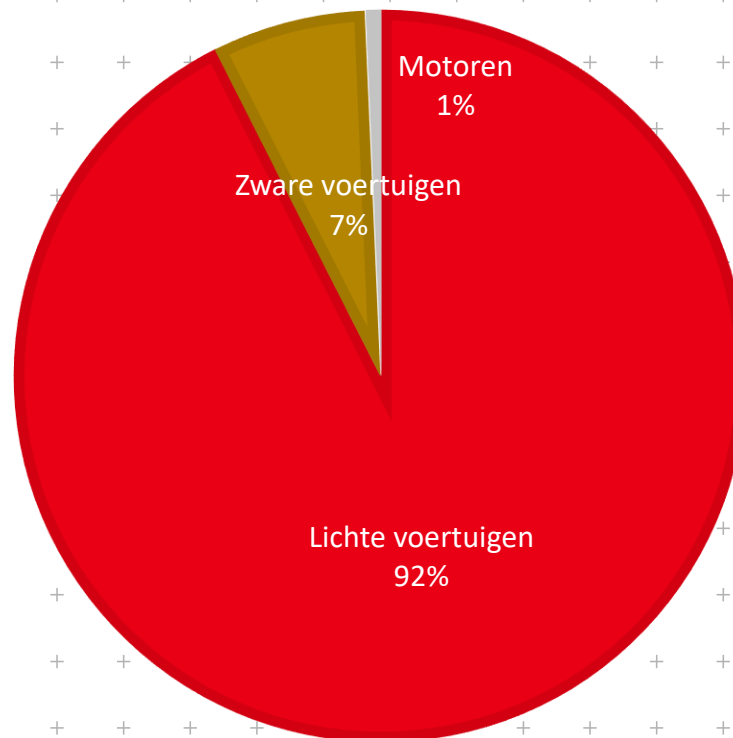


# Intensiteit per rijstrook / per afstand



# Modal split

■ Lichte voertuigen ■ Zware voertuigen ■ Bus ■ Motoren

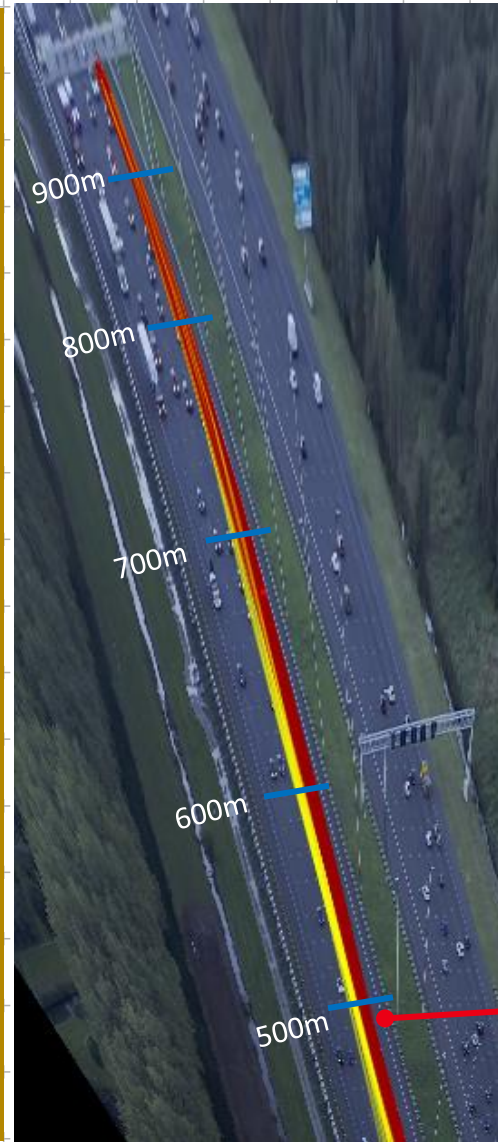


Wel bussen geregistreerd echter aandeel te laag in het geheel voor een percentage > 0%

# Rijstrookwisselingen

# Gebied 1

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer
  - rijstrook 1 → rijstrook 2
  - rijstrook 1 → rijstrook 3 t/m 6
- In gebied 1 gaat 8% van het invoegend verkeer van rijstrook 1 naar rijstrook 3 t/m 6. De overige 92% van de invoegers rijdt op rijstrook 2.



Afstand t.o.v.  
verdringingsvlak



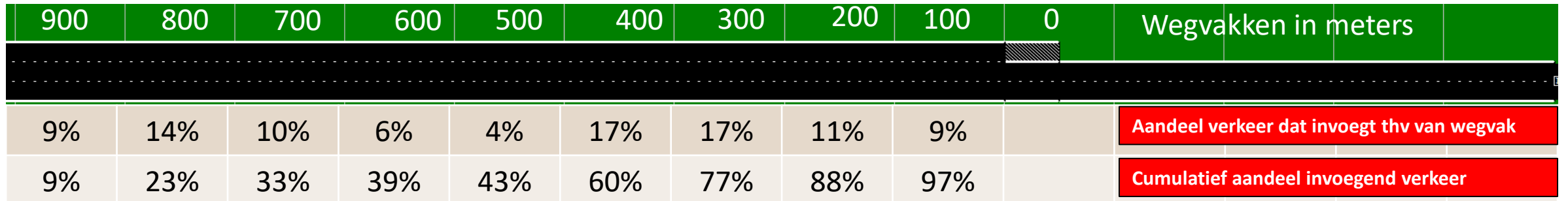
## Gebied 2

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer
  - rijstrook 1 → rijstrook 2
  - rijstrook 1 → rijstrook 3 t/m 6
- In gebied 2 gaat 7% van het invoegend verkeer van rijstrook 1 naar rijstrook 3 t/m 6. De overige 93% van de invoegers rijdt op rijstrook 2.



Afstand t.o.v.  
verdringsvlak

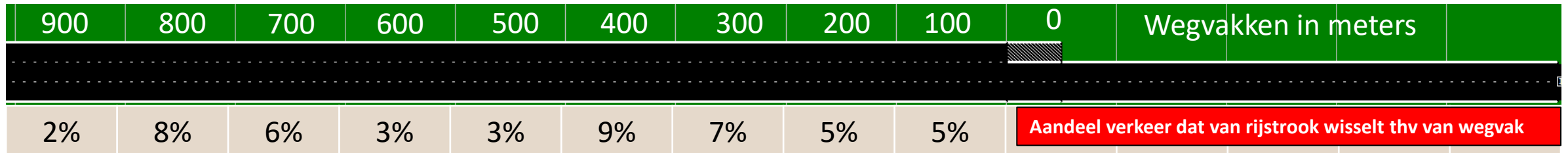
# Rijstrookwisselingen rijstrook 1 → rijstrook 2 / 3



*“Aandeel verkeer dat wisselt van rijstrook 1 → 2/3 is tov van totale intensiteit op 1.000m afstand”*

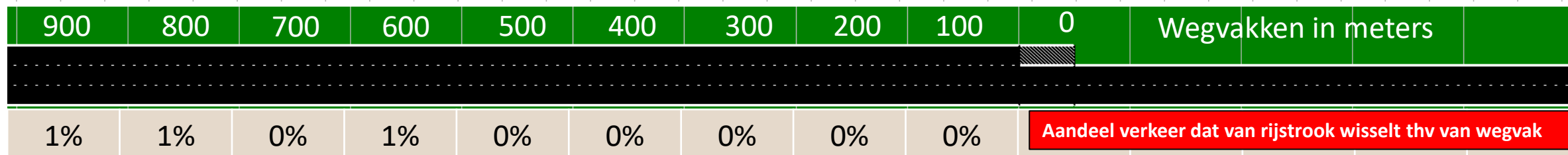
↑  
Een klein aandeel verkeer rijdt langs rand verdrijvingsvlak

# Rijstrookwisselingen rijstrook 2 → rijstrook 3



*“Intensiteit verkeer varieert per wegvak door in- en uitvoegend verkeer. Aandeel verkeer dat van rijstrook 2 -> 3 wisselt tov van betreffende wegvak rijstrook 3”*

# Rijstrookwisselingen rijstrook 3 → rijstrook 2



*“Intensiteit verkeer varieert per wegvak door in- en uitvoegend verkeer. Aandeel verkeer dat van rijstrook 3 -> 2 wisselt tov van betreffende wegvak rijstrook 2”*

# Over verdrijvingsvlak / vluchtstrook

- 2 voertuigen rijden (geheel) over het verdrijvingsvlak / vluchtstrook (politie)



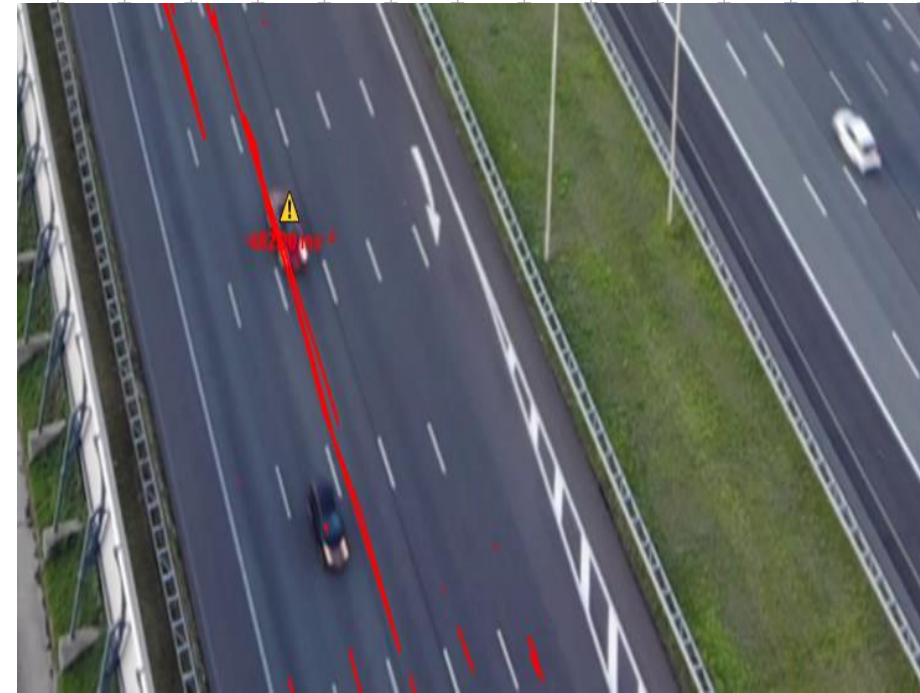
# Verkeersveiligheid

# Verkeersveiligheidsanalyse

- De vectoranalyse is in het diepte van het beeld minder betrouwbaar om gedetailleerde uitspraken te doen
- Rondom de samenvoeging is er perfect beeld en kunnen betrouwbare en gedetailleerde uitspraken worden gedaan
- PET-analyse levert geen bijzondere conflicten op (dit is in de basis ook meer bedoeld voor kruisend verkeer)
- De conflicten die naar voren komen uit de TTC-analyse komen overeen op het gebied van heavy breaking

# Heavy breaking

- Over het algemeen geen punten waargenomen waar (veelvuldig) hard geremd moet worden. De intensiteit van rijstrook 1 is relatief laag. T.h.v. de samenvoeging is het grootste aandeel verkeer al ingevoegd waardoor hier ook geen grote remacties plaatsvinden.
- Ook in andere wegvakken vindt geen terugslag met als gevolg remacties plaats





# Volgtijden

# Volgtijd 500m voor verdrijvingsvlak

Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	>3	Totaal	Gem
Rijstrook 1*	4%	12%	8%	6%	3%	4%	62%	100%	12,7 sec
Rijstrook 2	13%	31%	18%	10%	7%	5%	18%	100%	2,1 sec
Rijstrook 3	7%	26%	23%	13%	9%	6%	15%	100%	1,8 sec
Rijstrook 4	8%	25%	22%	12%	9%	6%	18%	100%	1,9 sec
Rijstrook 5	6%	24%	22%	14%	10%	6%	18%	100%	1,9 sec
Rijstrook 6	2%	12%	15%	13%	11%	8%	39%	100%	2,9 sec

\* Intensiteit verkeer laag i.v.m. invoegpunt

# Volgtijd thv begin verdrijvingsvlak

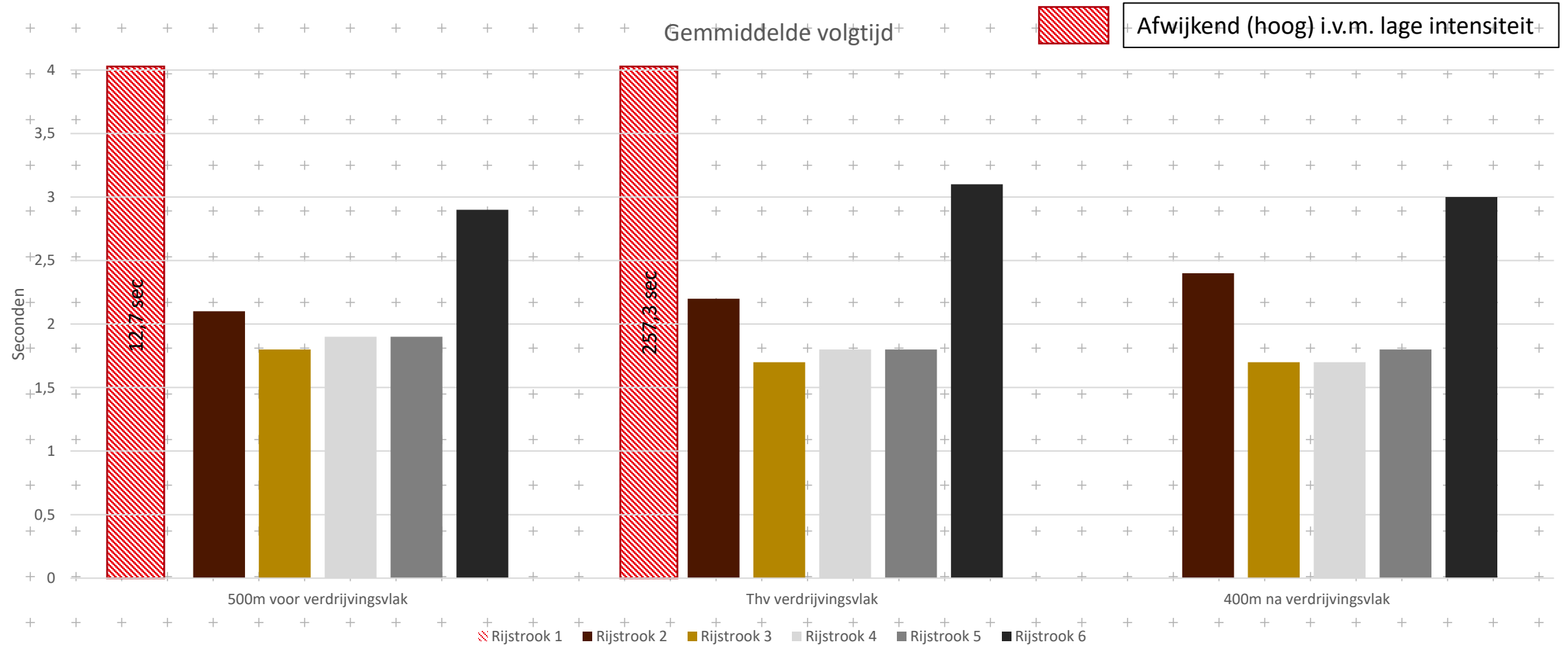
Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	>3	Totaal	Gem
Rijstrook 1*	0%	0%	4%	0%	13%	0%	83%	100%	257,3 sec
Rijstrook 2	16%	32%	15%	8%	6%	4%	18%	100%	2,2 sec
Rijstrook 3	8%	29%	25%	12%	9%	4%	13%	100%	1,7 sec
Rijstrook 4	7%	27%	24%	12%	9%	6%	15%	100%	1,8 sec
Rijstrook 5	5%	27%	22%	14%	10%	7%	15%	100%	1,8 sec
Rijstrook 6	1%	10%	15%	12%	11%	9%	42%	100%	3,1 sec

\* Intensiteit verkeer laag i.v.m. invoegpunt

# Volgtijd 400m na verdrijvingsvlak

Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	>3	Totaal	Gem
Rijstrook 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rijstrook 2	14%	32%	16%	7%	6%	5%	21%	100%	2,4 sec
Rijstrook 3	8%	30%	23%	13%	8%	5%	12%	100%	1,7 sec
Rijstrook 4	8%	28%	25%	13%	9%	5%	12%	100%	1,7 sec
Rijstrook 5	5%	27%	22%	14%	10%	7%	15%	100%	1,8 sec
Rijstrook 6	2%	10%	15%	11%	12%	10%	39%	100%	3,0 sec

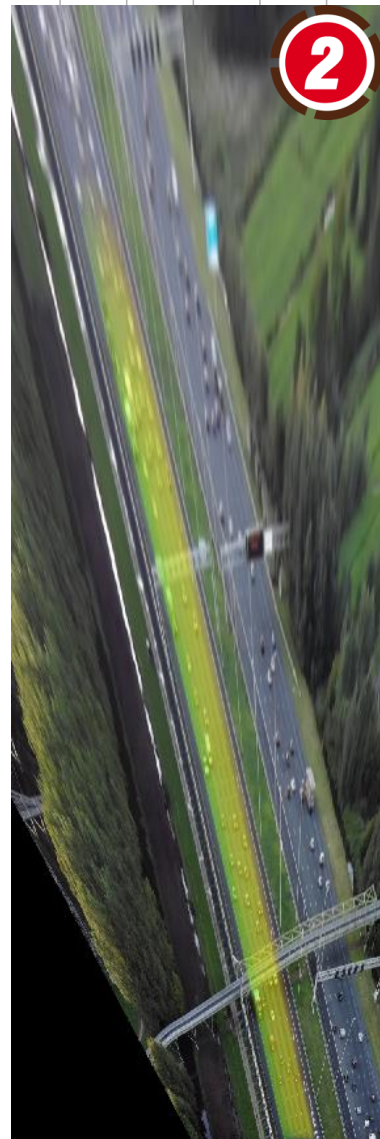
# Gemiddelde volgtijd



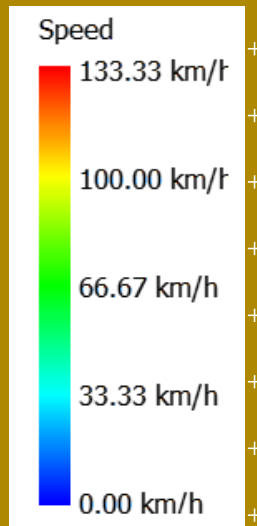
# Snelheid

# Gem snelheid

- Gemiddelde snelheid rijstrook 2 t/m 6 rond maximaal toegestane snelheid van 100 km/h
- Snelheid rijstrook 6 (buitenste rijstrook) gemiddeld ca. 10 km/h lager tov overige rijstroken
- Lichte snelheidstoename van buitenste naar de binnenste rijstrook (6 -> 1)



# Gem snelheid





# Tijd-wegdiagram

Tijdens het onderzoek geen congestie (terugslag) waargenomen. Om deze reden is het tijd-wegdiagram niet weergegeven, aangezien deze volledig groen kleurt.



# Verkeersonderzoek A6

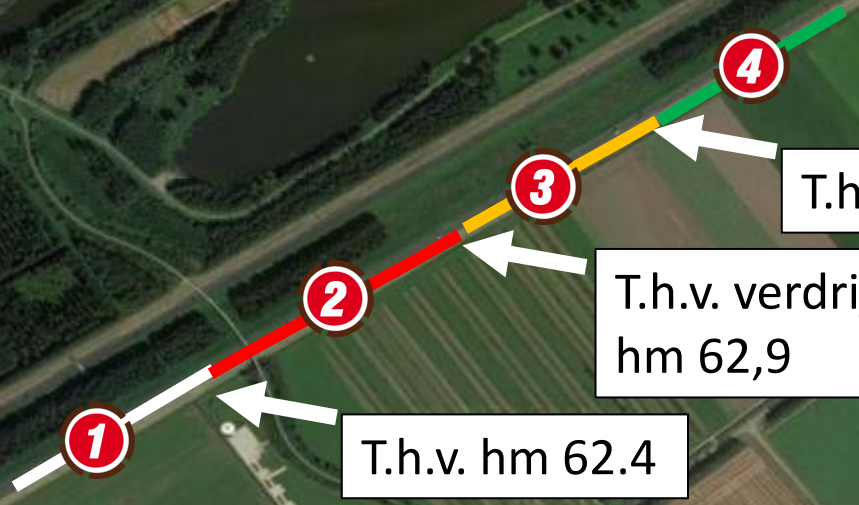
Definitieve rapportage

# Onderzoeksmethodiek

A2 HRB Re hm 62,0 – 63,5

A 6

N702



T.h.v. hm 63.1

T.h.v. verdrijvingsvlak  
hm 62,9

T.h.v. hm 62.4

1







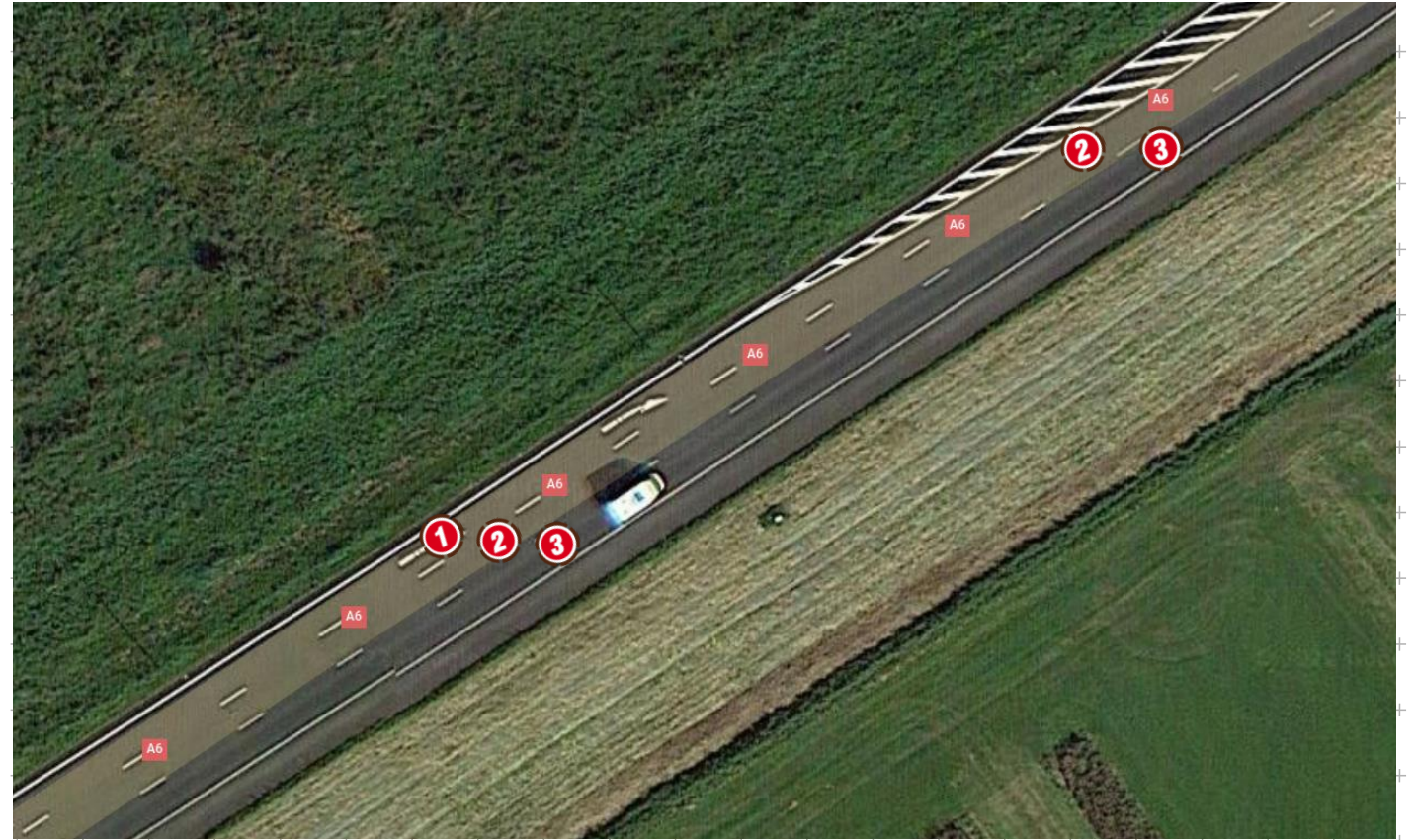
4





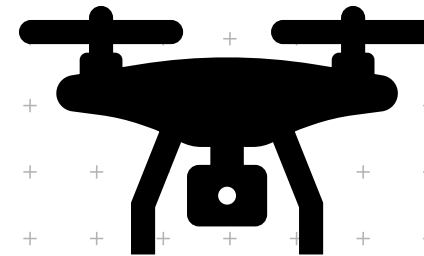
# Rijstrookindeling

- ① Rijstrook 1 (afvallende rijstrook)
- ② Rijstrook 2
- ③ Rijstrook 3



# Onderzoeksperiode

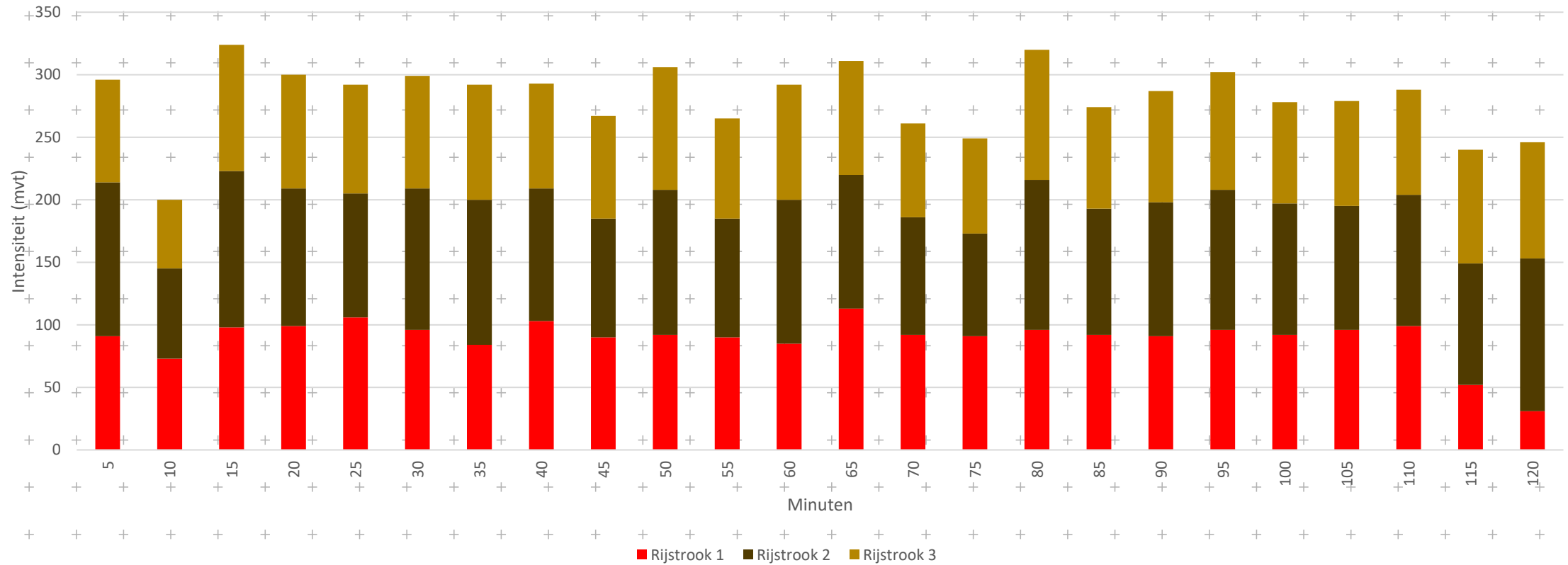
- Donderdag 14 oktober 16:00 – 18:00



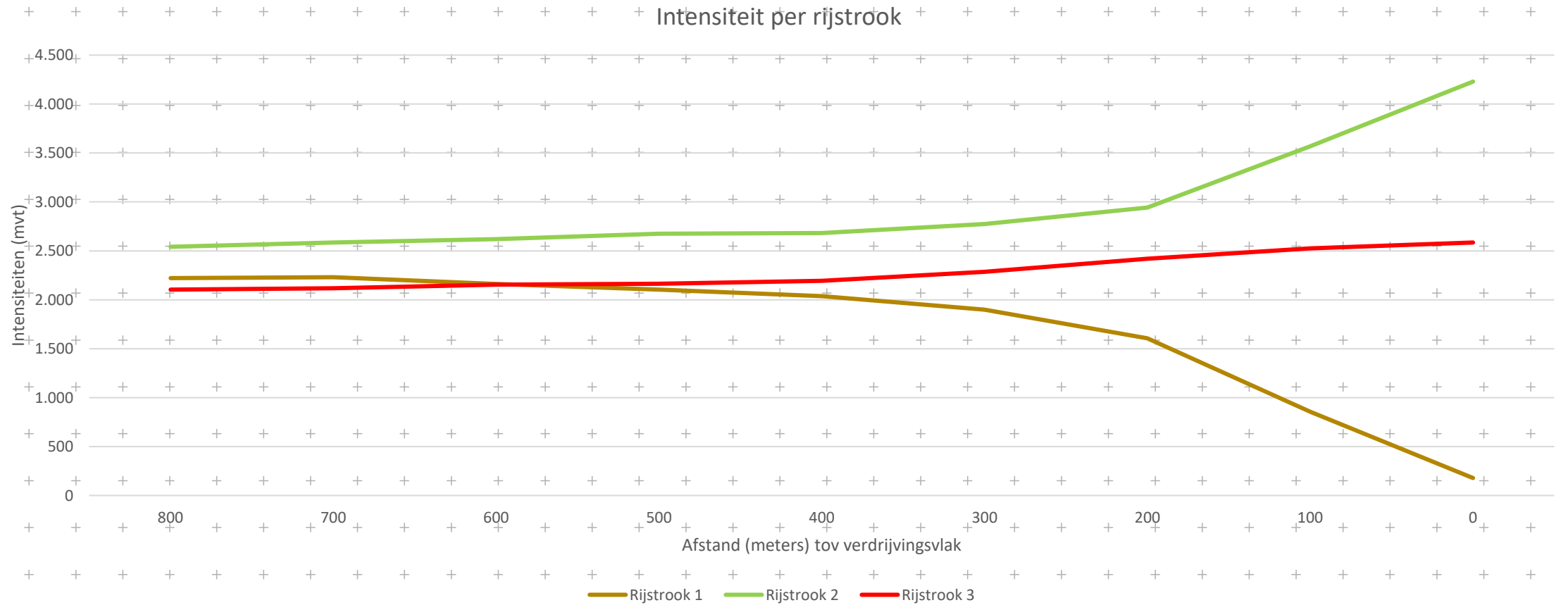
# Intensiteit

# Intensiteit per rijstrook / tijd

Intensiteit per 5 minuten 600m

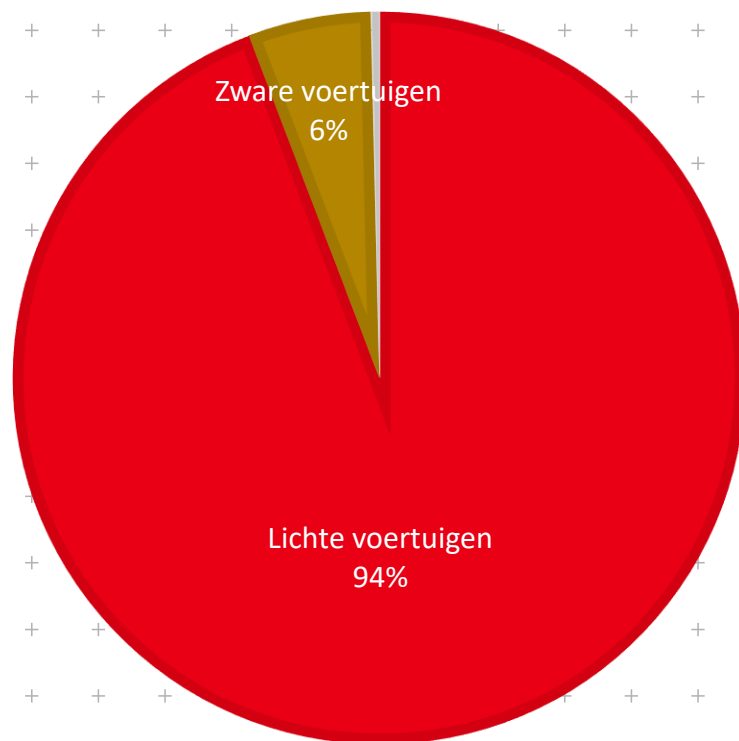


# Intensiteit per rijstrook / per afstand



# Modal split

■ Lichte voertuigen ■ Zware voertuigen ■ Bus ■ Motoren



Wel bussen/motoren geregistreerd echter  
aandeel te laag in het geheel voor een  
percentage > 0%

# Rijstrookwisselingen

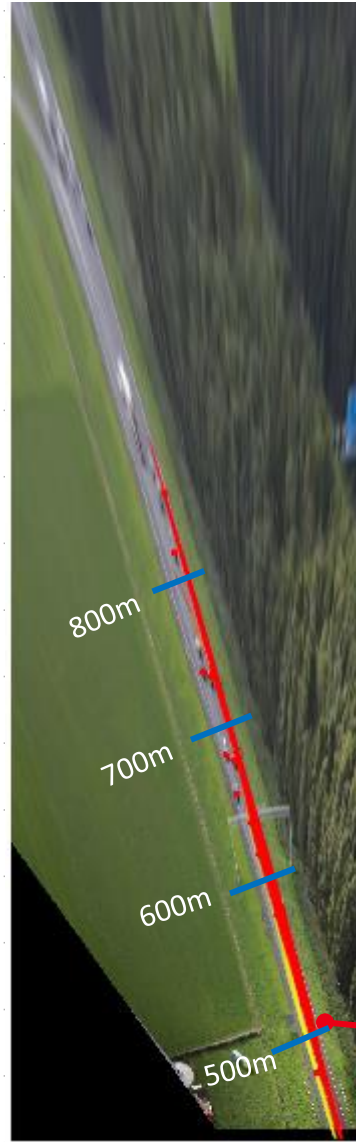
# Gebied 1

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer

— rijstrook 1 → rijstrook 2

— rijstrook 1 → rijstrook 3

- In gebied 1 gaat 5% van het invoegend verkeer van rijstrook 1 naar rijstrook 3. De overige 95% van de invoegers rijdt op rijstrook 2.



Afstand t.o.v.  
verdringingsvlak



## Gebied 2

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer

— rijstrook 1 → rijstrook 2

— rijstrook 1 → rijstrook 3

- In gebied 2 gaat 10% van het invoegend verkeer van rijstrook 1 naar rijstrook 3. De overige 90% van de invoegers rijdt op rijstrook 2.



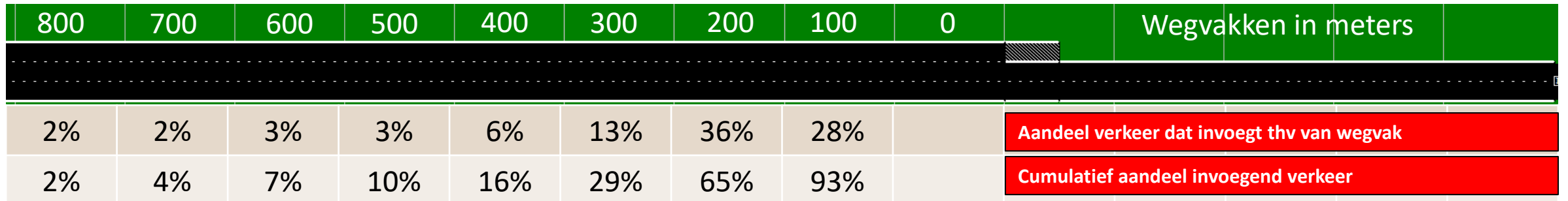
## Gebied 3

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer
  - rijstrook 1 → rijstrook 2
  - rijstrook 1 → rijstrook 3
- In gebied 3 gaat voor de samenvoeging 2% van het invoegend verkeer van rijstrook 1 naar rijstrook 3. De overige 98% van de invoegers rijdt op rijstrook 2 thv de samenvoeging.



Afstand t.o.v.  
verdrivingsvlak

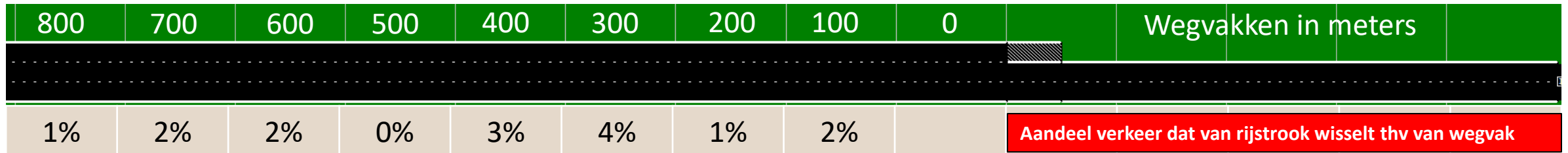
# Rijstrookwisselingen rijstrook 1 → rijstrook 2 / 3



*“Aandeel verkeer dat wisselt van rijstrook 1 -> 2/3 is tov van totale intensiteit op 800m afstand”*

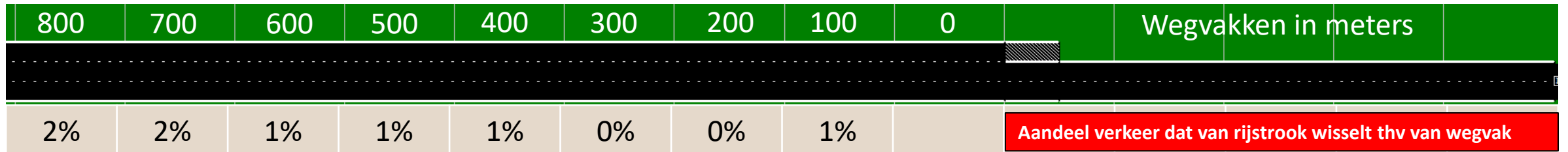
*Een aandeel verkeer rijdt langs rand verdrijvingsvlak*

# Rijstrookwisselingen rijstrook 2 → rijstrook 3



*“Intensiteit verkeer varieert per wegvak door in- en uitvoegend verkeer. Aandeel verkeer dat van rijstrook 2 -> 3 wisselt tov intensiteit van betreffende wegvak rijstrook 2”*

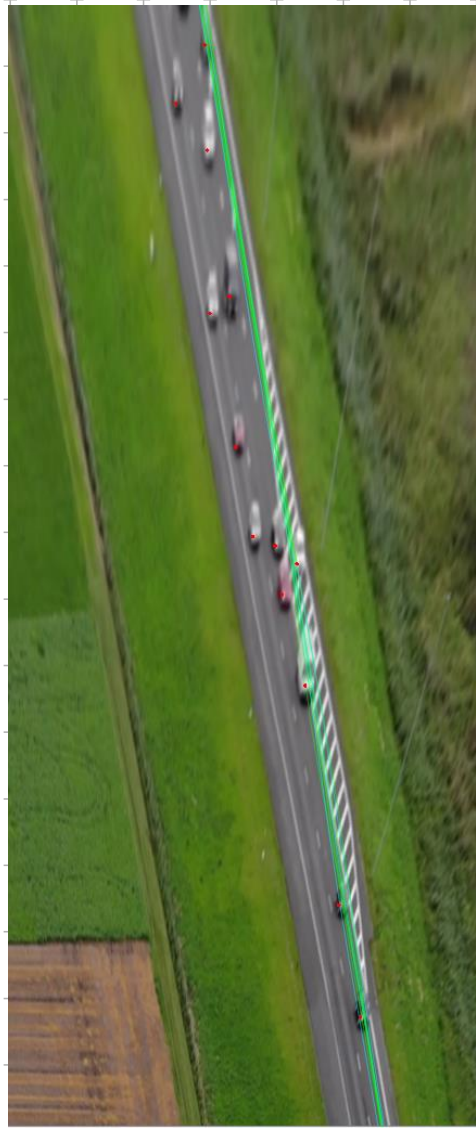
# Rijstrookwisselingen rijstrook 3 → rijstrook 2



*“Intensiteit verkeer varieert per wegvak door in- en uitvoegend verkeer. Aandeel verkeer dat van rijstrook 3 -> 2 wisselt tov intensiteit van betreffende wegvak rijstrook 3”*

# Over verdrijvingsvlak / vluchtstrook

- 8 voertuigen rijden (geheel) over het verdrijvingsvlak
- 3 voertuigen over vluchtstrook
- 171 voertuigen rijden langs de rand van het verdrijvingsvlak (voegen zeer laat in)



# Verkeersveiligheid

# Verkeersveiligheidsanalyse

- De vectoranalyse is in het diepte van het beeld minder betrouwbaar om gedetailleerde uitspraken te doen
- Rondom de samenvoeging is er perfect beeld en kunnen betrouwbare en gedetailleerde uitspraken worden gedaan
- PET-analyse levert geen bijzondere conflicten op (dit is in de basis ook meer bedoeld voor kruisend verkeer)
- De conflicten die naar voren komen uit de TTC-analyse komen overeen op het gebied van heavy breaking

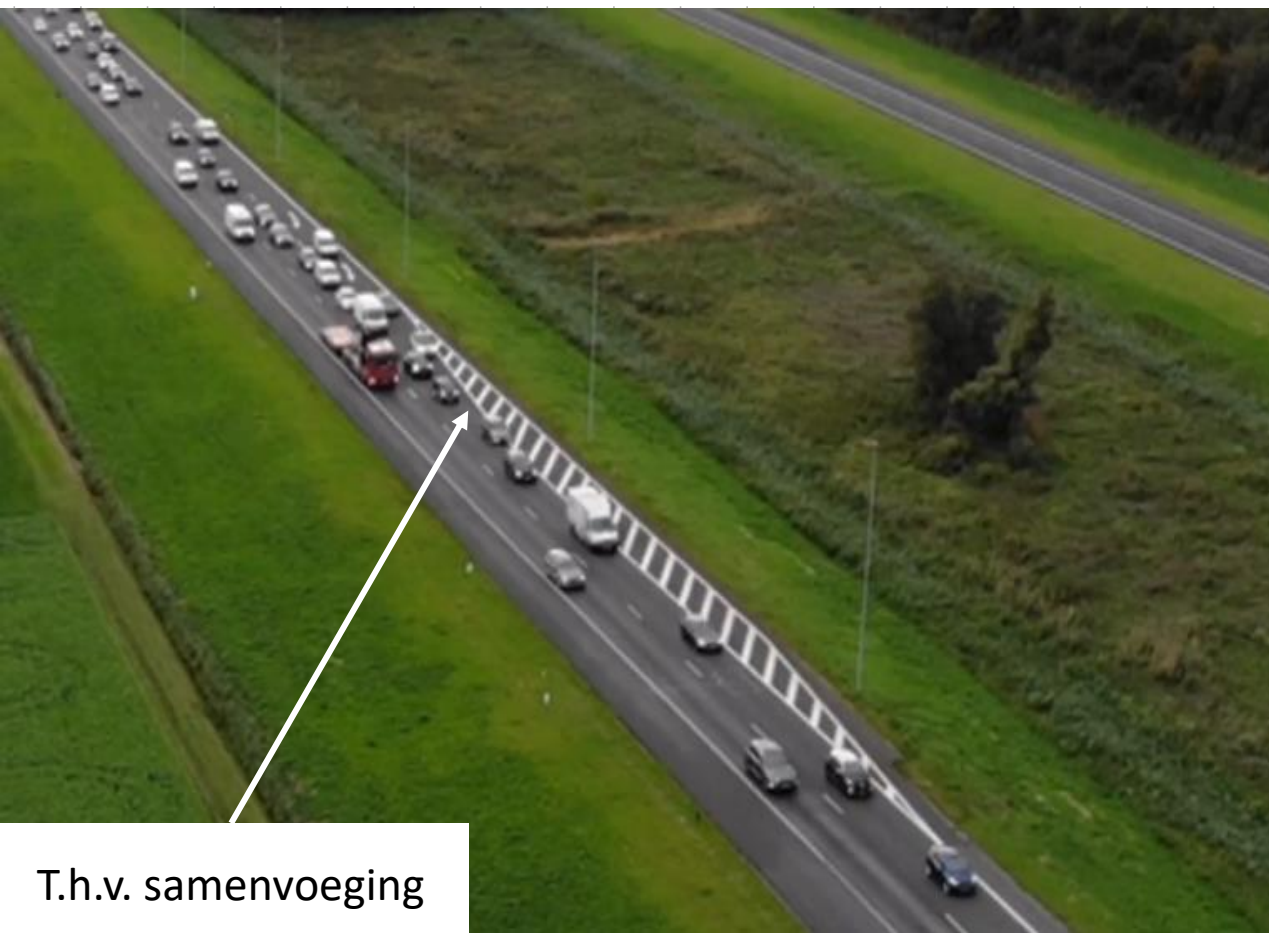


# Heavy breaking

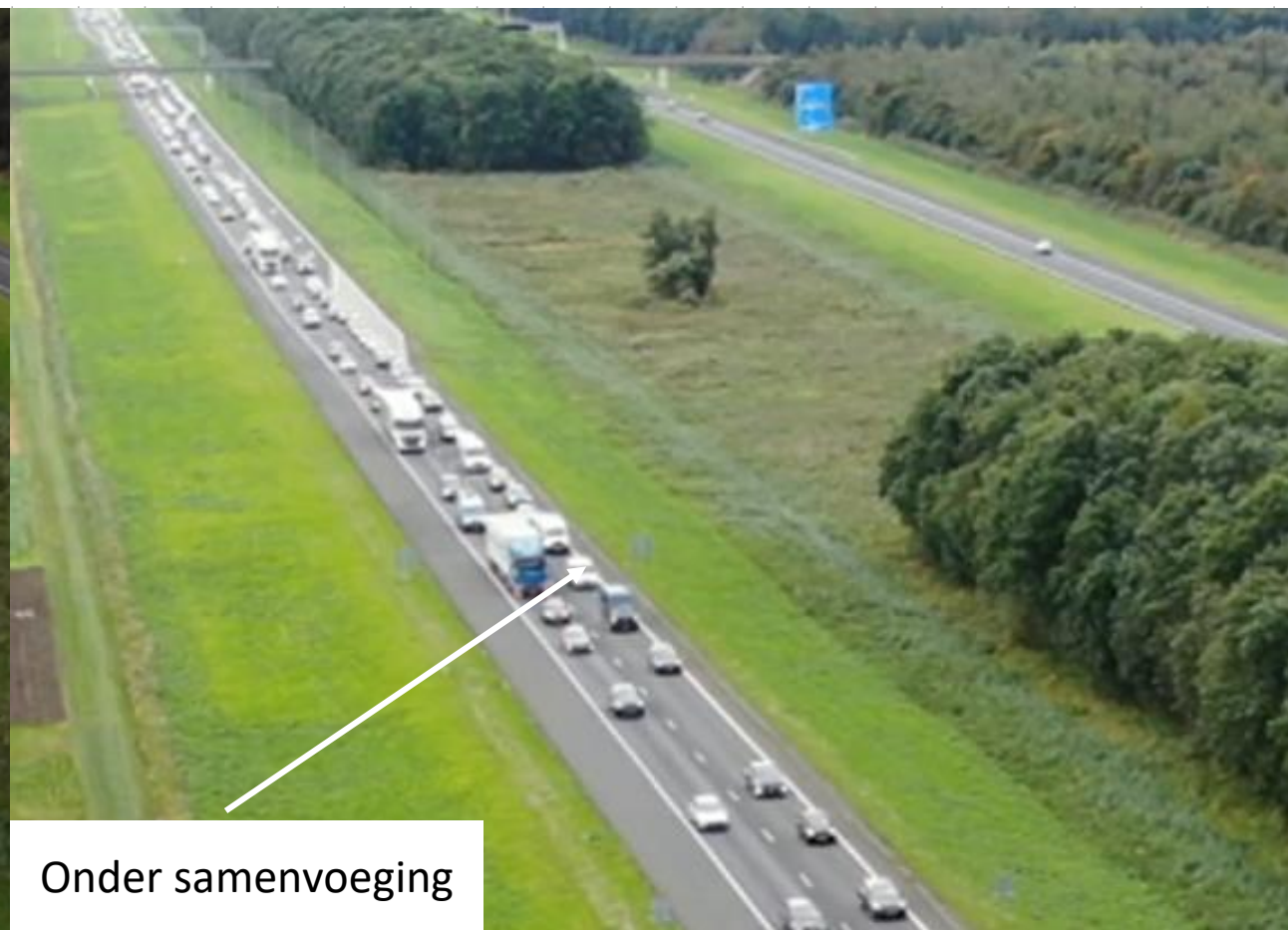
- De momenten waar hard geremd wordt vinden vooral plaats in gebied 3. Dit is voornamelijk rond de samenvoeging en net onder de samenvoeging waar veel verkeer samenkomt op rijstrook 2. Het samenkomen van veel verkeer leidt tot remacties en enige terugslag.



# Terugslagpunten



T.h.v. samenvoeging



Onder samenvoeging

# Volgtijden

# Volgtijd 500m voor verdrijvingsvlak

Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	>3	Totaal	Gem
Rijstrook 1	0%	6%	20%	22%	15%	10%	28%	100%	3,1
Rijstrook 2	1%	11%	26%	24%	17%	8%	13%	100%	2,0
Rijstrook 3	1%	9%	21%	20%	16%	10%	22%	100%	2,4

# Volgtijd thv begin verdrijvingsvlak

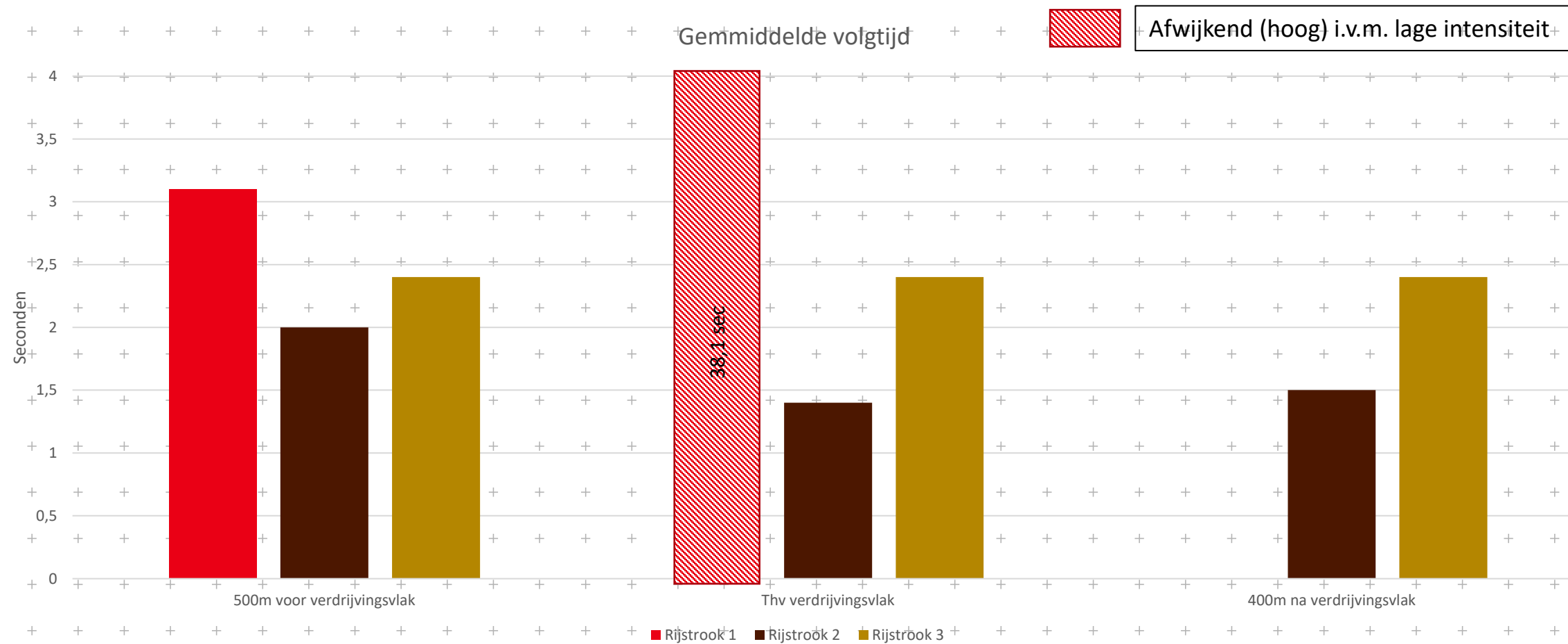
Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	>3	Totaal	Gem
Rijstrook 1*	0%	0%	3%	1%	4%	4%	88%	100%	38,1
Rijstrook 2	3%	28%	36%	18%	9%	3%	4%	100%	1,4
Rijstrook 3	1%	10%	21%	19%	15%	9%	26%	100%	2,4

\* Intensiteit verkeer laag i.v.m. invoegpunt

# Volgtijd 400m na verdrijvingsvlak

Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	>3	Totaal	Gem
Rijstrook 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rijstrook 2	3%	27%	33%	19%	9%	4%	6%	100%	1,5
Rijstrook 3	1%	11%	22%	16%	15%	10%	25%	100%	2,4

# Gemiddelde volgtijd

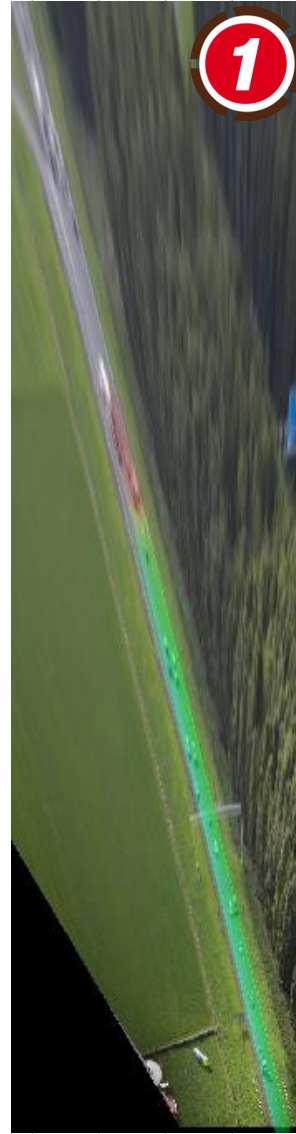


# Snelheid



## Gem snelheid

- De gemiddelde snelheid is over het algemeen laag
- Duidelijk is er een snelheidsverschil te zien voor (<40 km/u) en na (>70 km/h) de samenvoeging
- Het tijdwegdiagram laat duidelijk zien dat de samenvoeging de meeste tijd de oorzaak is van de vertraging



1

# Gem snelheid



100



2



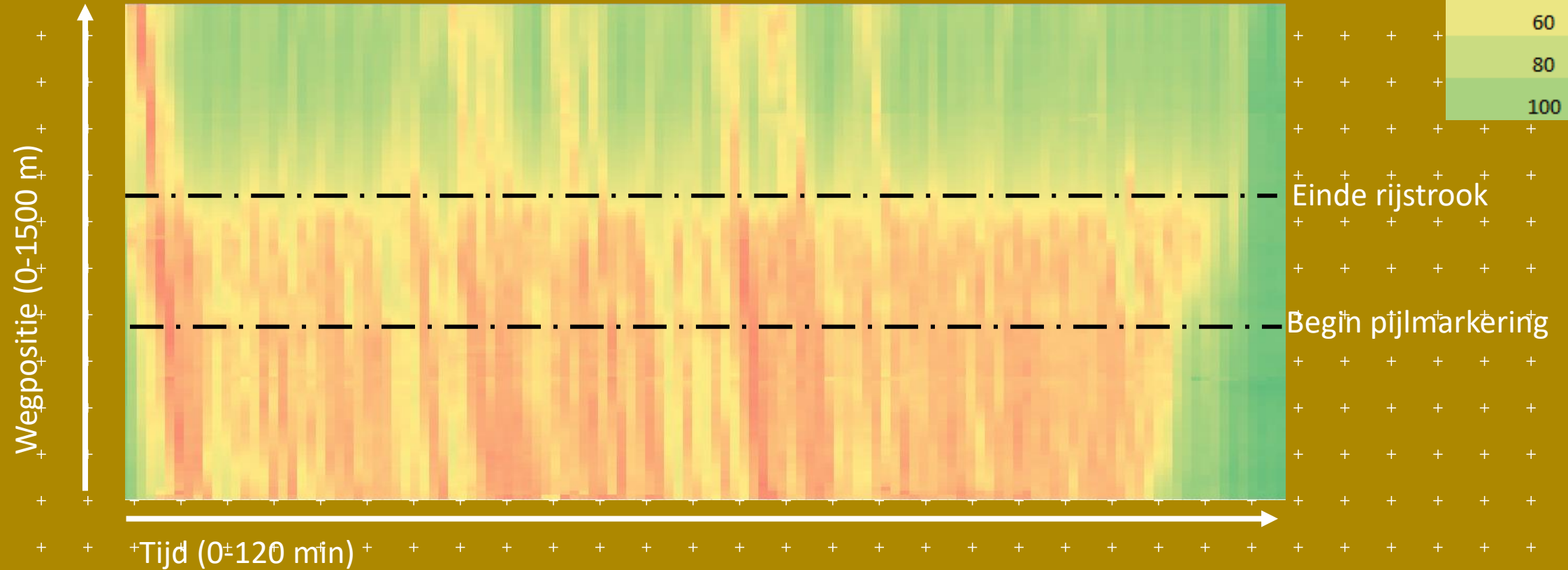
3



4



# Tijd-wegdiagram





# Verkeersonderzoek A58

Definitieve rapportage

# Onderzoeksmethodiek

A58 HRB Li hm 62,0 - 60,5

A 58

A 16

1

T.h.v. hm 61,5

2

Verdrijvingsvlak  
hm 61,0

3



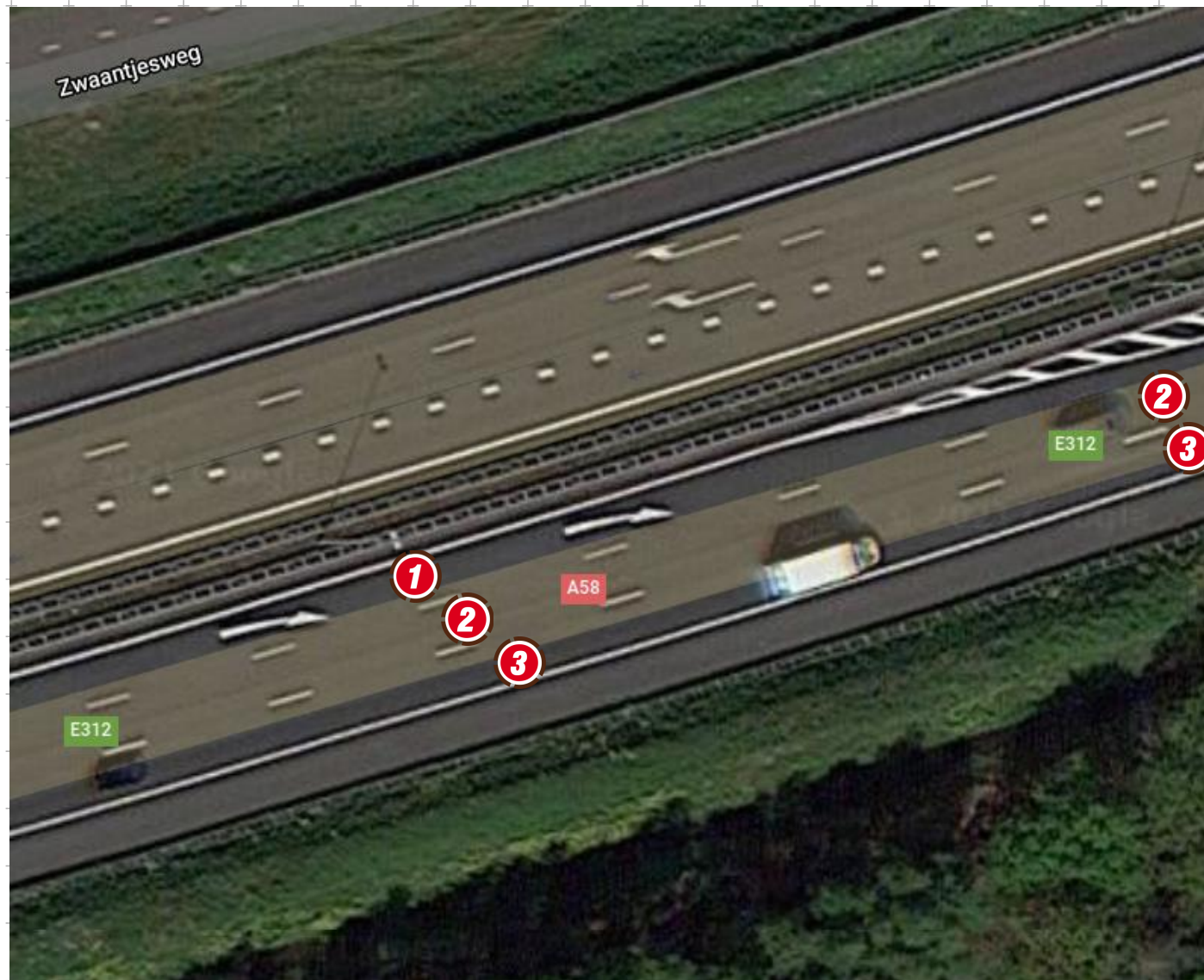




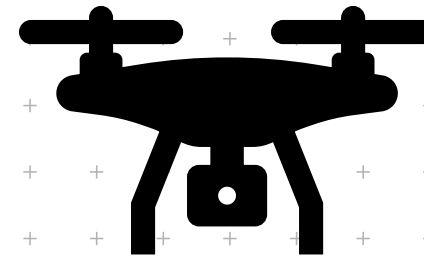


# Rijstrookindeling

- 1 Binnenste rijstrook (afvallende rijstrook)
- 2 Middelste rijstrook
- 3 Buitenste rijstrook



# Onderzoeksperiode

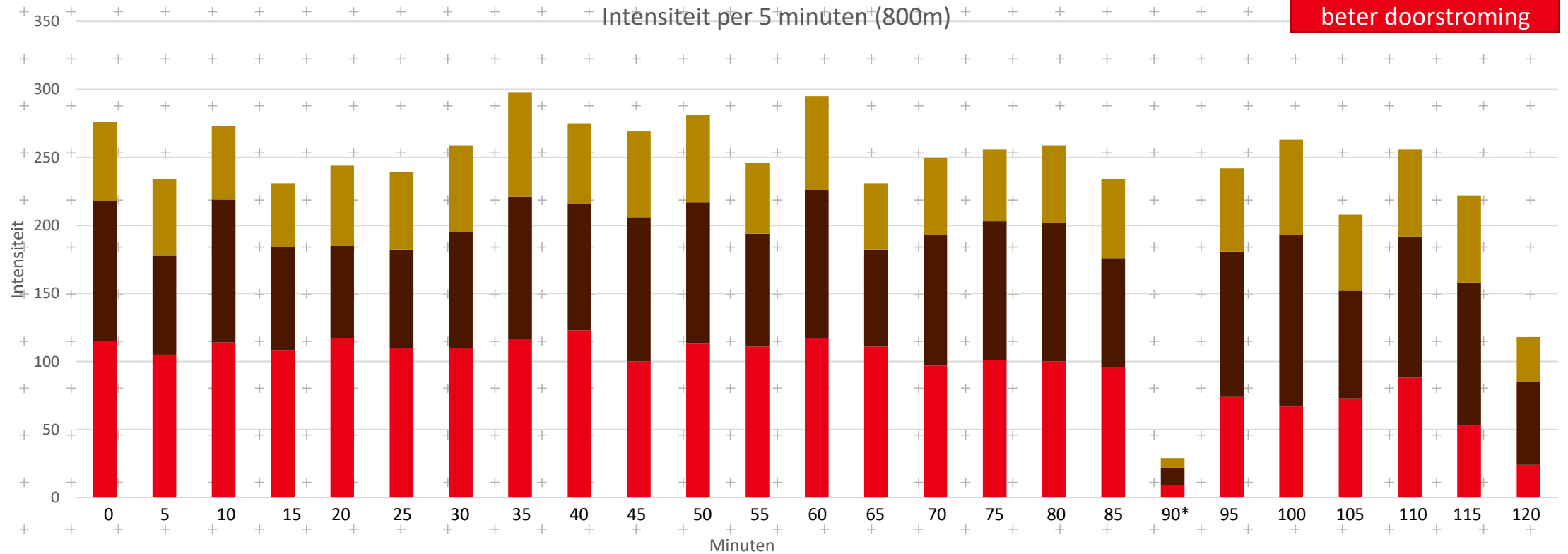


- Dinsdag 5 oktober 16:00 - 18:02
- Tijdens het onderzoek is 2 minuten gepauzeerd in verband met regen
  - De onderzoeksperiode is daarom met 2 minuten verlengd

# Intensiteit

# Intensiteit per rijstrook / tijd

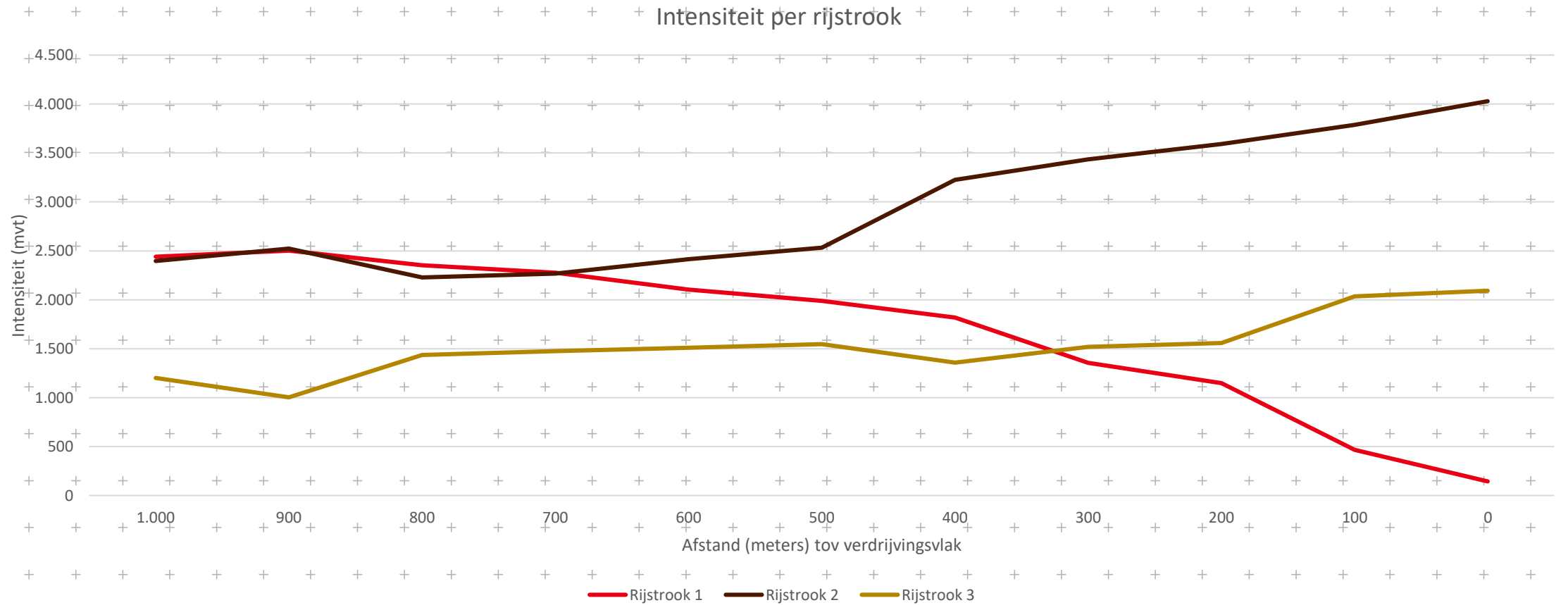
Intensiteit rijstrook 1 + 2 groter dan 3 i.v.m. beter doorstroming



\*i.v.m. neerslag geen volledige geregistreerd

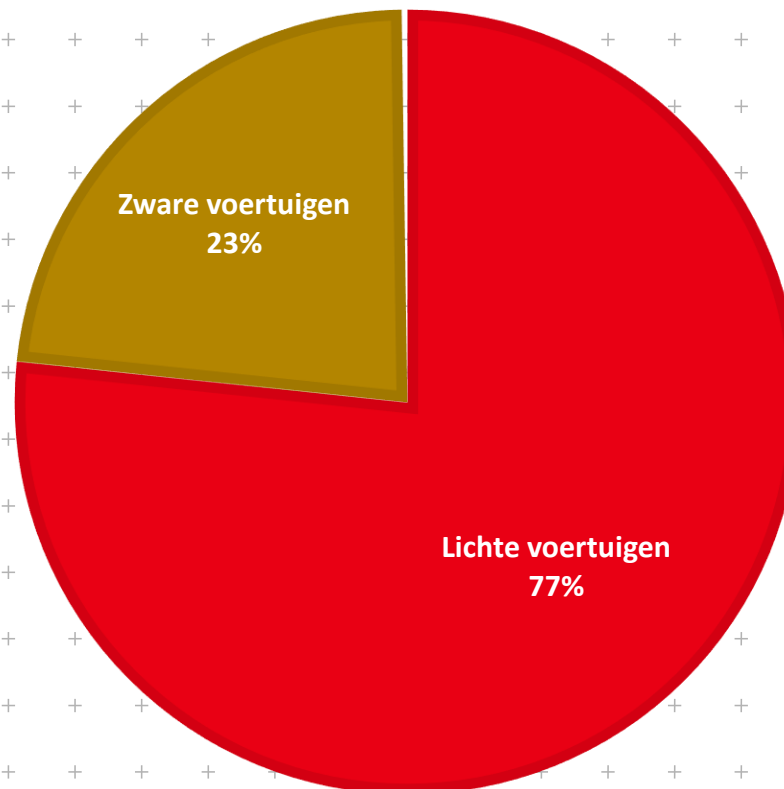
■ Rijstrook 1 ■ Rijstrook 2 ■ Rijstrook 3

# Intensiteit per rijstrook / per afstand (2u)



# Modal split

■ Lichte voertuigen ■ Zware voertuigen ■ Bussen ■ Motoren



Wel bussen / motoren geregistreerd echter aandeel te laag in het geheel voor een percentage > 0%

# Rijstrookwisselingen



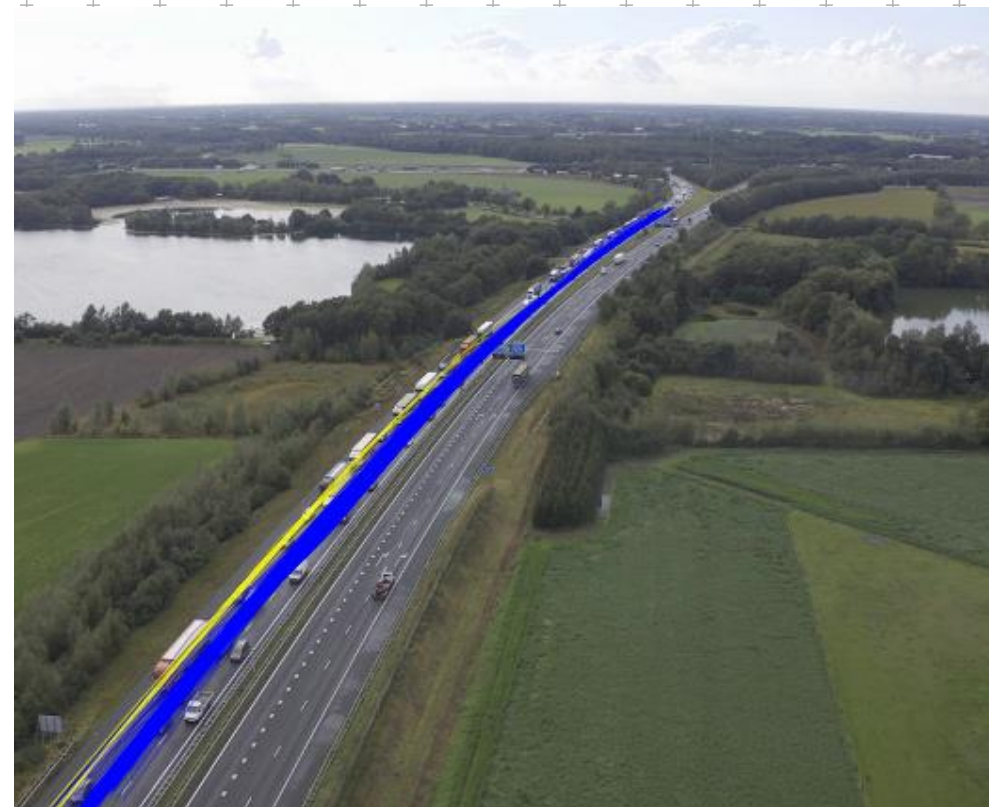
# Gebied 1

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer

— rijstrook 1 → rijstrook 2

— rijstrook 1 → rijstrook 3

- Slechts 3% van de mensen die in gebied 1 invoegen, weven door naar rijstrook 3. De overige 97% rijden op rijstrook 2



Afstand t.o.v.  
verdrivingsvlak

## Gebied 2

- Trajectories tonen aandeel invoegend verkeer

— rijstrook 1 → rijstrook 2

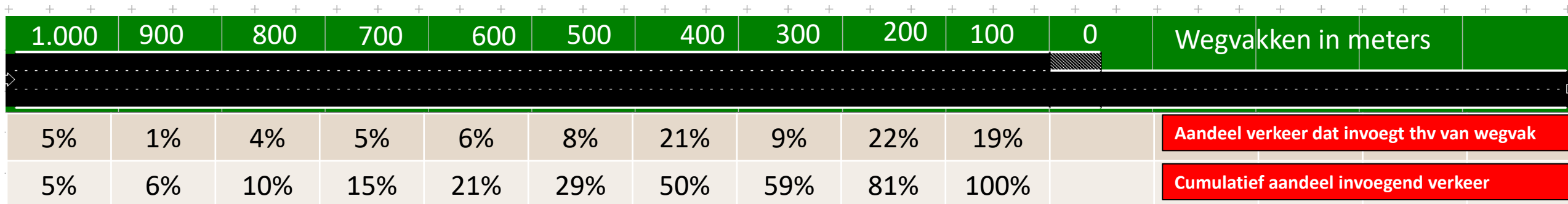
— rijstrook 1 → rijstrook 3

- In gebied 2 gaat 5% van rijstrook 1 naar rijstrook 3. De overige 95% van de invoegers rijdt op rijstrook 2.



Afstand t.o.v.  
verdrivingsvlak

# Rijstrookwisselingen rijstrook 1 → rijstrook 2 / 3

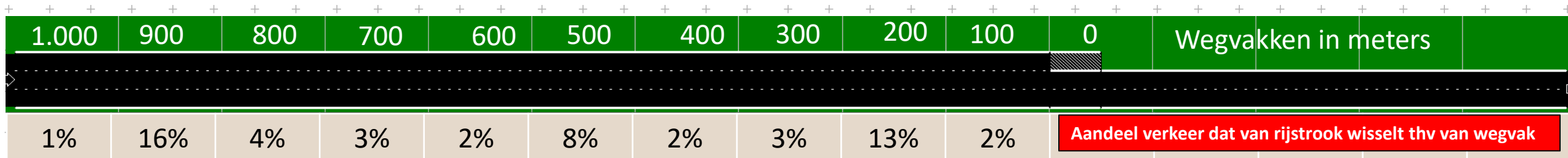


*“Aandeel verkeer dat wisselt van rijstrook 1 -> 2/3 is tov van totale intensiteit op 1.000m afstand”*



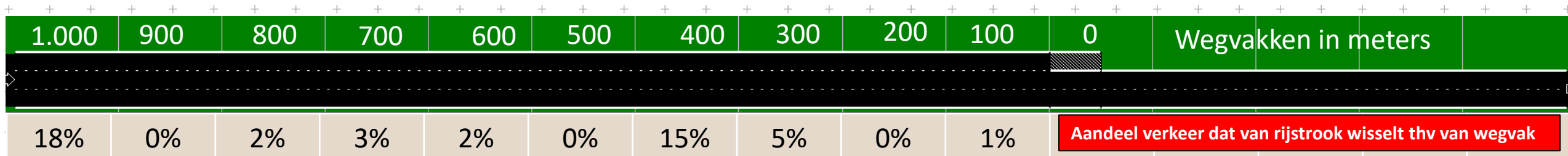
Klein aandeel verkeer dat daadwerkelijk over verdrijvingsvlak rijdt (zie volgende dia)

# Rijstrookwisselingen rijstrook 2 → rijstrook 3



*“Intensiteit verkeer varieert per wegvak door in- en uitvoegend verkeer. Aandeel verkeer dat van rijstrook 2 -> 3 wisselt tov intensiteit van betreffende wegvak rijstrook 2”*

# Rijstrookwisselingen rijstrook 3 → rijstrook 2



*“Intensiteit verkeer varieert per wegvak door in- en uitvoegend verkeer. Aandeel verkeer dat van rijstrook 3 -> 2 wisselt tov intensiteit van betreffende wegvak rijstrook 3”*

# Over verdrijvingsvlak

- 137 voertuigen voegen na begin verdrijvingsvlak nog in
- 8 voertuigen rijden volledige over grote lengte over het verdrijvingsvlak



# Verkeersveiligheid

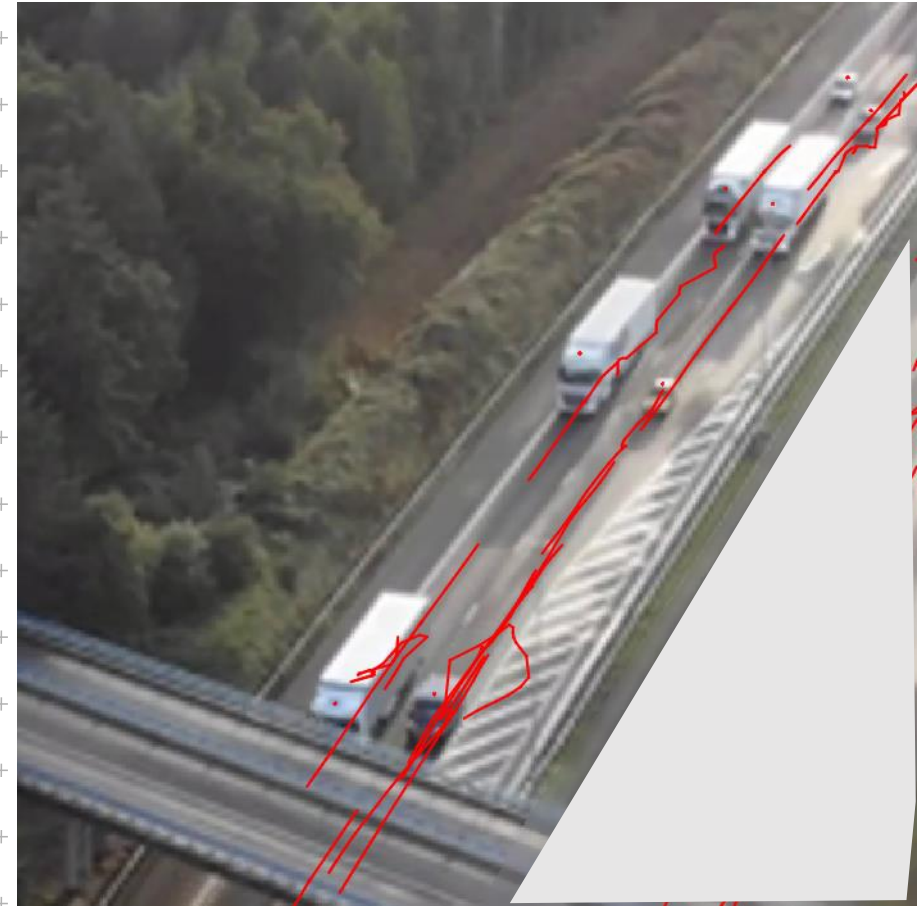
# Verkeersveiligheidsanalyse

- De vectoranalyse is in het diepte van het beeld minder betrouwbaar om gedetailleerde uitspraken te doen
- Rondom de samenvoeging is er perfect beeld en kunnen betrouwbare en gedetailleerde uitspraken worden gedaan
- PET-analyse levert geen bijzondere conflicten op (dit is in de basis ook meer bedoeld voor kruisend verkeer)
- De conflicten die naar voren komen uit de TTC-analyse komen sterk overeen met de aandachtspunten op het gebied van heavy breaking



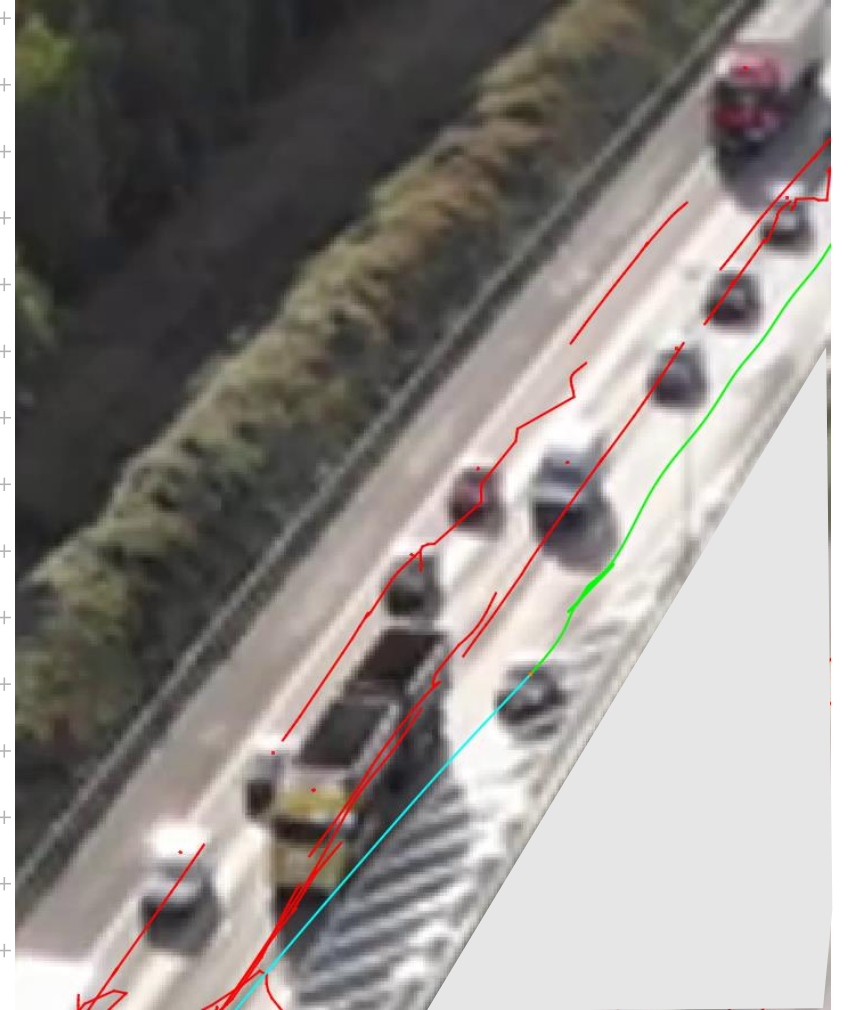
# Heavy breaking

- De momenten waar hard geremd wordt ( $> 2,0 \text{ m/s}^2$ ) vinden vooral plaats rond de samenvoeging. Deze momenten vinden met name plaats op het moment dat de snelheid op rijstrook 1 (voor de samenvoeging) hoog is en de snelheid ter plaatse van de samenvoeging snel daalt door een schokgolf



# Heavy breaking

- In het voorbeeld hiernaast is een voertuig te zien dat op rijstrook 1 aankomt en het verdrijvingsvlak nodig heeft om in te voegen (achter de vrachtwagen)



# Volgtijden

# Volgtijd 500m voor verdrijvingsvlak

Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3>	Totaal	Gem
Rijstrook 1	1%	9%	21%	18%	13%	8%	30%	100%	2,2 sec
Rijstrook 2	1%	15%	24%	21%	15%	8%	16%	100%	3,3 sec
Rijstrook 3	0%	5%	14%	17%	16%	12%	36%	100%	3,0 sec

# Volgtijd thv begin verdrijvingsvlak

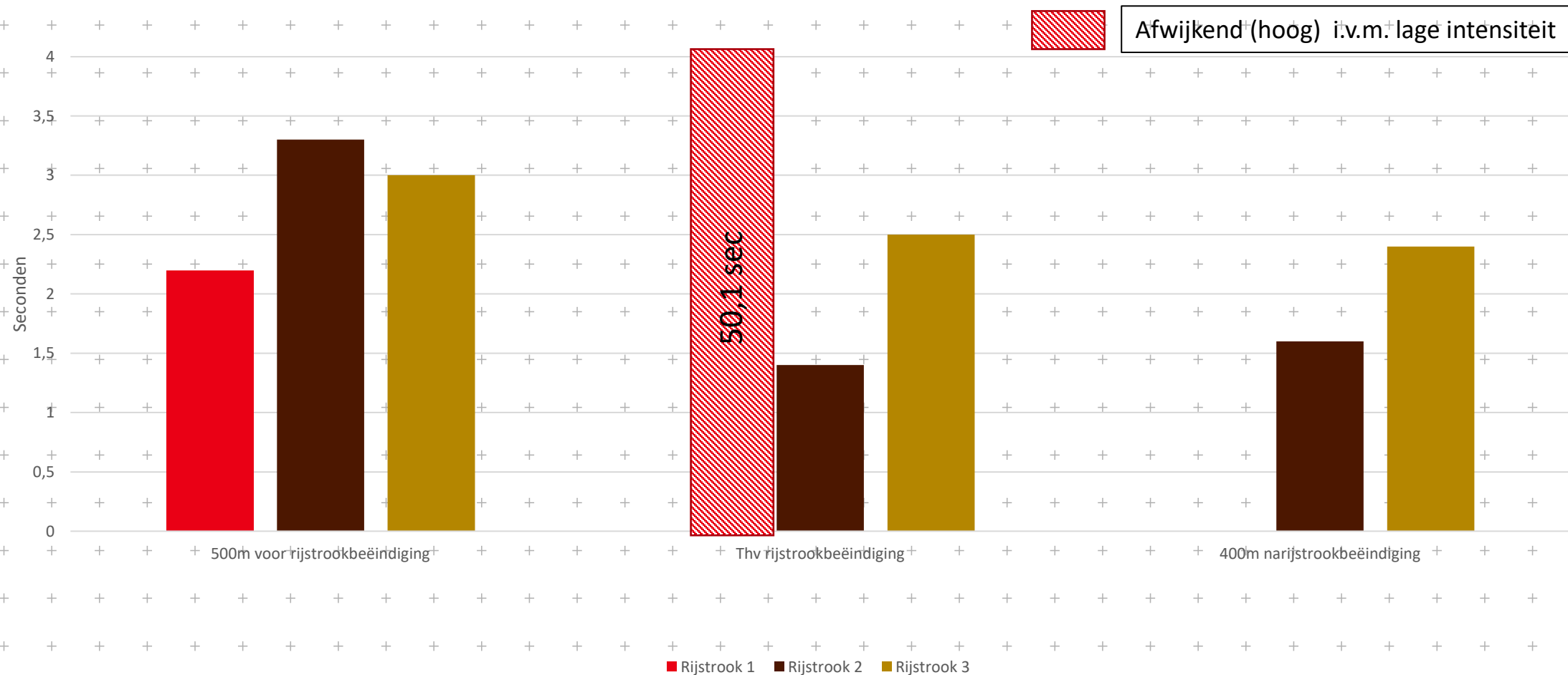
Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3>	Totaal	Gem
Rijstrook 1*	0%	2%	1%	2%	3%	4%	90%	100%	50,1 sec
Rijstrook 2	4%	30%	36%	17%	7%	3%	4%	100%	1,4 sec
Rijstrook 3	2%	11%	17%	16%	15%	11%	28%	100%	2,5 sec

\* Intensiteit verkeer laag i.v.m. invoegpunt

# Volgtijd 400m na verdrijvingsvlak

Volgtijd (s)	0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3>	Totaal	Gem
Rijstrook 1	-	-	-	-	-	-	-		-
Rijstrook 2	2%	25%	34%	19%	10%	4%	6%	100%	1,6 sec
Rijstrook 3	6%	15%	19%	15%	13%	9%	24%	100%	2,4 sec

# Gemiddelde volgtijd



# Snelheid

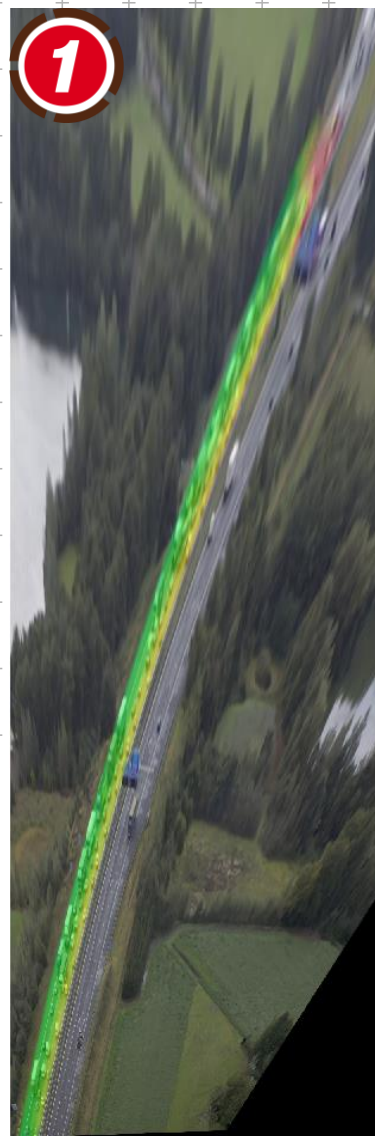
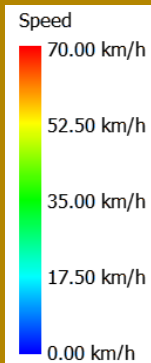


# Snelheid

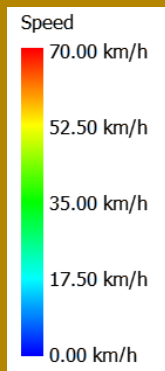
- Gemiddelde overall snelheid is 50 km/h
- Snelheid fluctueert sterk.
  - Op sommige meetlocaties wordt gemiddeld 120 km/h gereden (overigens van zeer beperkte duur)
  - Op sommige momenten is de gemiddelde snelheid op het hele traject slechts 30 km/h

# Gem snelheid

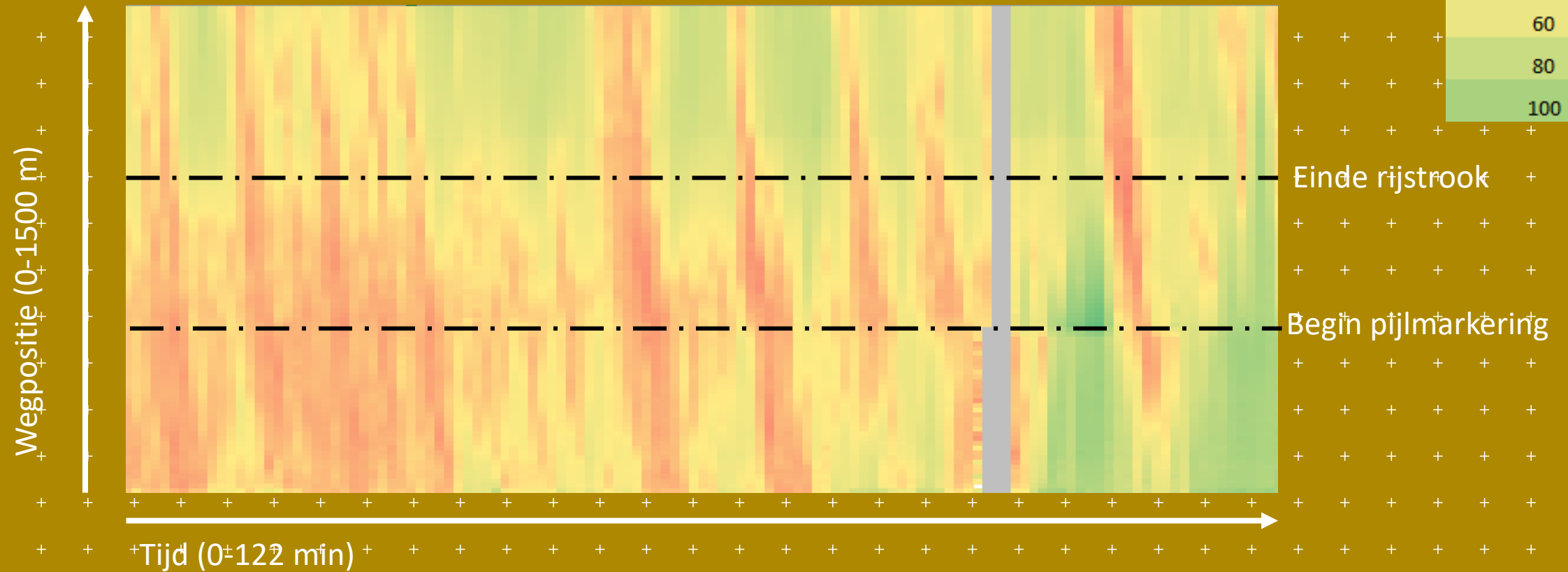
- Gemiddelde snelheid lager dan maximumtoegestane van 100 km/h
- Snelheid in gebied 3 hoger dan in gebied 1 en 2
- Snelheid rijstrook 1 en 2 aanzienlijk hoger dan op rijstrook 3



# Gem snelheid



# Tijd-wegdiagram



Legenda (km/h)

0

20

40

60

80

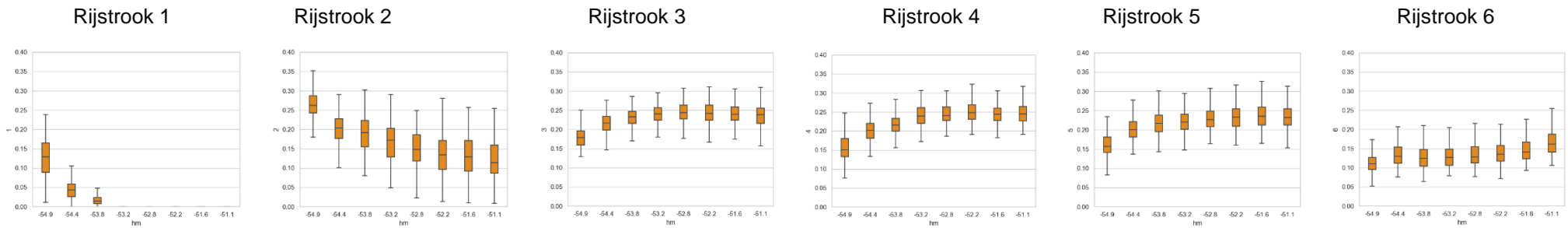
100

\*i.v.m. neerslag is er 2 minuten niet geregistreerd

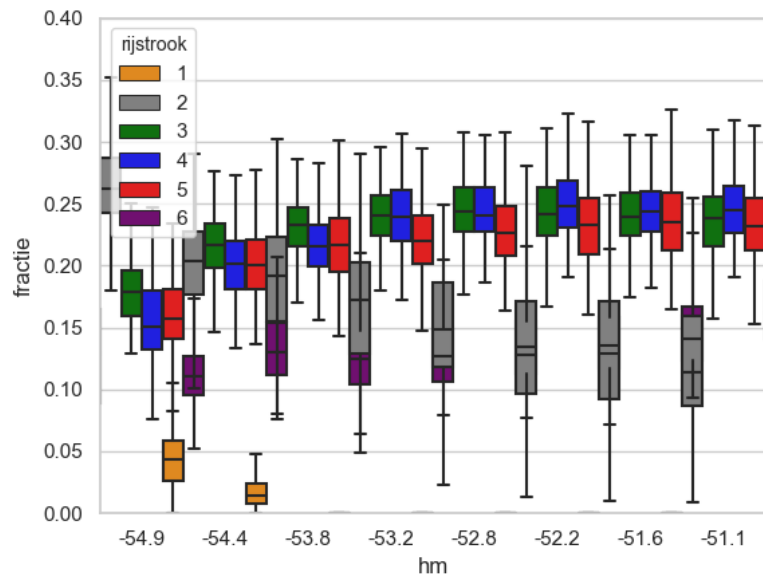
Bijlage 2 Aandeel verkeer per rijstrook

Gegevens meetlussen A2 Links hm 54,9 – hm 51,1

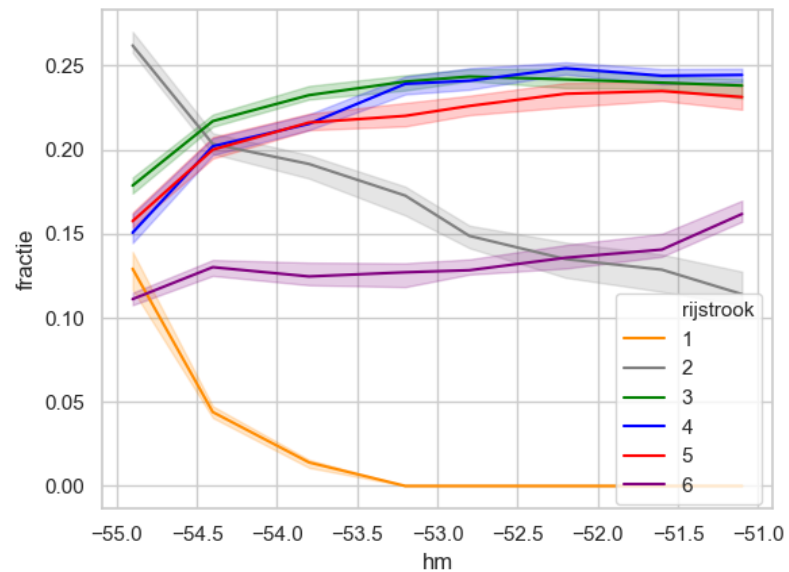
Aandeel verkeer per rijstrook in periode A2: 5-10-2021 van 7:00u tot 10:00u



Verdeling verkeer alle rijstroken (boxplot)

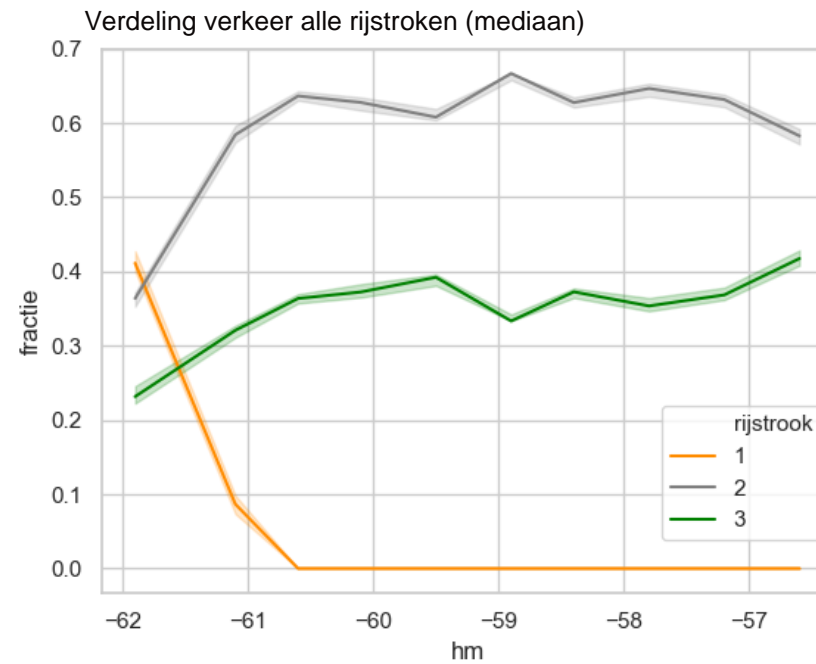
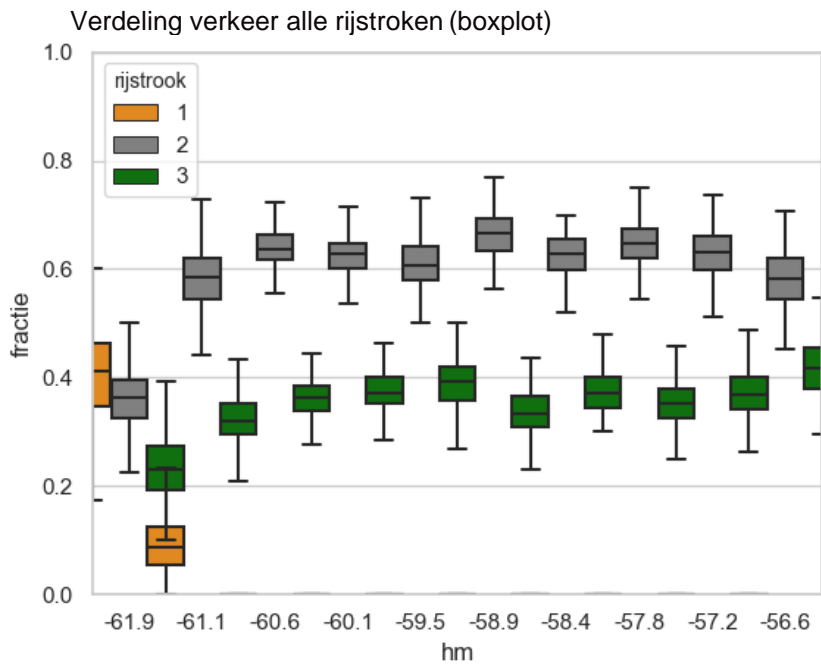
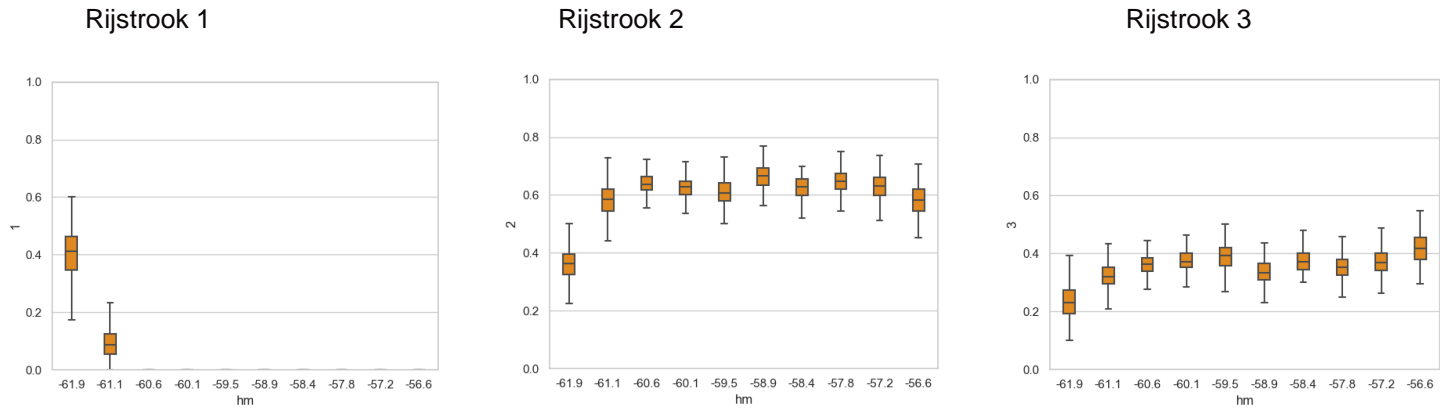


Verdeling verkeer alle rijstroken (mediaan)



## Gegevens meetlussen A58 Links hm 62,6 – hm 56,6

Aandeel verkeer per rijstrook in periode A58: 5-10-2021 van 15:30u tot 18:30u





## Colofon

TURBULENTIE BIJ RIJSTROOKBEËINDIGINGEN  
INTERACTIE TUSSEN VOERTUIGEN BIJ RIJSTROOKBEËINDIGINGEN LINKS

**KLANT**

Rijkswaterstaat

**AUTEUR**

Hessel de Jong

**PROJECTNUMMER**

I2104 040

**ONZE REFERENTIE**

D10054821:21Colofon22

**DATUM**

20 juni 2022

**STATUS**

Definitief



## Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

### **Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 264  
6800 AG Arnhem  
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

**Arcadis.** Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.linkedin.com/company/arcadis-nederland)



[arcadis\\_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)