

# **Filegolven**

## **lopende golven van fileverkeer op snelwegen**

*Beschrijving van het verschijnsel en voorstel voor  
een remedie*

Project, uitgevoerd in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Maart 2008



## **Inhoudsopgave**

---

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Hoofdstuk 1 | Inleiding .....   | 1  |
| Hoofdstuk 2 | Drie verschijningsvormen van file .....   | 2  |
| Hoofdstuk 3 | Hoe algemeen is het verschijnsel "filegolven"? .....                                  | 7  |
| 3.1         | Een steekproef van veldwaarnemingen .....   | 7  |
| 3.2         | Bevindingen uit de diagrammen .....   | 15 |
| Hoofdstuk 4 | Eigenschappen van filegolven.....   | 16 |
| 4.1         | Conclusies uit eerder onderzoek .....   | 16 |
| 4.2         | Een aantal kwantitatieve kenmerken van filegolven nader bekeken.....                  | 16 |
| 4.3         | Relatie tussen $v_{vu}$ in een filegolf en de overbrugde afstand van de filegolf..... | 18 |
| 4.4         | Door filegolven veroorzaakte voertuigverliesuren.....                                 | 19 |
| Hoofdstuk 5 | Mogelijke maatregel om het verschijnsel in te dammen.....                             | 22 |
| 5.1         | Redenen om het optreden van filegolven te bestrijden .....                            | 22 |
| 5.2         | Golfbrekers.....  | 22 |
| 5.3         | Benodigde grootte van een golfbreker .....  | 24 |
| 5.4         | De golfbreker in de praktijk .....  | 25 |
| 5.5         | Overige overwegingen .....  | 27 |
| 5.6         | Mogelijke locaties .....  | 28 |
| 5.7         | Behaalbare winst.....   | 29 |
| Hoofdstuk 6 | Conclusies .....  | 30 |

## **Hoofdstuk 1    Inleiding**

---

Dit rapport gaat in op een verschijnsel dat zich, nu veel van onze snelwegen gedurende grote delen van de dag dicht tegen de capaciteit functioneren, steeds vaker en steeds langer voordoet. Het zijn lopende golven van stilstaand of bijna stilstaand verkeer die zich tegen het verkeer in langs de weg bewegen. We noemen ze hier filegolven. Als file stelt het - qua kilometers lengte - weinig voor, maar als verschijnsel is het een hardnekkig leven beschoren. Verstoringen zijn waargenomen die bijvoorbeeld beginnen bij Arnhem en drie uur later Utrecht passeren. Al die tijd is de file niet groter dan een of twee kilometer geweest. Al die tijd vormt het een gevaar voor kopstaart-ongevallen, al die tijd bestaat de kans dat de verstoring een andere filegevoelige locatie bereikt en daar een nieuwe file initieert.

Tradem deze filegolven tien jaar geleden nog slechts op enkele trajecten op en was vijftien kilometer overbruggen al veel, nu zijn afstanden van vijftig kilometer geen uitzondering en het verschijnsel is dagelijks te vinden op haast alle doorgaande wegen van het land.

Dit rapport beschrijft het verschijnsel, gaat in op de condities waaronder het kan optreden en doet een suggestie om het te onderdrukken.

Concreet dient er antwoord te worden gegeven op de volgende vragen:

1. Zijn er (vaste) plaatsen in het autosnelwegennet waar regelmatig filegolven ontstaan? Zo ja, welke plekken zijn dat?
2. Hoe vaak treden deze filegolven op?
3. Hoe lang duren de filegolven, in tijd en in afstand?
4. Wat zijn de condities waaronder filegolven ontstaan en kunnen blijven bestaan?
5. Wat is de schade, gemeten in voertuigverliesuren, veroorzaakt door deze filegolven?
6. Met welke maatregel(en) is een filegolf te doven of te onderbreken?
7. Zijn er nadelen verbonden aan die maatregelen in termen van verkeersveiligheid of verkeersafwikkeling?

De opbouw van het rapport is als volgt. Hoofdstuk 2 is inleidend van aard en geeft de lezer die algemene kennis over het verschijnsel "file", nodig om het fenomeen van lopende filegolven zoals deze worden waargenomen op de Nederlandse autosnelwegen, besproken in hoofdstuk 3, te kunnen plaatsen en begrijpen. Hoofdstuk 4 gaat in op het mechanisme en de eigenschappen van de filegolf. Hoofdstuk 5 introduceert een maatregel om de filegolf te bestrijden, de "golfbreker". Hoofdstuk 6 tenslotte vat de conclusies samen.

## Hoofdstuk 2 Drie verschijningsvormen van file

---

File ontstaat zodra ergens een weg het verkeer dat zich aandient niet direct - waarbij 'direct' letterlijk wordt bedoeld, dus in de betekenis van "op datzelfde moment", verwerken kan. Onverwerkt verkeer moet ergens blijven en verdicht zich tot file. Er zijn op snelwegen drie basisvormen waarin het verschijnsel file zich voordoet:

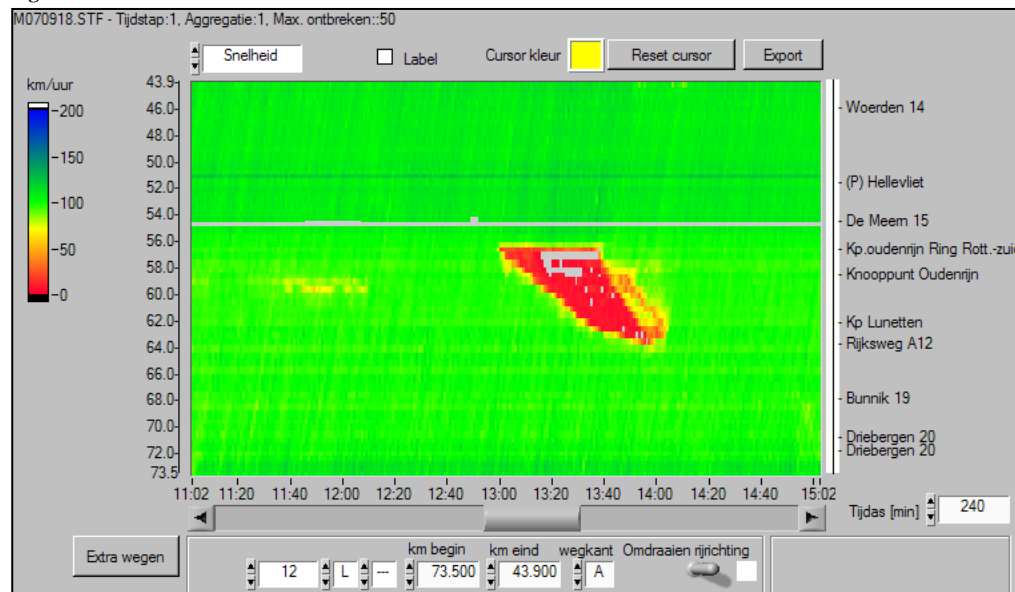
- de blok- of incidentfile
- de structurele file
- de lopende filegolf.

Alvorens op de laatste variant dieper in te gaan worden in het kort alle drie de vormen besproken en met een voorbeeld verduidelijkt. Alle voorbeelden in dit rapport zijn overigens genomen uit de praktijk en zijn dus daadwerkelijk ergens opgetreden. In dit hoofdstuk zijn de drie voorbeelden zo gekozen dat ze model kunnen staan voor het besproken type.. Steeds worden de praktijkvoorbeelden weergegeven door middel van een tijd-wegdiagram waarin de snelheid van het verkeer naar tijd en weg is uitgebeeld. De verkeerssnelheid is gemeten met de lussen van de signaleringssystemen. Uit deze gegevens kan ook de verkeersintensiteit worden afgeleid. We gaan nu over op de bespreking van de drie typen file.

### A. *De blok- of incidentfile*

De eenvoudigste vorm van file doet zich voor als de capaciteit van de weg wegvalt, bijvoorbeeld doordat een brug opengaat, een incident optreedt, een slagboom wordt neergelaten. Het verkeer kan niet verder en aankomend verkeer sluit aan in een rij. Terwijl de rij van achteren aangroeit komt, nadat de stremming voorbij is, van voren het verkeer weer op gang, de voorste auto's eerst en dan verder. Na enige tijd haalt het oplossen aan de voorkant het aangroeien aan de achterkant in en is de file weg. Deze file is in alle opzichten vergelijkbaar met de rij voor een stoplicht, maar dan op de autosnelweg. In het tijd-wegdiagram heeft de file de vorm van een stompe driehoek op zijn kant. Deze file is niet wezenlijk anders als de weg niet volledig, maar gedeeltelijk wordt geblokkeerd, zoals bijvoorbeeld optreedt als bij een incident nog een rijstrook toegankelijk blijft.

**Figuur 2.1** Voorbeeld van een blok- of incidentfile



*Toelichting op het tijd-wegdiagram:*

Van een tweedimensionaal grondvlak wordt de y-as gevormd door de weg, de rijrichting van onder naar boven, en de x-as door de tijd. Een denkbeeldige z-as staat loodrecht op het grondvlak, de as waarlangs de meetgrootte wordt weergegeven. De weergegeven grootte is de verkeerssnelheid. De waarde wordt door middel van een kleurkode uitgebeeld, zie voor de kleurschaal de legenda links van de y-as.

In het voorbeeld is overwegend sprake van vrije verkeersafwikkeling, het groene gebied. De schuine rimpelingen in het groen komen door toevallig wat harder of zachter rijdende groepjes verkeer die hun snelheid al rijdende met zich meevoeren. Verkeer dat langs de onderrand het diagram binnentreedt, rijdt er 30 km verder en een ruim kwartier later langs de bovenkant weer uit.

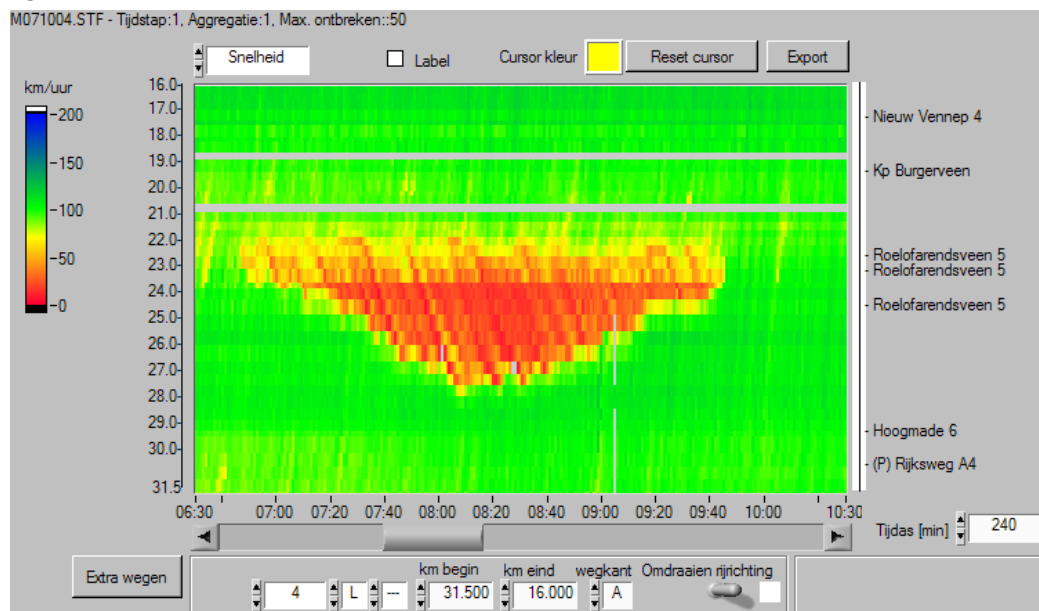
Om 13:00 uur treedt een incident op na Kp.Oudenrijn, leidend tot een blokfile. De (gedeeltelijke) stremming duurt van 13:00 tot 13:40 uur. Het oplossen van de file duurt van 13:40 tot 14:00 uur.

*B. De structurele file*

De meest gebruikelijke vorm van file is de file, veroorzaakt door een structureel knelpunt. Een weg wordt geleidelijk aan drukker en op een bepaald punt komt als eerste het moment waar de weg het aankomende verkeer niet meer direct verwerken kan. Het surplus bouwt vanaf dat moment file op en aankomend verkeer sluit daarbij aan. In het geval van de structurele file, en dit is het verschil met de blokfile, blijft echter de capaciteit van de weg intact. Er ontstaat dus wel file, maar het verkeer, ook in de file, blijft doorstromen. In de praktijk blijkt meestal dat de doorstroming aan de kopkant van de file nog regelmatig verloopt (het knelpunt laat een constante stroom door), maar verder stroomopwaarts de

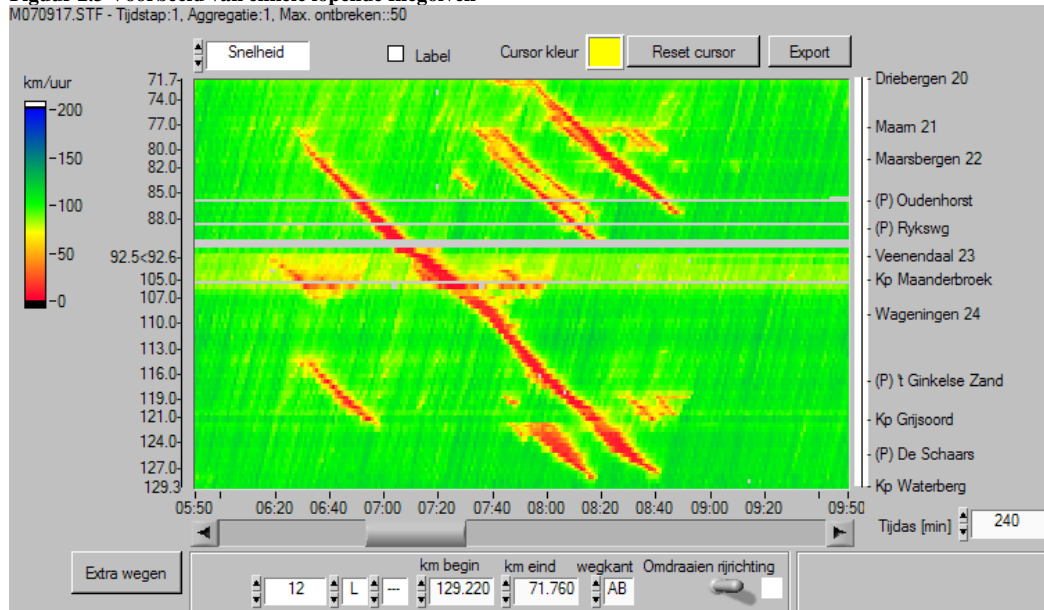
doorstroming in de file in een onregelmatig stop-and-go patroon verandert. Mettertijd raakt de spits op zijn retour en lost de file weer geleidelijk op. In het tijd-wegdiagram manifesteert deze file zich in de vorm van een omgekeerde berg.

**Figuur 2.2** Voorbeeld van een structurele file



### C. De lopende filegolf

De derde vorm van file is de lopende golf van stilstaand of langzaam rijdend verkeer. Op deze vorm wordt in dit rapport dieper ingegaan. De golf ontstaat als volgt: ergens langs de weg ontstaat een verstoring. Dit kan spontaan zijn, maar ook een kortdurend incident, een brugopening, een plotselinge stortbui of wat dan ook. De verstoring creëert een aantal langzaam rijdende of stilstaande auto's. Zodra de verstoring voorbij is gaat het verkeer vooraan weer rijden. Terwijl de voorste auto's wegrijden sluiten zich achteraan voertuigen aan. Als de weg nu zo druk is dat er precies evenveel auto's aan de achterkant bijkomen als er vooraan wegrijden, dan zal de groep langzaam rijdende/stilstaande auto's doorlopend verversen maar niet verdwijnen. Dit fenomeen leidt tot een lopende filegolf: steeds nieuwe voertuigen voorkomen het oplossen van de kluit langzaam rijdende voertuigen. De kluit blijft bestaan en beweegt zich, omdat hij van achteren aangroeit en van voren oplost, tegen het verkeer in langs de weg. In het geval dat er meer verkeer aankomt dan afrijdt groeit de file uit en wordt al lopende groter, is het minder dan lost hij al lopende op. Deze file ziet er in het tijd-wegdiagram uit als een diagonale band, altijd lopend van linksboven naar rechtsonder, en altijd onder dezelfde helling. Dit laatste omdat het afrijden uit file een proces is dat overal en altijd hetzelfde verloopt.

**Figuur 2.3** Voorbeeld van enkele lopende filegolven

### *Drie verschijningsvormen, één proces:*

Voor alle duidelijkheid zij opgemerkt dat het verkeersproces dat de beschreven verschijningsvormen van file veroorzaakt, steeds hetzelfde is. Dit is eenvoudig het proces van aan de ene kant afremmen voor langzaam rijdend verkeer en aansluiten, aan de andere kant weggrijden zodra de voorliggers zijn weggereden. Het zijn de uitwendige condities waarbinnen het proces zich afspeelt die bepalen welke van de drie verschijningsvormen zal optreden.

We gaan nu op deze verschillen in condities verder in.

- de blok- of incidentfile:
  - de doorstroming wordt tijdelijk onderbroken, binnen de file zakt de I/C-verhouding sterk terug (zeg pakweg tot onder 0,5).
    - Toelichting op I/C-verhouding: onder de I/C-verhouding verstaat men de verhouding tussen intensiteit en capaciteit. In file kan deze sterk variëren in het geval van stop-and-go verkeer, en dan wordt hier de I/C-verhouding bedoeld, *gemeten over een aantal stop-and-go golven heen* (in het midden van een stop-golf is de intensiteit natuurlijk 0).
- de structurele file:
  - de doorstroming wordt geconditioneerd door het knelpunt (het wegvak bij de kop van de file) en de I/C-verhouding in het knelpunt bedraagt 1. In de file hangt de I/C-verhouding af van de wegconfiguratie. Is bijvoorbeeld sprake van een wegversmalling van drie naar 2 rijstroken, dan zal de verhouding circa 2/3e zijn, is sprake van een laatste oprit voor knelpunt met intensiteit 1000 vtg/u bij een



knelpuntcapaciteit van 6000 vtg/u, dan wordt de I/C-verhouding stroomopwaarts van de oprit 5/6e. In de praktijk ligt de verhouding doorgaans tussen de 0,5 en 0,9. Bij een hoge I/C-verhouding begint de file te lijken op een voortdurende reeks lopende filegolven, bij een lage I/C-verhouding op een blokfile;

- de lopende filegolf:  
de golf kan alleen blijven bestaan als er minstens evenveel verkeer aankomt als er uit de golf weggrijdt. Het laatste, zo blijkt, bedraagt ongeveer 75% van de capaciteit<sup>1</sup>. De voorwaarde waaronder lopende golven kunnen bestaan is derhalve dat de I/C-verhouding ligt tussen 0,75 en 1.

De drie archetypen waarop filevorming zich manifesteert op autosnelwegen zijn nu beschreven. In het volgende hoofdstuk zal worden ingegaan op het derde type: nagegaan wordt hoe algemeen het verschijnsel van lopende filegolven nu eigenlijk is, hoe groot deze files worden, hoe lang ze blijven bestaan, of ze nieuwe verstoringen of incidenten veroorzaken enzovoorts. Dit aan de hand van lange stukken weg die met signalering zijn uitgerust zodat uit de meetgegevens tijd-wegdiagrammen opgebouwd kunnen worden waarin het complete verloop van de files gevolgd kan worden. Het zal dan blijken dat er allerhande files en effecten tegelijk optreden en door elkaar lopen. Dat het daardoor ook lang niet altijd even duidelijk is tot welk type een file nu eigenlijk behoort. Het hiervoor besprokene zal de lezer echter helpen de verschijnselen te herkennen en hun samenhang te zien.

---

<sup>1</sup> Bron: Onderzoek "Verplaatsingssnelheid van schokgolven", J.W. van Kruisbergen, Transpute/NHTV, 2001

## Hoofdstuk 3 Hoe algemeen is het verschijnsel "filegolven"?

---

### 3.1 Een steekproef van veldwaarnemingen

In deze paragraaf worden tijd-wegdiagrammen gepresenteerd van lange stukken weg over een tijdspanne van 24 uur. Aan de hand daarvan zullen conclusies getrokken worden over de vakken waarop filegolven (kunnen) optreden en wat er verder nog valt te zien.

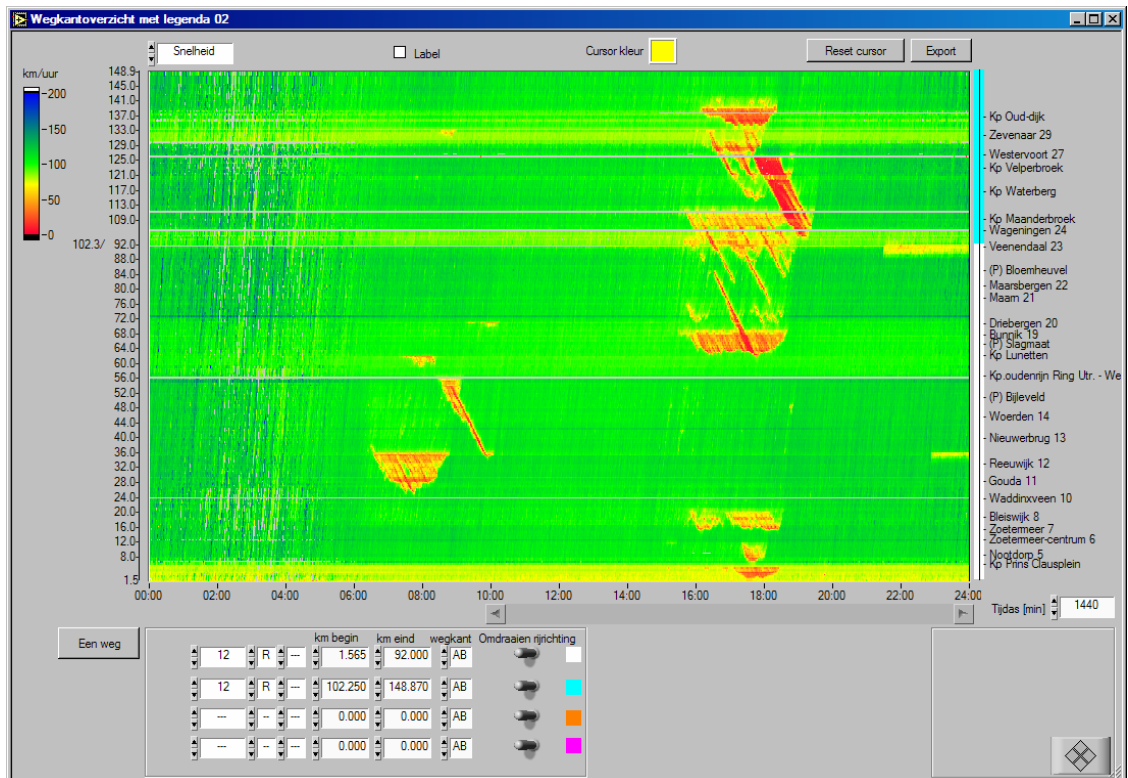
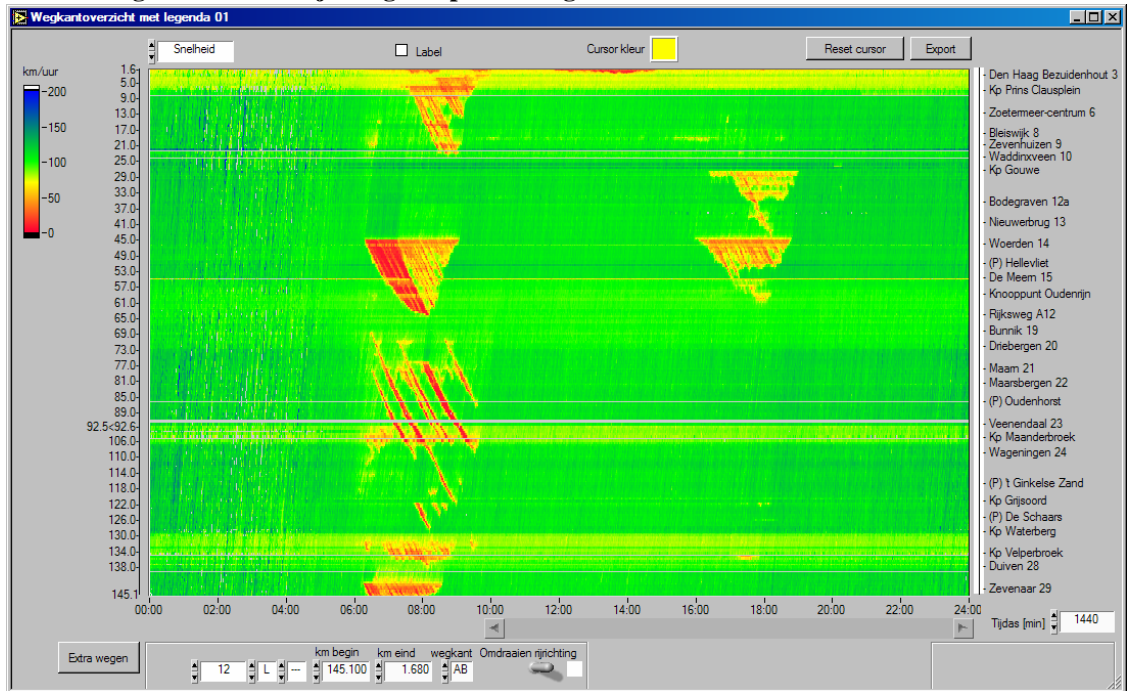
De volgende pagina's tonen de tijdwegdiagrammen van steeds een weg in beide rijrichtingen. Het zijn:

- A12 op maandag 1, dinsdag 2 en woensdag 3 oktober 2007
- A1 op donderdag 27 en vrijdag 28 september 2007
- A15 op vrijdag 28 september 2007
- A27 op donderdag 27 september 2007

De selectie is willekeurig, het doel is het bredere beeld te schetsen van de filepatronen die optreden. Wat men in deze beelden nog mist zijn de netwerk-verknoppingen. Files op de beschouwde weg kunnen soms de terugslag zijn van een file op een andere weg, een file die in het diagram lijkt te stoppen kan soms doorlopen op een andere weg. Afgezien daarvan is het beeld compleet en werkt het bestuderen van een aantal cases verhelderend. De structurele files, de incidentfiles en de lopende filegolven zijn goed te onderscheiden en mengvormen zijn eveneens ruim vertegenwoordigd.

Per pagina wordt een kleine samenvatting gegeven van de lopende filegolven die op de diagrammen te zien zijn. In § 3.2 worden de bevindingen samengevat.

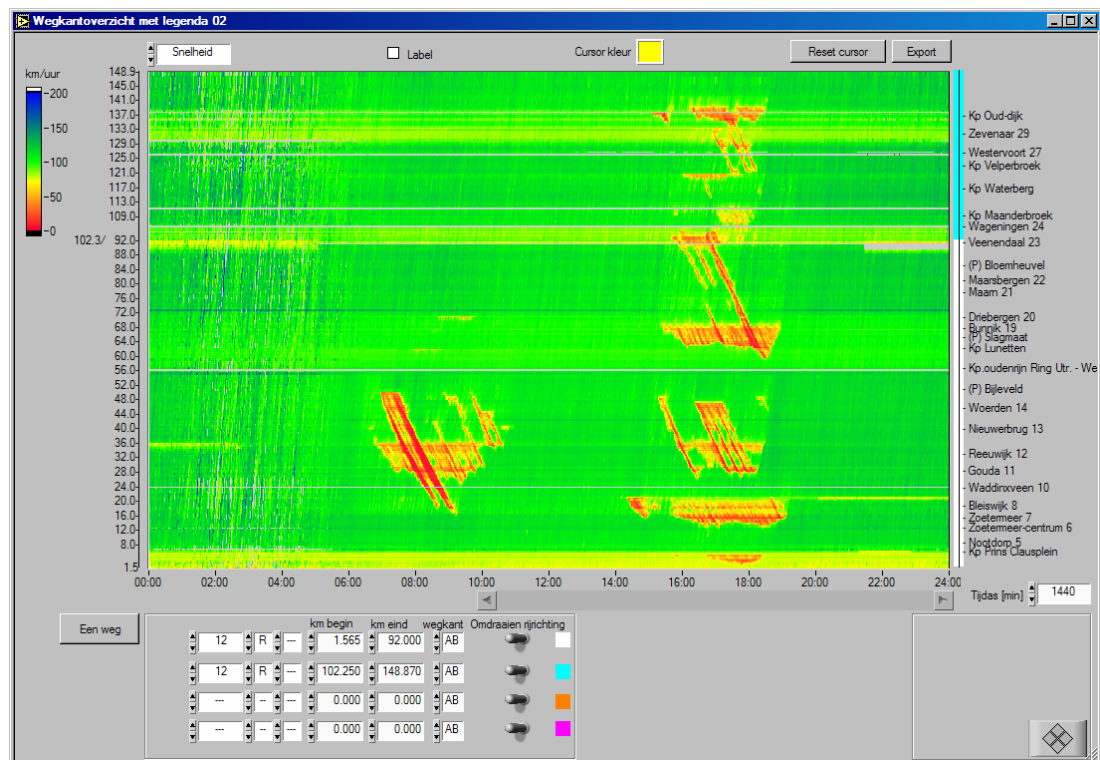
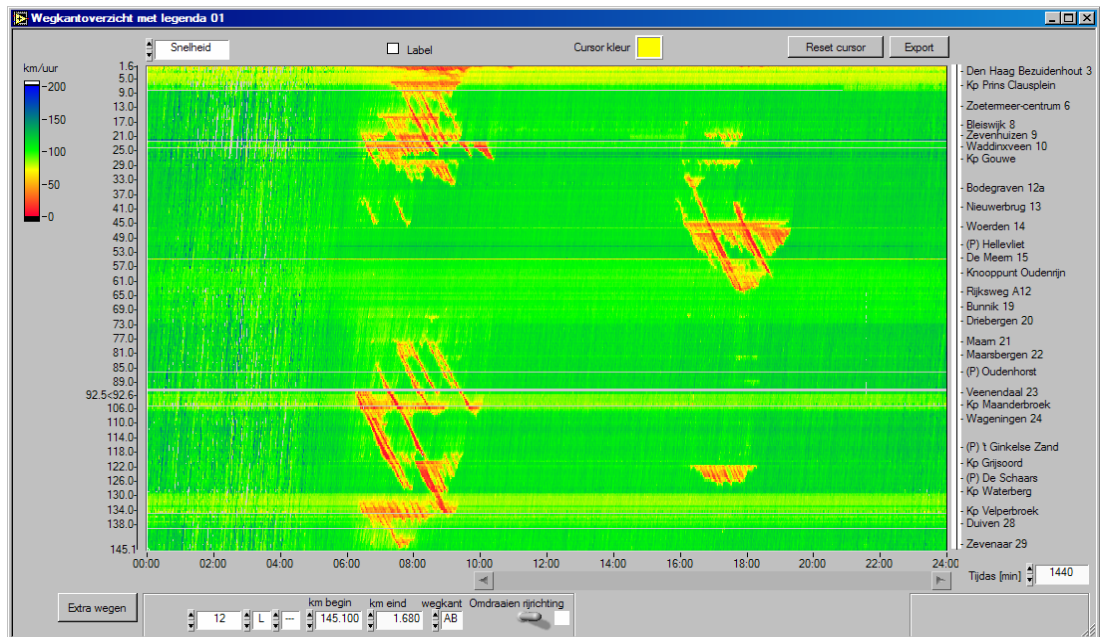
**Figuur 3.1 Rijksweg 12 op maandag 1 oktober 2007**



**Bespreking:**

Lopende filegolven op veel trajectdelen van de A12 gedurende ochtend- en avondspits. Eén incident vermoedelijk door filegolf veroorzaakt (A12R bij Westervoort, 18:00u)

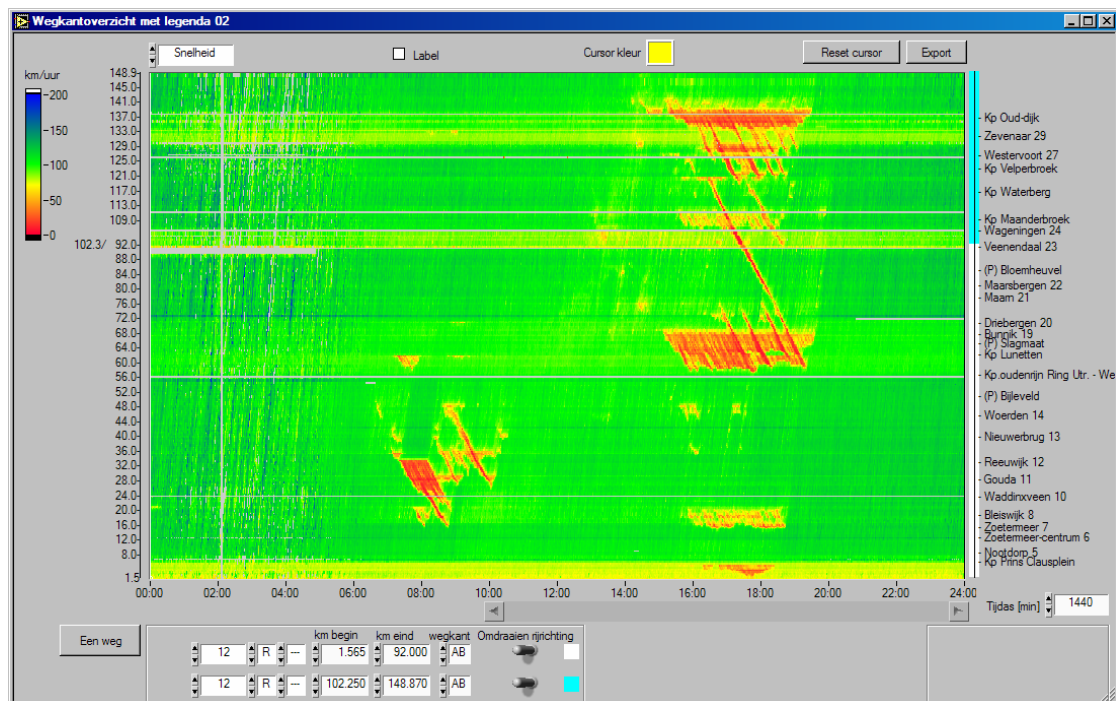
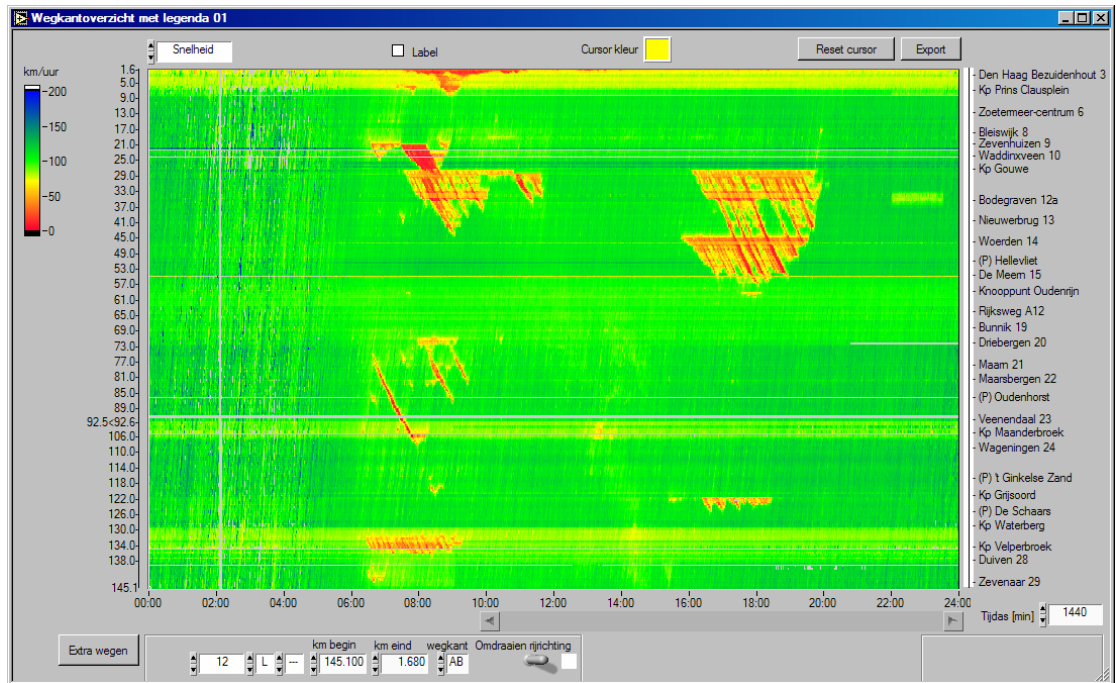
**Figuur 3.2** Rijksweg 12 op dinsdag 2 oktober 2007



**Bespreking:**

Lopende filegolven op veel trajectdelen A12 gedurende ochtend- en avondspits. Sommige als uitloper van structurele file. Golven met meer massa blijken incidentfile als initiator te hebben (A12R bij Bijleveld).

**Figuur 3.3** Rijksweg 12 op woensdag 3 oktober 2007



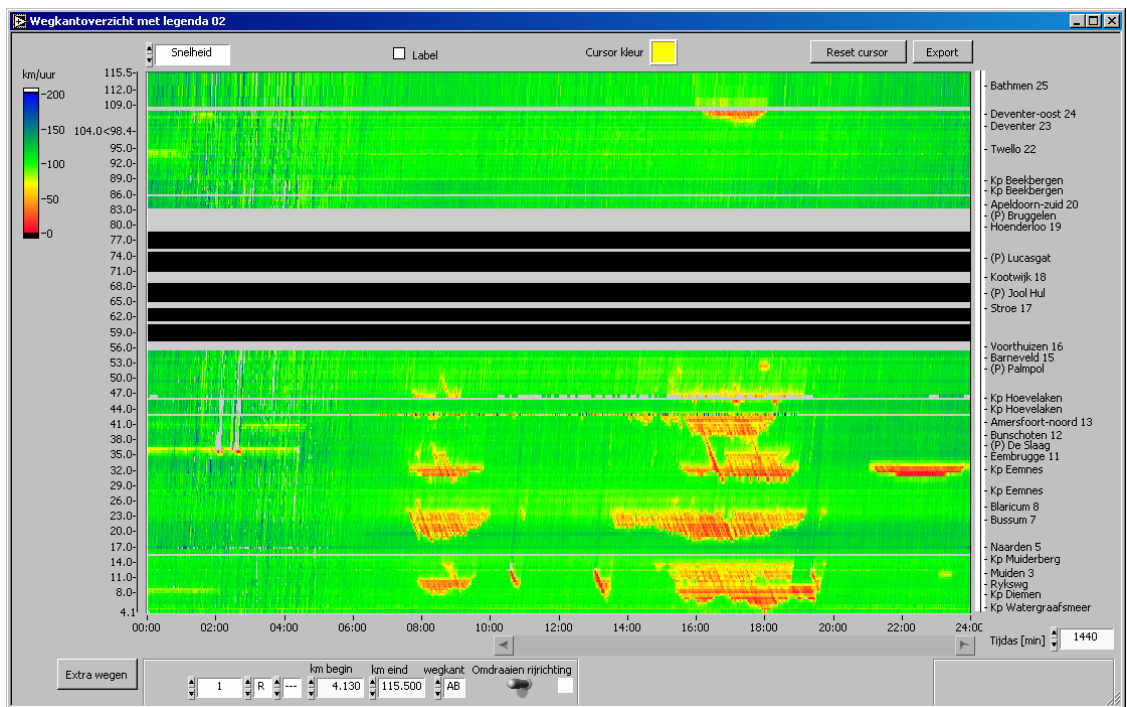
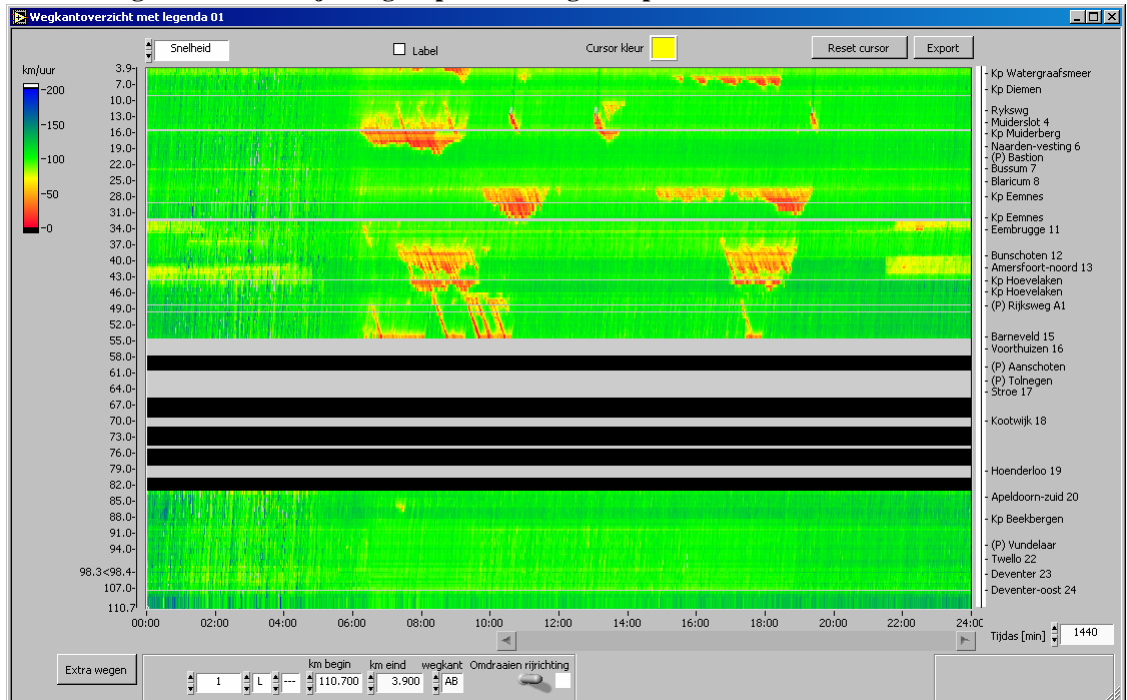
*Bespreking:*

Lopende filegolven gedurende ochtend- en avondspits.

Op A12L zorgt een licht structureel knelpunt bij kp.Gouwe (afsplitsing naar A20) voor voortdurende reeks filegolven die doorsteken naar structureel knelpunt bij Woerden en daar fuseren met de door dat knelpunt opgewekte golven.

Uitdoving van filegolf treedt op bij kp. Maanderbroek (A12L).

**Figuur 3.4** Rijksweg 1 op donderdag 27 september 2007

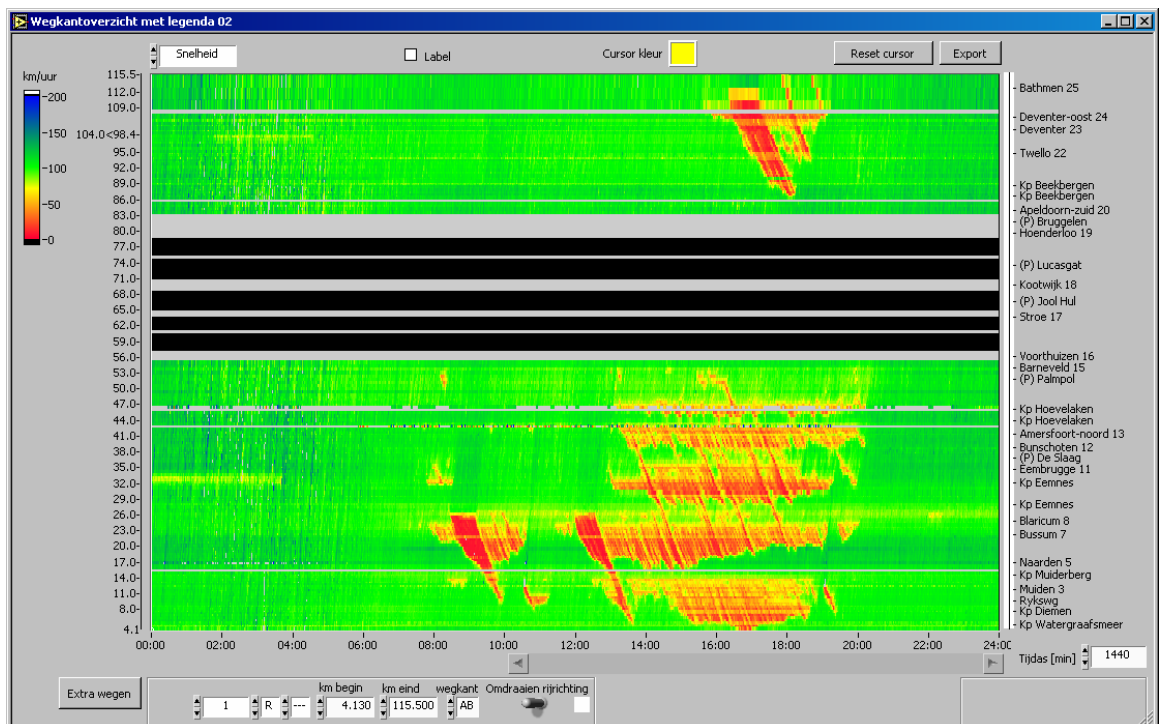
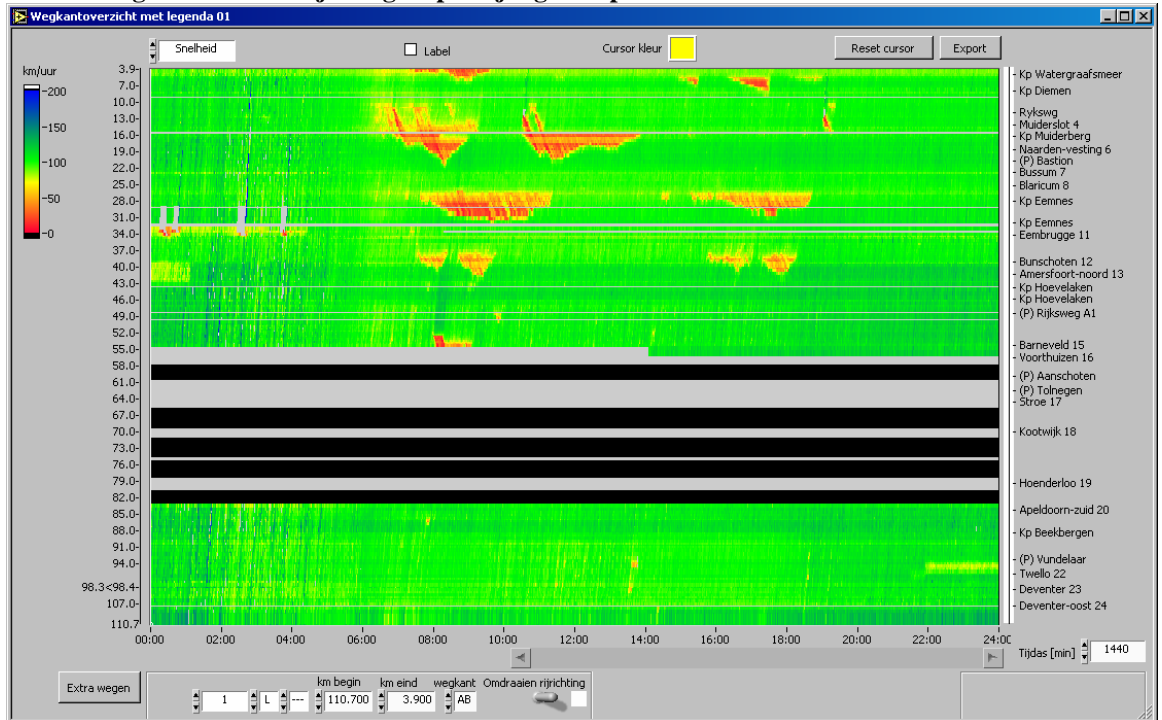


**Bespreking:**

Lopende filegolven op A1L tussen Barneveld en Hoevelaken gedurende ochtend- en avondspts en tussen kp. Diemen en Muiderberg in ochtendspts. Op A1R filegolven tussen de knooppunten Eemnes en Hoevelaken.

Op de A1 zijn de filegolven veelal uitlopers van structurele file en steken over naar het volgende structurele knelpunt.

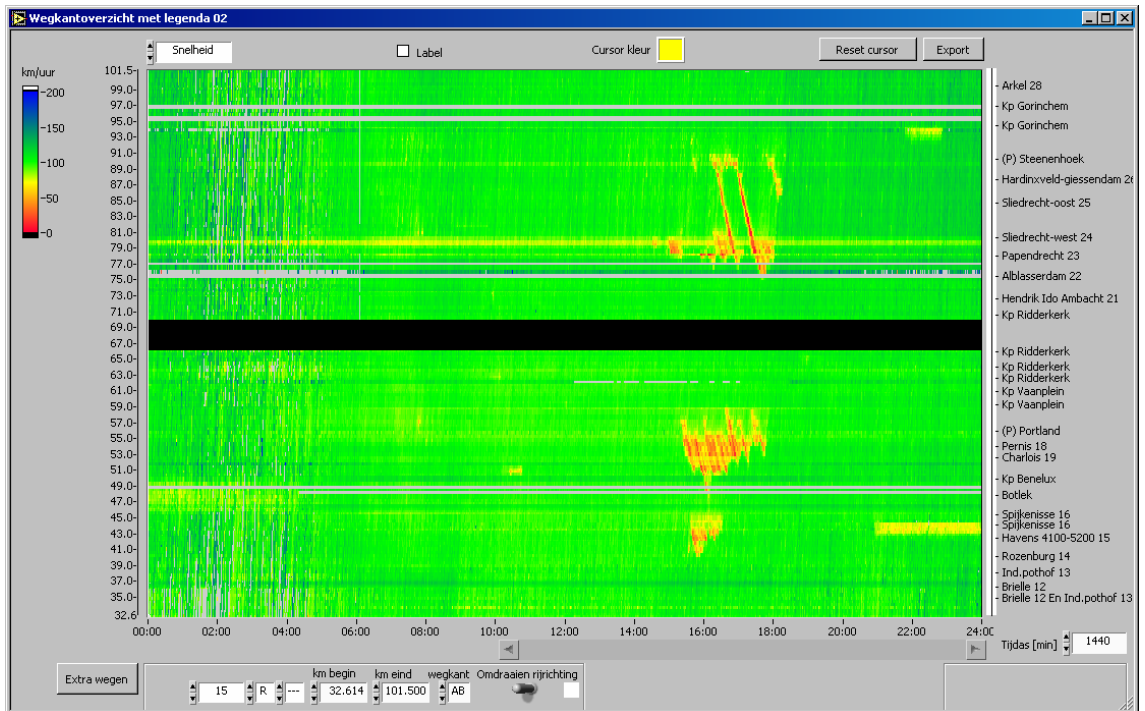
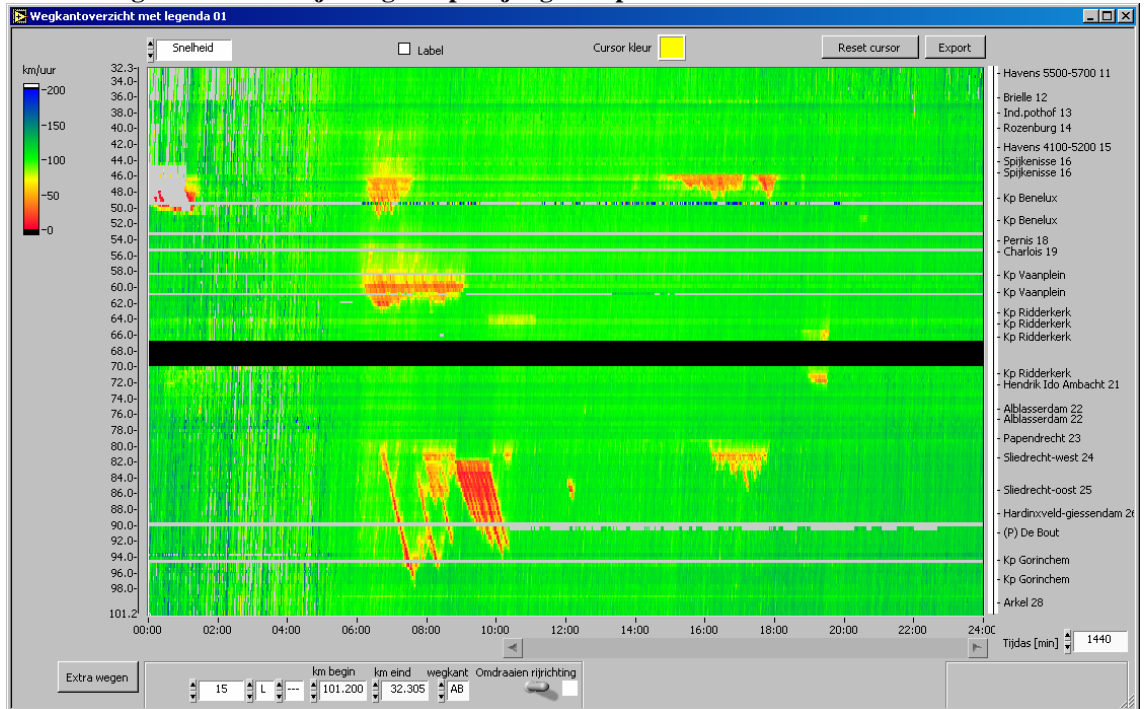
**Figuur 3.5** Rijksweg 1 op vrijdag 28 september 2007



**Bespreking:**

Geen losse filegolven op dit traject, wel lang doorlopende filamenten als uitlopers van structurele files en ook de incidentfiles hebben lange uitlopers.

**Figuur 3.6** Rijksweg 15 op vrijdag 28 september 2007

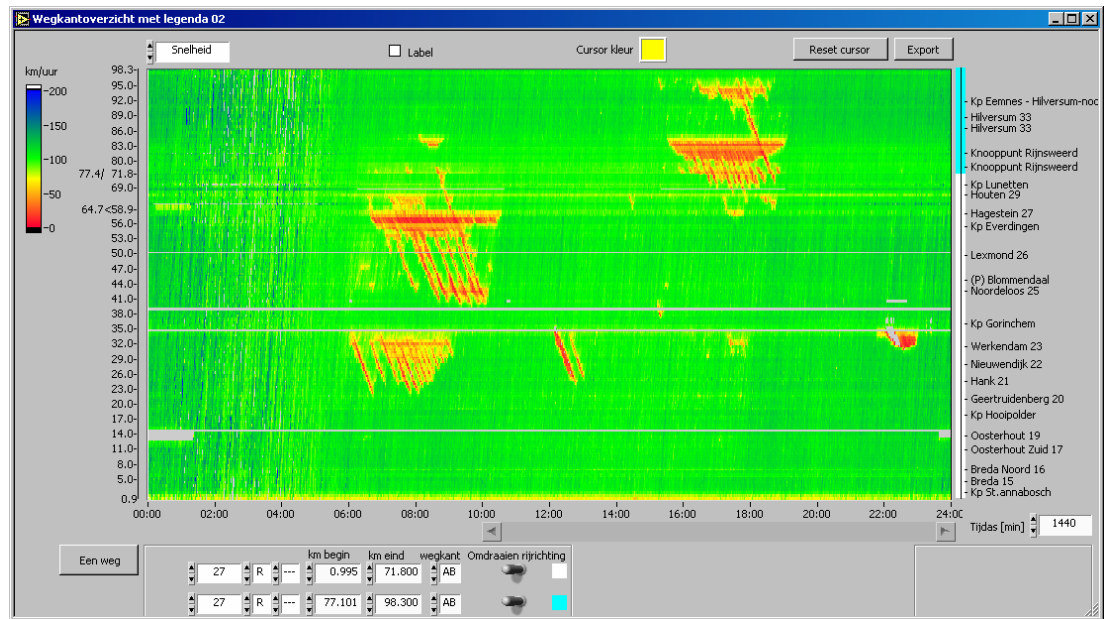
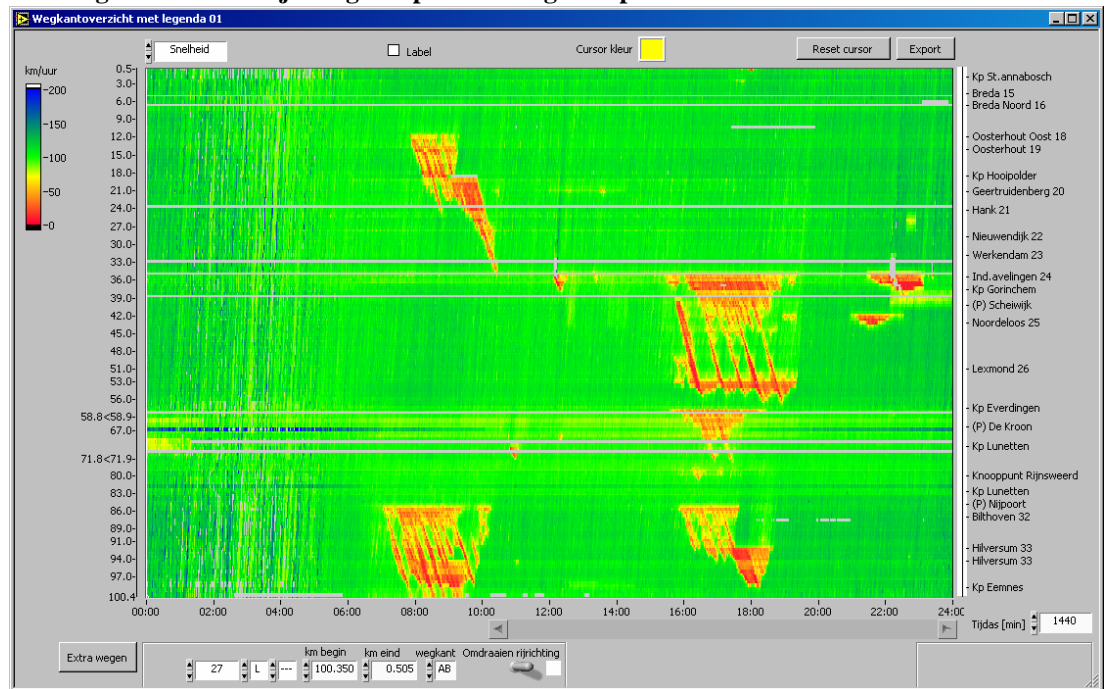


**Bespreking:**

Lopende golven van kp.Gorinchem tot Papendrecht in beide richtingen, op A15 L in de ochtendspits, op A15 R in de avondspits.



**Figuur 3.7** Rijksweg 27 op donderdag 27 september 2007



**Bespreking:**

Uitlopers van structurele file bij kp.Everdingen worden lopende filegolven die uitdoven bij kp.Gorinchem waar hoofd- en parallelbaan samenvoegen. In omgekeerde richting uitlopers van de file voor de Merwedebrug die uiteindelijk ingevangen worden door kp.Everdingen.

Tussen de middag filegolven, opgewekt door de Merwedebrug, die terugslaan tot Hank.

Verder golf van kp.Eemnes naar kp.Lunetten en van kp.Lunetten naar Everdingen.

### 3.2 Bevindingen uit de diagrammen

De diagrammen beschouwend kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Alle doorgaande wegen hebben diverse structurele knelpunten die op bepaalde trajecten gedurende de spits voor file zorgen. Deze file bestaat meestal uit een onafgebroken reeks lopende golven die op het hoogtepunt van de spits hun grootste lengte bereiken.
2. Vaker wel dan niet treedt op elke dag, elke weg wel een serieus blokkerend incident op.
3. Tussen dit geweld komen op alle beschouwde wegen op de wegdelen die normaal gesproken filevrij blijven, zo nu en dan lopende filegolven langs. Sommige van deze filegolven staan op zichzelf, soms zijn het losgeraakte uitlopers van een structurele of incidentfile. Ook filegolven, opgewekt door een brugopening zijn geconstateerd.
4. Op de meeste trajecten zijn lopende filegolven alleen gedurende de spitsstijden geconstateerd (breed genomen, pakweg tussen 6 en 11 uur en opnieuw tussen 15 en 19 uur). Op de A27 is een golf waargenomen rond het middaguur.
5. Lopende filegolven hebben een opmerkelijk constante verplaatsingssnelheid. In het op blz. 6 gerefereerde onderzoek is deze voor een aantal schokgolven opgemeten en bleek circa 18 km/uur te bedragen. Het aangroeien kon wat sneller of langzamer plaatsvinden, het oplossen ging vrijwel constant met 18 km/uur. De diagrammen uit voorgaande paragraaf bevestigen deze bevinding.
6. Af en toe wordt een incident waargenomen dat naar alle waarschijnlijkheid ontstaan is als gevolg van de filegolf.

Een andere conclusie, interessant in verband met mogelijke oplossingen, is de constatering dat de lopende golven op sommige trajecten steeds stoppen op hetzelfde punt. Dit is dan onveranderlijk een knooppunt. Op de A27 is dit bijv. bij de knooppunten Everdingen en Gorinchem, op de A12 is soms uitdoving waargenomen bij kp.Maanderbroek. De verklaring hiervoor is dat het aankomend verkeer dan via meerdere rijbanen de file aanvult waardoor daar per rijbaan de I/C-verhouding lager komt te liggen. De file krijgt er dan het karakter van een blokfile. De kop blijft vervolgens hangen op de plaats waar de weg zich vertakte, tot de filegolf helemaal is opgenomen, waarna de file weer kan uitstromen in het vak waar dan geen file meer is en de volle capaciteit is vrijgekomen. Deze gedachte wordt in hoofdstuk vijf verder uitgewerkt.

## Hoofdstuk 4 Eigenschappen van filegolven

---

In dit hoofdstuk wordt nader ingezoomd op enkele eigenschappen van filegolven. Alvorens nader onderzoek uit te voeren wordt er eerst teruggegrepen op bestaande literatuur.

### 4.1 Conclusies uit eerder onderzoek

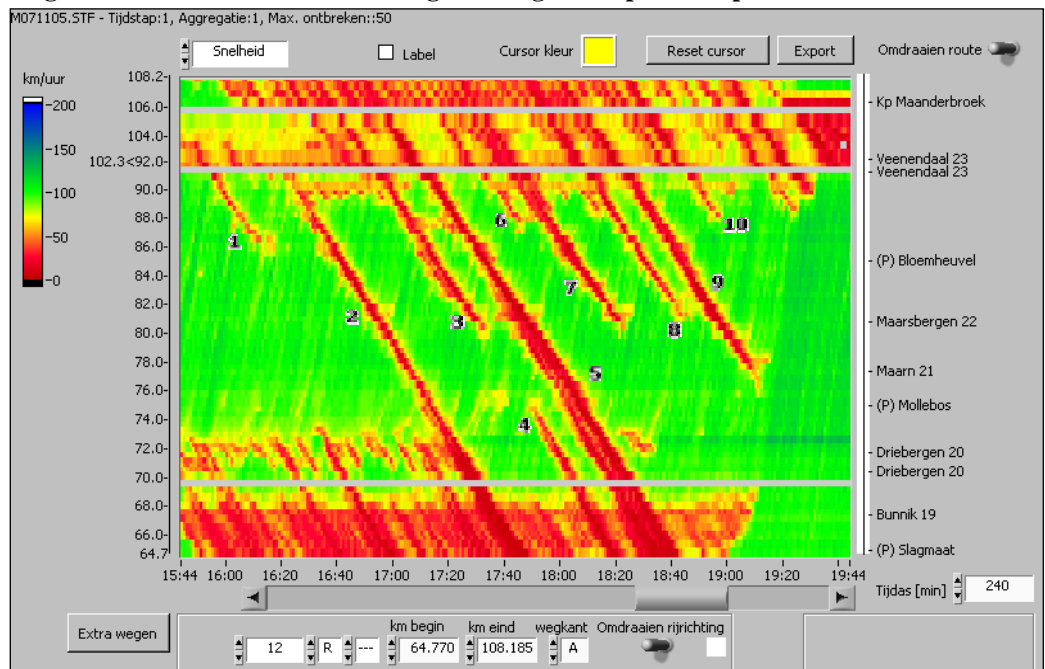
In het in § 3.2 genoemde onderzoek “Verplaatsingssnelheid van schokgolven” zijn de kenmerken van filegolven uitgebreid bestudeerd. Het voert hier te ver om dit onderzoek samen te vatten, maar de belangrijkste, voor dit rapport relevante conclusies worden hieronder aangehaald:

- Filegolven groeien aan bij een I/C-verhouding van circa 0,76.
- Filegolven doven uit bij een I/C-verhouding van circa 0,65.
- De gemiddelde verplaatsingssnelheid van de verdichtingsgolf (filestaart) is 17,6 km/u.
- De verplaatsingssnelheid van de verdichtingsgolf hangt samen met de instroomintensiteit.
- De gemiddelde uitstroomintensiteit is circa 3200 mvt/u (op wegvakken met twee rijstroken)
- De gemiddelde verplaatsingssnelheid van de verdunningsgolf (filekop) is 17,1 km/u.
- Er is geen verband tussen de verplaatsingssnelheid van de verdunningsgolf en de verdichtingsgolf.
- Veranderingen in de I/C-verhouding, bijvoorbeeld door veranderingen in het dwarsprofiel, hebben directe invloed op de verplaatsingssnelheid van de verdichtingsgolf.

Welke I/C-verhouding nu precies nodig is om filegolven in stand te houden hangt mede af van de waarde voor de capaciteit die men hanteert, en is daarom niet zo eenduidig. Een pragmatisch uitgangspunt valt te formuleren o.b.v. de vijfde conclusie, en te stellen dat een instroom van minstens 1600 mvt per uur per rijstrook daarvoor nodig is.

### 4.2 Een aantal kwantitatieve kenmerken van filegolven nader bekeken

Teneinde ook iets over de vertraging in filegolven boven tafel te krijgen is een aantal golven nader bestudeerd. Naast vertraging zijn algemene kenmerken als golfsnelheid, overbrugde afstand, levensduur en filelengte bepaald. Als steekproef zijn een aantal filegolven genomen, opgetreden op een weggedeelte van de A12 tussen Bunnik en Veenendaal op 5 november 2007. In figuur 4.1 worden deze weergegeven.

**Figuur 4.1 Verkeersafwikkeling met filegolven op A12R op 5 november 2007**

In figuur 4.1 zijn tien filegolven gemarkeerd. Van deze golven zijn de snelheids- en intensiteitsgegevens, met bemonsteringsinterval 1 minuut, overgenomen in een spreadsheet en nader geanalyseerd. Berekend zijn de kenmerken welke hieronder zijn weergegeven, zie tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Kwantitatieve uitwerking van de genummerde filegolven uit figuur 4.1**

| <i>Filegolf nr:</i>                    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Overbrugde afstand (km)                | 4.9  | 17.6 | 11.6 | 6.6  | 22.9 | 4.3  | 11.6 | 10.4 | 15.1 | 3.4  |
| Levensduur (min)                       | 18   | 60   | 40   | 21   | 79   | 15   | 42   | 35   | 47   | 13   |
| Gemiddelde lengte van de file (km)     | 1.2  | 1.9  | 2.1  | 1.4  | 2.9  | 1.2  | 2.0  | 1.4  | 2.0  | 1.2  |
| Gemiddelde duur van de file (min)      | 4    | 6    | 7    | 5    | 10   | 4    | 7    | 5    | 7    | 4    |
| Golfverplaatsingssnelheid (km/u)       | 16.3 | 17.6 | 17.4 | 18.9 | 17.4 | 17.2 | 16.6 | 17.8 | 19.3 | 15.8 |
| Gemiddelde vertraging in de file (min) | 2    | 3    | 3.5  | 2.5  | 5    | 2    | 3.5  | 2.5  | 3.5  | 2    |
| Aantal vtg dat golf heeft ondergaan    | 410  | 2330 | 1550 | 540  | 4260 | 310  | 1770 | 1180 | 2310 | 360  |
| Voertuigverliesuren in golf (vvu)      | 14   | 117  | 90   | 23   | 355  | 10   | 103  | 49   | 135  | 12   |
| VVU/door golf overbrugde km            | 2.8  | 6.6  | 7.8  | 3.4  | 15.5 | 2.4  | 8.9  | 4.7  | 8.9  | 3.5  |
| VVU/min golflevensduur                 | 0.8  | 2.0  | 2.3  | 1.1  | 4.5  | 0.7  | 2.5  | 1.4  | 2.9  | 0.9  |

In de tabel wordt met "overbrugde afstand" de afstand tussen het beginpunt van de golf en de locatie van uitdoving bedoeld. Met "levensduur" de tijd tussen ontstaan en uitdoving. Met "gemiddelde lengte van de file" de

gemiddelde lengte van de filegolf-file op enig moment gedurende zijn levensduur en met "gemiddelde duur van de file" hoe lang het duurt voor de golf een willekeurig punt langs de weg voorbij is getrokken. Zoals te zien valt in fig. 4.1 zijn "overbrugde afstand" en "levensduur" niet voor alle golven even terechte begrippen omdat sommige als verdichting nog zichtbaar doorlopen in de structurele file bij Bunnik en sommige al eerder begonnen zijn in de structurele congestiezone tussen Veenendaal en kp. Maanderbroek (de meeste zijn uitlopers van deze congestiezone). Golf nr. 2 is in de berekening meegenomen tot Driebergen (km 72,5). Vanaf hier versmelt de golf met congestie van het reguliere knelpunt. Wel is in de figuur te zien dat de reguliere filevorming door de binnenkomende filegolf versterkt wordt. Van golven nrs. 4 en 5 is het gedeelte tot aan het knooppunt bij Bunnik (km 69.0) beschouwd. Alle golven die eerder begonnen zijn, zijn pas meegenomen vanaf Wageningen (km 92).

De hoeveelheid vertraging is uit het tijd-wegdiagram geschat op basis van de volgende redenering. Indien het verkeer in de filegolf compleet stilstaat, is de vertraging gelijk aan de fileduur. In de praktijk zijn de snelheden in de filegolf wel laag, maar niet voortdurend gelijk aan nul. De daadwerkelijke vertraging is dus minder dan de fileduur. Op basis van schetsen van de geschatte trajectoriën van individuele voertuigen door een filegolf heen, wordt de vertraging per voertuig geschat op de helft van de fileduur. De gemiddelde vertraging per motorvoertuig bedraagt dus slechts enkele minuten. Het aantal motorvoertuigen dat de filegolf heeft ondergaan, d.w.z. dat gedurende de levensduur door de golf is gepasseerd, is geschat op basis van het aantal voertuigverliesuren en de gemiddelde vertraging per motorvoertuig.

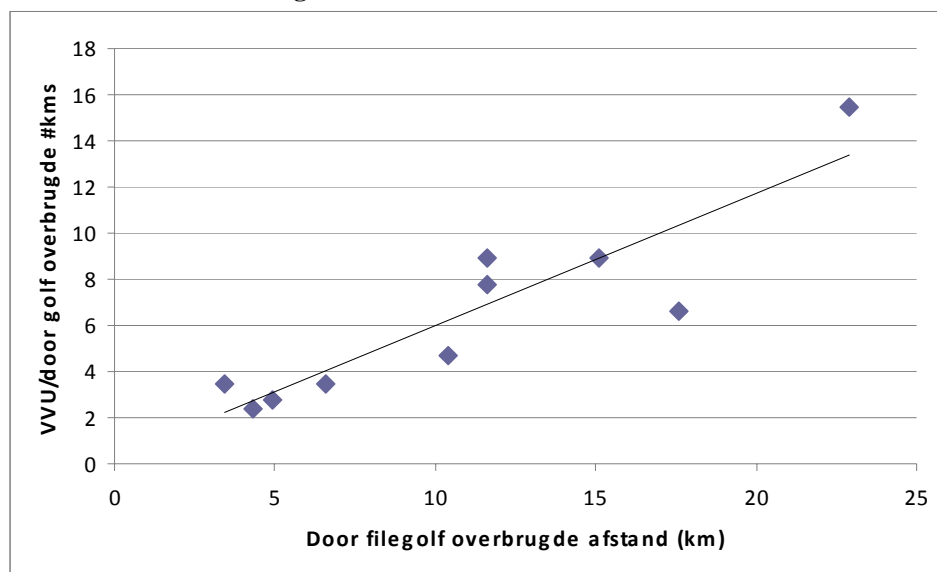
#### **4.3 Relatie tussen vvu in een filegolf en de overbrugde afstand van de filegolf**

De tien berekende golven verschillen onderling in filelengte en overbrugde afstand (dan wel: levensduur). Het aantal voertuigverliesuren wordt bepaald door enerzijds de overbrugde afstand/duur van de golf en anderzijds de filelengte in de golf. Hoe groter de afstand die de filegolf overbrugt des te meer vertraging er ontstaat en hoe langer de filegolf zelf is, des te meer motorvoertuigen er in de file tijd aan het verliezen zijn.

De filelengte wordt primair bepaald door de grootte van de verstoring waaruit de golf ontstaat. Hoe langer of zwaarder deze verstoring, hoe groter de primaire file (de basis van de filegolf). Wanneer de file vervolgens gaat 'lopen' wordt de lengte afhankelijk van de verschillen tussen de instroom en de uitstroom. Inspectie van tabel 4.1 laat zien dat de filelengte meestal groter is als ook de overbrugde afstand van een filegolf of de levensduur groot is. Dit is ook plausibel als men bedenkt dat een golf met een grotere filelengte langer bestand zal zijn tegen uitdoving dan een kortere. Deze relatie wordt

nader onderzocht in figuur 4.2. Omdat uiteindelijk voertuigverliesuren berekend moeten worden, is in plaats van 'filelengte' de ermee verband houdende afgeleide grootte 'vvu/overbrugde km' gekozen om af te beelden langs de y-as.

**Figuur 4.2** Fit tussen de filegolvenmerken 'vvu/door golf overbrugde km' en 'overbrugde afstand'



Uit de grafiek kan worden afgeleid dat filegolven die een grotere afstand overbruggen doorgaans ook meer voertuigverliesuren per overbrugde km opleveren. Een lijn, gefit door de oorsprong, komt uit op een evenredigheidscoëfficiënt van  $0,6 \text{ vvu}/[\text{overbrugde km}]^2$ , d.w.z. het aantal vvu per km overbrugde afstand voor een filegolf bedraagt in ruwe benadering 0,6 keer de totaal door de golf overbrugde afstand. Deze factor geldt voor tweestrooks wegvakken. Voor wegvakken met een ander strookaantal zal de factor moeten worden gecorrigeerd. Onder de aanname dat het aantal vvu per kilometer rijstrook constant is, hangt deze factor lineair samen het aantal rijstroken.

In de volgende paragraaf zal dit gevonden verband worden gebruikt om een ruwe schatting voor het totaal aan door filegolven veroorzaakte voertuigverliesuren te verkrijgen.

#### 4.4 Door filegolven veroorzaakte voertuigverliesuren

Met het in § 4.3 gevonden verband kan een benadering voor het totaal aan door filegolven veroorzaakte voertuigverliesuren gemaakt worden. Er is een korte inventarisatie uitgevoerd van filegolven op alle autosnelwegen voorzien van signalering, waarbij is gekeken naar alle werkdagen in de

periode 29 oktober 2007 tot en met 5 november 2007. Van wegvakken waar zich filegolven voordoen, is nagegaan hoe vaak ze voorkomen en wat hun gemiddelde bereik is. Met deze gegevens en het gevonden verband zijn dan weer de geschatte voertuigverliesuren berekend. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 4.2. De trajecten die op die manier konden worden onderzocht en de deeltrajecten daarvan waarop filegolven werden waargenomen zijn weergegeven in figuur 4.3. De nummering verwijst naar de nummering in tabel 4.2. De tabel telt 18 trajecten waarbij de kanttekening past dat, vanwege de variabiliteit in het verschijnsel, trajecten alleen globaal kunnen worden aangegeven. Hoewel er bijv. filegolven zijn waargenomen die van locatie 3 doorsteken naar 7, zijn de locaties apart opgenomen omdat door de bank genomen de filegolven gegroepeerd zijn naar de genoemde subtrajecten.

**Tabel 4.2 Frequentie, overbrugde afstand en vvu op gevonden filegolfflocaties**

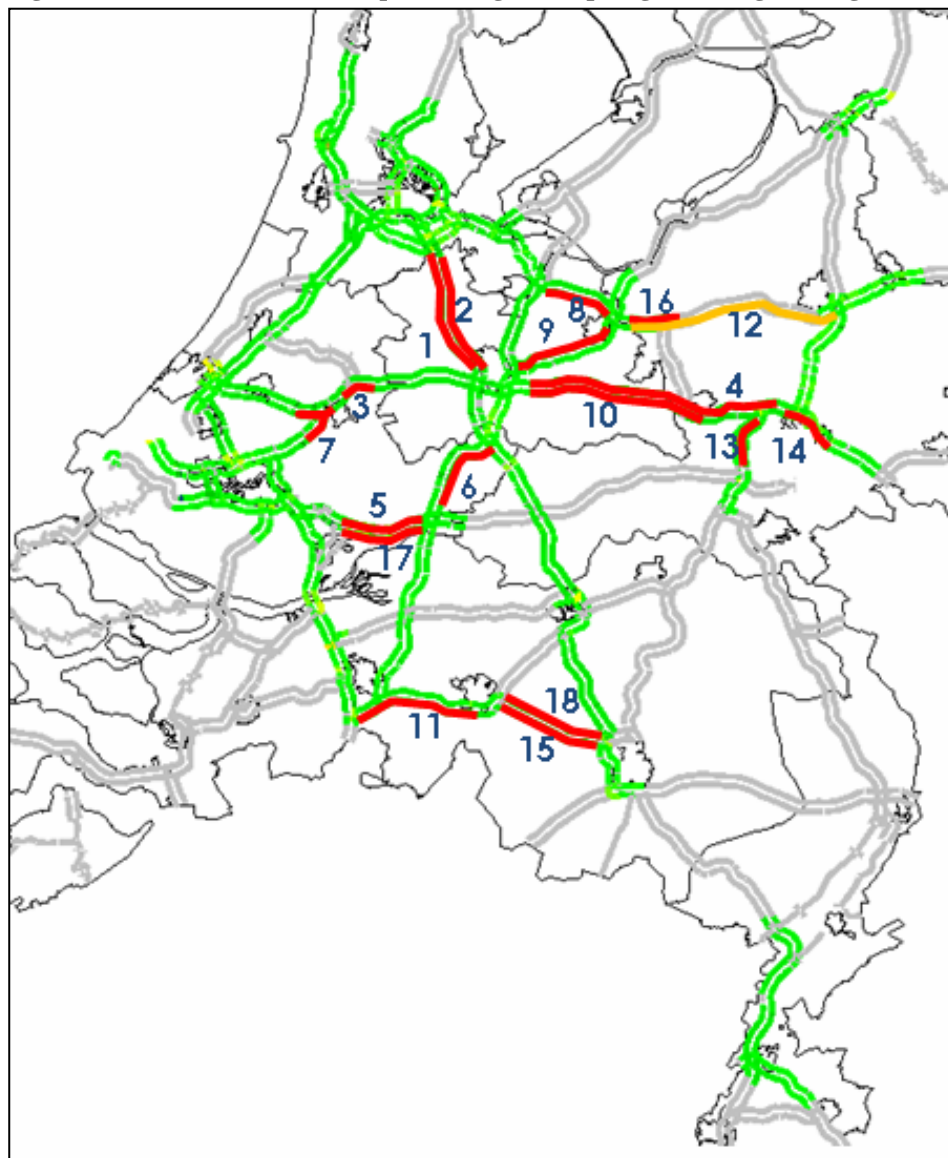
| <i>nr.</i> | <i>Filegolfflocatie</i>          | <i>aantal rijstr.</i> | <i>aantal per dag</i> | <i>overbrugde afstand (km)</i> | <i>duur (min.)</i> | <i>vvu/km</i> | <i>vvu/golf</i> | <i>vvu/dag</i> |
|------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|---------------|-----------------|----------------|
| 1          | A2R Holendrecht - Oudenrijn      | 3                     | 15.5                  | 23                             | 75                 | 20.3          | 467             | 7230           |
| 2          | A2L Oudenrijn - Holendrecht      | 3                     | 9.0                   | 22                             | 73                 | 19.4          | 427             | 3840           |
| 3          | A12R t.h.v. Nieuwerbrug          | 3                     | 3.2                   | 20                             | 20                 | 17.6          | 353             | 1120           |
| 4          | A12L Driebergen - Arnhem         | 2                     | 4.2                   | 20                             | 67                 | 11.8          | 235             | 980            |
| 5          | A15L Gorkum - Papendrecht        | 2                     | 4.5                   | 16                             | 53                 | 9.4           | 151             | 680            |
| 6          | A27R Gorkum - Everdingen         | 2                     | 7.7                   | 12                             | 40                 | 7.1           | 85              | 650            |
| 7          | A12R/A20R t.h.v. Gouda           | 2/4                   | 8.5                   | 11                             | 40                 | 6.5           | 71              | 610            |
| 8          | A1R Eemnes - Hoevelaken          | 2                     | 4.8                   | 14                             | 45                 | 8.2           | 115             | 560            |
| 9          | A28L Hoevelaken - Rijnsweerd     | 2                     | 4.5                   | 14                             | 45                 | 8.2           | 115             | 520            |
| 10         | A12R Utrecht - Wageningen        | 2                     | 3.2                   | 16                             | 60                 | 9.4           | 151             | 480            |
| 11         | A58L kp.Galder - kp.De Baars     | 2                     | 3.2                   | 15                             | 50                 | 8.8           | 132             | 420            |
| 12         | A1R Hoevelaken - Beekbergen      | 2                     | 1.7                   | 18                             | 60                 | 10.6          | 191             | 320            |
| 13         | A50R Valburg - Grijsoord         | 2                     | 2.0                   | 16                             | 60                 | 9.4           | 151             | 300            |
| 14         | A12R t.h.v. Velperbroek          | 2/3                   | 3.8                   | 9                              | 30                 | 6.6           | 60              | 230            |
| 15         | A58L De Baars - Batadorp         | 2                     | 3.2                   | 11                             | 37                 | 6.5           | 71              | 230            |
| 16         | A1L Apeldoorn - Hoevelaken       | 2                     | 2.8                   | 10                             | 33                 | 5.9           | 59              | 170            |
| 17         | A15R Sliedrecht W - Gorkum       | 2                     | 2.3                   | 10                             | 33                 | 5.9           | 59              | 140            |
| 18         | A58R Batadorp - De Baars         | 2                     | 2.0                   | 8                              | 30                 | 4.7           | 38              | 80             |
|            | <i>totaal over alle locaties</i> |                       | <i>86</i>             | <i>265</i>                     |                    |               |                 | <i>18500</i>   |
|            | <i>gemiddeld per locatie</i>     |                       | <i>4.8</i>            | <i>14.7</i>                    | <i>47</i>          | <i>9.8</i>    | <i>163</i>      | <i>1030</i>    |

Uit de tabel is af te lezen dat een doorsnee filegolfflocatie pakweg 500 vvu per dag veroorzaakt, al is de variatie groot. Over het gehele signaleringsgebied veroorzaakten de filegolven samen ruim 18.000 vvu per dag. Ter vergelijking: de file voor de Coentunnel levert in de *ochtendspits* gemiddeld 2.000 à 2.500 voertuigverliesuren op (bron: Filethermometer Noord-Holland 2006/2007). Van de in totaal circa 1.100 km weglengte met signalering, zijn er 270 kilometer (= 24%) gevonden waar regelmatig

filegolven voorkomen. Een duidelijke uitzondering wordt gevormd door de nummers 1 en 2, de A2 tussen knooppunt Holendrecht en Oudenrijn in beide richtingen. Het aantal voertuigverliesuren op deze trajecten bedraagt 60 procent van het aantal voertuigverliesuren op alle gevonden trajecten. De frequentie van de filegolven (vooral op de rechter rijbaan richting Utrecht) ligt zo hoog dat er bijna sprake is van structurele file in plaats van losse filegolven.

Traject nummer 12, A1R kp. Hoevelaken – kp. Beekbergen is een apart geval. De in totaal 10 gevonden filegolven op dit traject ontstonden allen op dezelfde dag, dus het is de vraag of de gekozen periode voor dit traject een representatief gemiddelde heeft opgeleverd.

**Figuur 4.3** Locaties met frequente filegolven op wegen met signalering





## Hoofdstuk 5 Mogelijke maatregel om het verschijnsel in te dammen

---

### 5.1 Redenen om het optreden van filegolven te bestrijden

Het beschreven verschijnsel van lopende filegolven die bestaan uit een korte, zich verplaatsende file met lange levensduur, vormt een probleem in meerdere opzichten:

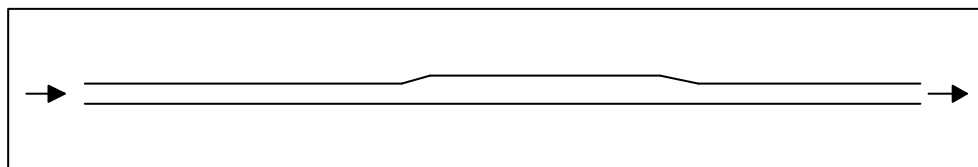
- het valt verkeer lastig met een verstoring die zelf allang weer verdwenen is;
- het vermindert de effectieve capaciteit van de wegvakken waar de filegolf zich op bevindt;
- het confronteert vrij rijdend verkeer plotseling met fileverkeer op onverwachte plekken, het is dus onveilig;
- het vergroot de kans op nieuwe incidenten en dus grote vertragingen;
- het fungeert mogelijk als initiator voor nieuwe filevorming op andere wegen als het door een knooppunt heen komt zonder uit te doven.

In de volgende paragraaf wordt ingegaan op een mogelijke oplossing. We gaan daarbij uit van een bescheiden doelstelling: getracht wordt de lopende filegolven af te stoppen die voldoen aan het archetype "lange levensduur, korte file". Omdat het dan om korte files gaat, is het aantal auto's dat moet worden opgevangen bescheiden. In dat geval kan het ook met een bescheiden maatregel worden aangepakt. Beschreven wordt de 'golfbreker'.

### 5.2 Golfbrekers

Het idee van de golfbreker is afgebeeld in onderstaande figuur. De golfbreker bestaat uit een lokale verbreding in een traject waarvan men weet dat er filegolven langstrekken.

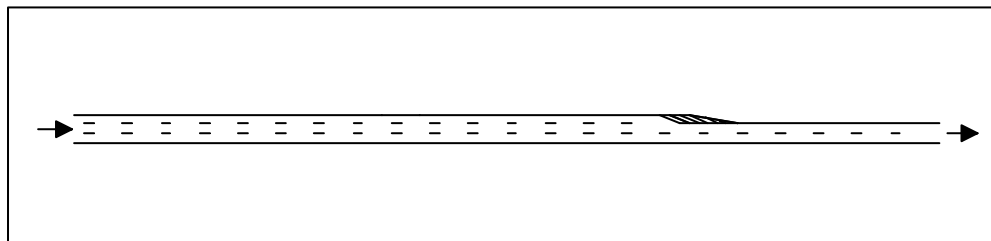
Figuur 5.1 Principe-ontwerp van de golfbreker



Als er een filegolf aankomt, dan zal de I/C-verhouding op het brede gedeelte veranderen van ergens tussen 0,75 en 1 naar - als de verbreding bijvoorbeeld een toegevoegde rijstrook is op een tweestrooksrijbaan - tussen 2/3e van 0,75 en 1. De I/C komt dan dus tussen 0,5 en 0,65 te liggen. De golf verandert daardoor van een lopende filegolf in een staande file. Immers de aangroeisnelheid aan de achterkant daalt want er moeten drie rijstroken

worden gevuld in plaats van twee. De voorkant van de filegolf blijft oplossen tot de kop van de golf het brede gedeelte heeft bereikt. Vanaf dan blijft de kop van de file bij de versmalling hangen want drie stroken kunnen gemakkelijk de uitgang blijven vullen. Er is als het ware een kunstmatig structureel knelpunt gecreëerd. De vormgeving van de uitgang kan eenvoudig via een afstreping van links worden gedaan zodat vrachtwagens zonder strookwisselmannoeuvres kunnen doorrijden. De linker twee rijstroken voegen samen en vullen de linker rijstrook van het vervolgvak goed. Het is bekend dat deze vormgeving van een wegversmalling ook met file ter hoogte van de versmalling het opvolgende vak tot aan de capaciteit kan voeden.

**Figuur 5.2** Vormgeving van de uitgang



We zullen nu beredeneren wat er gebeurt als een filegolf de golfbreker bereikt. We onderscheiden vier stappen:

*a) de filegolf nadert de golfbreker*

*b) de filegolf treedt de golfbreker binnen*

de staart van de file verbreedt zich nu over drie stroken, die kant van de file verandert in een blokfile

*c) de filegolf is in zijn geheel de golfbreker gekomen*

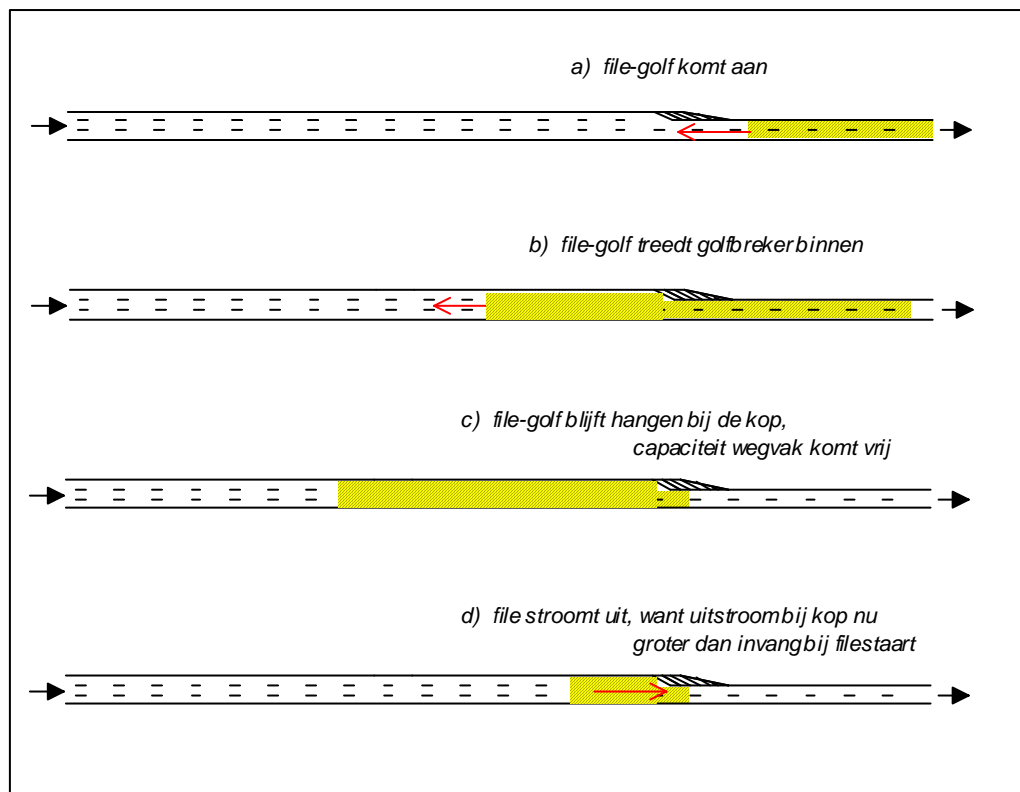
het is essentieel dat de file nu in de golfbreker past; zou de staart aan de andere kant weer naar buiten treden, dan herneemt de filegolf alsnog na enige vertraging zijn loop; merk op dat het uitstroomvak nu vrij is gekomen! de I/C-verhouding ligt in de golfbreker onder de kritische waarde dus de file stopt met lopen en verandert in een blokfile, d.w.z. de filekop is nu aan de wegversmalling verankerd

*d) de volle capaciteit van het uitstroomvak komt vrij en de file kan afstromen*

omdat er nu niet vanuit twee, maar vanuit drie stroken uit file wordt afgereden, kan de filekop nu het uitstroomvak goed vullen; was de afvoer gelijk aan de intensiteit van het afrijden uit file van twee stroken, nu is de afrij-intensiteit groter dan de capaciteit van het tweestrooksvak na de versmalling, en deze wordt dus vanuit de kop van de file volledig gevoed; de aanvoer komt eveneens via een tweestrooksweg en kan dus niet groter zijn dan de uitstroom, m.a.w. de in de golfbreker verzamelde file gaat oplossen of blijft in het ongunstigste geval stationair.

Figuur 5.3 brengt het proces in beeld.

Figuur 5.3 Werking van de golfbreker



Nu het principe is uiteengezet gaat het nog om de benodigde dimensies. Dit komt in de volgende paragraaf aan bod.

### 5.3 Benodigde grootte van een golfbreker

De benodigde grootte van een golfbreker kan worden geschat door als uitgangspunt te nemen de lengte van de filegolf die men nog wil kunnen opvangen.

Stel we willen dat een filegolf van  $K$  km nog in de golfbreker past. In het ongunstigste geval betreft de hele filegolf stilstaand verkeer en kan in de opsteldichtheid van het verkeer dus niets meer worden gewonnen. Dit maakt de rekensom wel eenvoudig:

- stel de weg waar het om gaat (en dus ook het uitstroomvak) heeft  $N$  stroken
- stel we maken de golfbreker  $N+1$  stroken ( $N+2$  maakt de vormgeving van het uitstroompunt lastiger en geeft meer ontwerpproblemen)

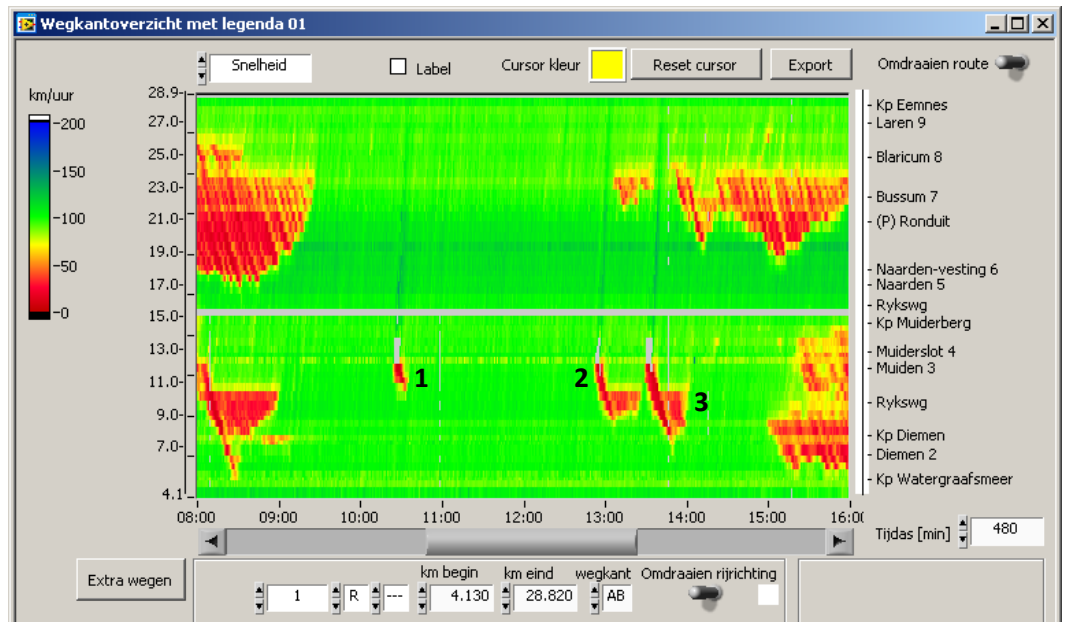
- de K km file op N stroken verandert in  $(N/N+1)$  km file in de golfbreker
- dit komt dan uit op:  
benodigde lengte:  
$$L = K \cdot N/(N+1) + \text{benodigde lengte voor inloop en uitloop}$$

In het geval van een 2-strooksweg met een 3-strooksgolfbreker komt men met  $K = 3$  km op een golfbrekerlengte van  $L = 2$  km + in&uitloop. De versmalling vraagt niet meer dan 100m, de weggebruikers zullen de laatste 200m van de golfbreker gebruiken om te ritsen en het verkeer komt hier waarschijnlijk al op gang dus de dichtheid neemt af, en de eerste 200m zal men nog niet direct de linker rijstrook vullen, hoewel dat bij file wel mee zal vallen. Zo komen we op  $L = 2,5$  km voor de lengte van de golfbreker.

#### 5.4 De golfbreker in de praktijk

Tijdens het zoeken naar filegolflocaties, zijn er enkele plekken gevonden die in de huidige situatie al als golfbreker functioneren. Een voorbeeld is weergegeven in figuur 5.4.

Figuur 5.4 Filegolven op de A1R kp. Watergraafsmeer - kp. Eemnes (29 okt 2007)

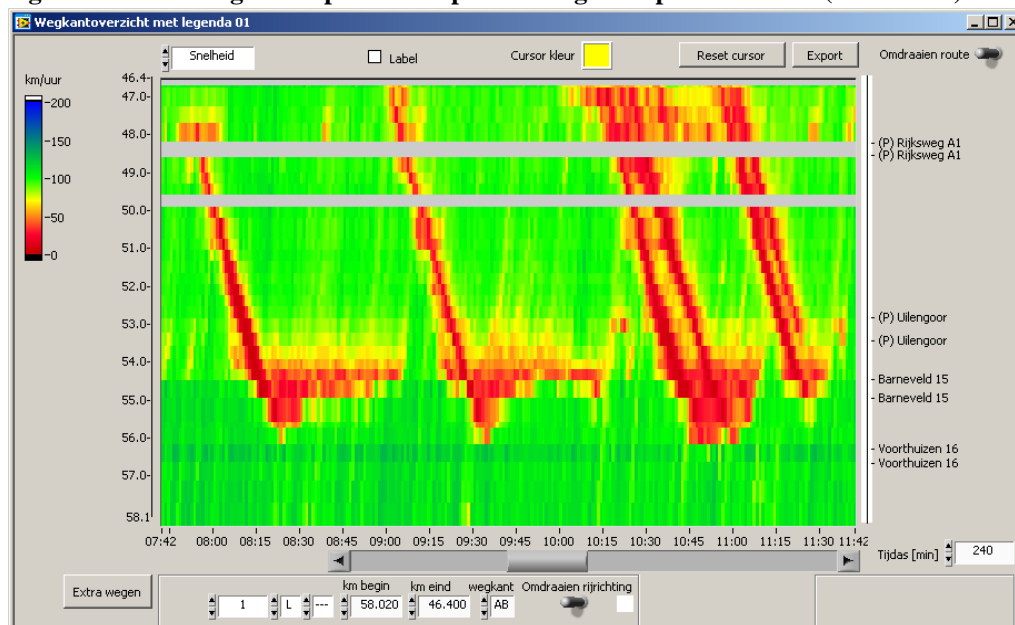


In de figuur zijn de gevolgen van een drietal brugopeningen van de brug bij Muiden (km 12,5) zichtbaar. De A1 is hier drie rijstroken breed. Enige kilometers stroomopwaarts, net na het begin van de wisselstrook (km 10,0)

versmalt de A1 van vier naar drie rijstroken. De file van de eerste brugopening dooft nog voor deze versmalling uit. Het verkeer is kennelijk niet druk genoeg om de filegolf in stand te houden. De filegolven van de andere twee brugopeningen doven uit nadat ze eenmaal de versmalling hebben bereikt. In plaats van dat de filegolf zich verder stroomopwaarts voortzet, blijft er een kortere staande file voor de vernauwing staan, welke oplost enige tijd nadat de filekop de vernauwing heeft bereikt. Merk op dat het oplossen van deze file tijd neemt: de betreffende brugopeningen die de filegolven veroorzaakten duurden slechts circa vijf minuten, het oplossen van de file ter hoogte van de versmalling duurt bijna een half uur. Merk ook op dat de file bij het oplossen nergens langer wordt dan twee kilometer. In dit geval had dus een golfbreker van iets meer dan 2 km volstaan.

Bijzonder aan bovenbesproken voorbeeld is dat de files veroorzaakt door brugopeningen als kiem wat zwaarder zijn dan de doorsnee filegolven die spontaan of als uitloper van structurele congestiezones ontstaan. In figuur 5.5 is daarom een tweede voorbeeld gegeven van een minder bijzondere situatie waar filegolven eveneens uitdoven:

**Figuur 5.5** Filegolven op de A1L kp. Beekbergen – kp. Hoevelaken (2 nov 2007)



De filegolven ontstaan hier bij knooppunt Hoevelaken en doven uit bij knooppunt Harselaar (in de legenda niet aangegeven, t.h.v. km 54). Hier is geen sprake van een verandering in het aantal rijstroken maar van een grote toestroom van verkeer vanaf de A30. Deze zorgt er hier voor dat stroomopwaarts van de aansluiting de intensiteit een stuk lager is dan erna.

Bij een gelijk blijvende capaciteit leidt dit er eveneens toe dat de I/C-verhouding lager komt te liggen. De filegolven slaan daarom niet door maar blijven met de kop hangen bij het punt waar het A30-verkeer de weg opkomt. Er komt daar een korte stationaire file voor de samenvoeging te staan. Als de filegolf in zijn geheel de samenvoeging heeft gepasseerd, komt de capaciteit van het vak erna weer volledig beschikbaar en dit is hier kennelijk voldoende om de file weer te doen oplossen. Wel valt ook hier de tijd op die de file daarvoor nodig heeft. Bij de filegolven die zich voordoen in de spits kost dit ongeveer een uur. De instroom is dan kennelijk nog bijna gelijk aan de capaciteit van het vervolgvak. Bij de latere filegolven die zich pas na 10 uur voordoen maar op het oog langer zijn dan de eerdere golven in de spits, duurt dit oplossen veel korter, te weten 35 en 15 minuten. De instroom is op deze tijdstippen lager.

Bovenstaande twee voorbeelden tonen, dankzij toevallig optredende gunstige wegconfiguraties in het veld, aan dat het golfbrekerprincipe daadwerkelijk werkt.

### 5.5 Overige overwegingen

Na het voorgaande lijkt de golfbreker inderdaad tot op zekere hoogte een oplossing te kunnen bieden voor het probleem van lopende filegolven. Daarbij passen nog wel een paar kanttekeningen.

Ten eerste is de golfbreker niet bedoeld als opvangbak voor structurele file. Dan komt men op geheel andere eisen t.a.v. de dimensionering terecht. Een golfbreker heeft enige tijd nodig om de opgevangen filegolf weer af te laten vloeien. Als in die tijd de volgende golf er al aankomt, zal de opvangcapaciteit ontoereikend zijn. Dit betekent dat uit een voorverkenning moet zijn gebleken dat op het bewuste traject filegolven slechts af en toe langskomen en niet hoogfrequent.

Een volgende overweging is dat de oorzaak van de op te vangen filegolven bij voorkeur niet de uitlopers van een stroomafwaarts gelegen knelpunt moet zijn (zoals in enkele van de voorbeelden uit hoofdstuk 3 het geval was). Immers, de golfbreker vangt de filegolf dan wel op, maar verhoogt daarna de toestroom naar het knelpunt, dus te verwachten valt dat het tussenliggende vak met golfbreker snel vol zal lopen. Hoe meer uitwisselingspunten tussen golfbreker en veroorzakend knelpunt, hoe minder direct de relatie tussen uitstroom-golfbreker en instroom-knelpunt wordt, dus hoe effectiever de golfbreker kan functioneren. De ideale plaats voor een golfbreker ligt dus op een lang ononderbroken wegvak ergens in het midden tussen twee knooppunten.

Tenslotte de veiligheid. Uit de aard der zaak zal de kans op file bij de golfbreker zijn verhoogd. Dit brengt een verhoogd risico op inrijden-op-file ongevallen met zich mee. De plaats is echter bekend en dit is een voordeel t.o.v. de situatie zonder golfbreker. Er kan dus voor gewaarschuwd worden, of met borden die de functie van de wegverbreding aangeven en de weggebruiker bewust maken van de verhoogde kans op file, en/of met automatische filebeveiliging m.b.v. signalering of met een op zichzelf staand systeem.

In dit hoofdstuk is steeds uitgegaan van een extra rijstrook aan de linkerkant van de rijbaan. In de praktijk zal ten behoeve van een eventuele proefneming de toevoeging van een extra rijstrook aan de rechterzijde door gebruikmaking van de vluchtstrook eenvoudiger te realiseren zijn. Het nadeel hiervan is dat het vrachtverkeer aan het einde van de golfbreker van rijstrook moet wisselen. Dat werkt beperkend voor de capaciteit van de versmalling. Het oplossen van de stationaire file zal langer duren. Hoe groot het verschil in capaciteit precies is, hangt af van het percentage vrachtverkeer. Verder is de vluchtstrook niet altijd constructief berekend op een continue verkeersbelasting.

## 5.6 Mogelijke locaties

In § 5.5 is geconcludeerd dat op een golfbrekerlocatie de frequentie tussen de filegolven niet te hoog mag zijn en dat een golfbreker op enige afstand van het golfveroorzakende knelpunt dient te liggen. Hierdoor zijn niet alle trajecten waar in paragraaf 4.3 filegolven zijn gevonden, geschikt voor een golfbreker. Zo is bijvoorbeeld op de A2 tussen knooppunt Oudenrijn en knooppunt Holendrecht in beide richtingen de opvolging van filegolven zo hoog, dat een filegolf in een golfbreker niet de tijd zal krijgen om op te lossen voordat de volgende golf er alweer aankomt. In tabel 5.1 is een overzicht gegeven van mogelijk geschikte locaties.

**Tabel 5.2 Mogelijke trajecten voor inpassing van een golfbreker**

| <i>Filegolflocatie</i>                      | <i>#/dag</i> | <i>bereik</i> | <i>vvu/dag</i> |
|---|--------------|---------------|----------------|
| A12L Driebergen-Veenendaal-Arnhem           | 4.2          | 20            | 980            |
| A15L Gorinchem- Papendrecht                 | 4.5          | 16            | 680            |
| A1R Eemnes-Hoevelaken                       | 4.8          | 14            | 560            |
| A28L Hoevelaken-Rijnsweerd                  | 4.5          | 14            | 520            |
| A12R t.h.v. Wageningen                      | 3.2          | 16            | 480            |
| A58L kp Galder-De Baars                     | 3.2          | 15            | 420            |
| A1R kp. Hoevelaken-kp. Beekbergen(Apeldoorn | 1.7          | 18            | 320            |
| A50R Valburg - Grijsoord                    | 2.0          | 16            | 300            |

### **5.7 Behaalbare winst**

Het aantal bespaarbare voertuigverliesuren per dag zal aanzienlijk minder zijn dan het aantal dat nu door de filegolven veroorzaakt wordt. De golfbreker dient immers op enige afstand van het knelpunt te liggen, dus tussen knelpunt en golfbreker valt al weinig winst te halen. Daarbij is op locaties die nu reeds als golfbreker fungeren, gebleken dat het uiteindelijk oplossen van de stationaire file nog enige tijd kan duren. Al met al lijkt een besparing van de helft van de voertuigverliesuren van de langskomende filegolven door toepassing een golfbreker op een geschikte locatie een reële verwachting. In hoofdstuk 4 was al geconcludeerd dat het aantal voertuigverliesuren in een filegolf, alsmede de vertraging per voertuig, beperkt is. Slaat men met deze noties opnieuw een blik op tabel 5.2, en stellen we ons een golfbreker voor op een gunstige locatie met omstreeks 600 vvu/dag aan tijdverlies door filegolven op dat traject, dan zou deze golfbreker omstreeks 300 vvu/dag aan tijdverlies door het verkeer besparen. In voertuigverliesuren gemeten is de winst dus beperkt. Als belangrijker mag men de winst beschouwen die op andere aspecten van de verkeersafwikkeling wordt geboekt. Denk daarbij allereerst aan de betrouwbaarheidsverbetering van het autosnelwegsysteem, waaronder een betere verkeersveiligheid. Filegolven worden op een vaste plek vastgezet in plaats van dat de weggebruiker deze overal onverwacht kan en zal tegenkomen. Ter plaatse kan gewaarschuwd worden voor de verhoogde kans op filevorming. Filegolven tot aan de maat die nog in de golfbreker past, worden gebroken en opgelost. Dus weliswaar ook minder file, maar vooral minder ongecontroleerde file.



## Hoofdstuk 6 Conclusies

---

Aan het begin van dit onderzoek zijn een aantal vragen gesteld. Deze zullen nu beantwoord worden vanuit de bevindingen van het onderzoek. Het ging om:

1. *Zijn er (vaste) plaatsen in het autosnelwegennetwerk waar regelmatig filegolven ontstaan? Zo ja, welke plekken zijn dat?*

Het antwoord is 'ja' in de zin dat er duidelijke trajecten vallen aan te wijzen waar filegolven meermalen per dag gedurende bepaalde tijden optreden. Op de wegen met signalering zijn een 18-tal van deze trajecten gevonden en besproken, zie § 4.5. Het antwoord is 'nee' als men hieruit zou afleiden dat het om een goed voorspelbaar verschijnsel zou gaan. De ontstaansplaatsen zijn niet "vast", toeval speelt een grote rol en al zijn bepaalde condities nodig, elke filegolf pakt weer anders uit. Hierover meer bij de beantwoording van de volgende vragen.

2. *Hoe vaak treden deze filegolven op?*

Het verschijnsel van individuele, losstaande lopende korte filegolven treedt op de genoemde trajecten 2 tot 15 keer per dag op. Bij meer dan 10 filegolven per spits kan men beter gaan spreken over een (licht) structureel knelpunt. De overgang van trajecten met af en toe een filegolf naar trajecten met structurele filevorming in de vorm van een aaneengesloten reeks filegolven, is een vloeiende.

Buiten de genoemde trajecten (en ook van het ene genoemde traject overstekend naar het volgende) treden op incidentele basis eveneens filegolven op. Uit de aard der zaak hebben deze dan ook een wat bijzonderder oorzaak, zoals een incident of een langer-dan-normaal geworden structurele file.

3. *Hoe lang duren de filegolven, in tijd en in afstand?*

In doorsnee duren filegolven zo'n half tot anderhalf uur en leggen daarbij een afstand van 10 tot 30 km af. Langere filegolven zijn geen uitzondering en filegolven van ruim drie uur en een afstand overbruggend van 60 km zijn ook waargenomen. Nog langer wordt moeilijk omdat dan de duur van de spits als beperkende factor om de hoek komt kijken.

4. *Wat zijn de condities waaronder filegolven ontstaan en kunnen blijven bestaan?*

Filegolven ontstaan door verstoringen in het vrije verkeer of als uitlopers van de file bij structurele knelpunten. Een filegolf blijft in stand of groeit aan bij een I/C-verhouding van 0,75 of hoger. Filegolven doven uit bij een IC-verhouding onder de 0,7. Omdat tegenwoordig veel wegvakken tijdens de spitsuren zich met de I/C-verhouding in de zone 0,7-1 bevinden, kunnen filegolven op veel wegen tijdens deze uren blijven bestaan om pas te verdwijnen bij het afnemen van de spits. De tweede reden waarom filegolven tegenwoordig zoveel langer zijn dan vroeger is dat het aantal wegvakken met, tijdens de spits, een I/C-verhouding onder de 0,7, sterk zijn verminderd. Anders gezegd: gedurende de spitsuren is tegenwoordig een groot deel van de snelwegen in de randstad superkritisch en nog maar een klein deel subkritisch.

5. *Wat is de schade, gemeten in voertuigverliesuren, veroorzaakt door de filegolven?*

Een doorsnee filegolf veroorzaakt aan vertraging ca. 150 voertuigverliesuren. Per werkdag gaan er op de onderzochte wegen (de wegen met verkeerssignalering) en daarvan op de deeltrajecten met frequente filegolven ca. 18.000 voertuigverliesuren in filegolven verloren. Zonder een verdere onderbouwing te geven zou dit als volgt kunnen worden doorgerekend naar een landelijk schadetotaal:

|  |                       |
|--|-----------------------|
| - vvu op 18 deeltrajecten met frequente filegolven:  | 18.000 vvu/dag        |
| - ophogen voor filegolven op niet-benoemde trajecten in het bestudeerd gebied (zijnde de wegen met signalering) x 1,5:   | 27.000 vvu/dag        |
| - ophogen voor filegolven op wegen zonder signalering x 1,25   | 34.000 vvu/dag        |
| - in rekening brengen dat veel filegolven ontstaan in een congestiezone, dus opheffen van de golf dicht bij het punt van ontstaan levert geen winst op (verkeer rijdt door en moet bij knelpunt alsnog wachten): x 0,5 | <u>17.000 vvu/dag</u> |

Het verminderen van de vertraging zou echter niet enige en niet de eerste reden moeten zijn om het verschijnsel van filegolven in te willen dammen. Filegolven tasten de bedrijfszekerheid van de snelweg als infrastructureel systeem aan en confronteren veel verkeer met een onvoorspelbare,

onverwachte en potentieel gevaarlijke situatie. Ze vormen dus een probleem in meerdere opzichten:

- ze confronteren verkeer met een verstoring waarvan de oorzaak allang weer verdwenen is;
- ze confronteren vrij rijdend verkeer plotseling met fileverkeer op onverwachte plekken, het is dus onveilig;
- ze vergroten de kans op nieuwe incidenten en dus grote vertragingen;
- ze fungeren mogelijk als initiator voor nieuwe filevorming op andere wegen als het door een knooppunt heen komt zonder uit te doven;
- ze verminderen de effectieve capaciteit van de wegvakken waar de filegolf zich op bevindt;
- ze veroorzaken deels vermijdbare vertragingen.

*6. Met welke maatregel(en) is een filegolf te doven of te onderbreken?*

De eenvoudigste manier om filegolven te voorkomen is ervoor zorgen dat lange wegvakken niet meer superkritisch worden. Dit houdt in dat de I/C-verhouding tijdens de spitsen onder de 0,7 moet blijven, of althans daar niet langdurig boven moet komen. Dit is vanzelfsprekend op korte termijn niet aan de orde.

Een tweede manier is om de filegolven te onderbreken. Dit kan met een "golfbreker". Wegvakken die over lange afstanden superkritisch zijn, worden zo nu en dan voorzien van een lokale wegverbreding, een plek waar de I/V-verhouding ruimschoots onder de 0,7 wordt gebracht. Deze vangen een filegolf eerst op en lossen hem vervolgens op.

Dat de golfbreker in de praktijk werkt, kon worden aangetoond aan de hand van enkele locaties op het wegennet waar al een natuurlijke golfbreker aanwezig is.

*7. Zijn er nadelen verbonden aan die maatregelen in termen van verkeersveiligheid of verkeersafwikkeling?*

Men moet zich realiseren dat het verkeer in de golfbreker, na binnentreden van file, zeer langzaam rijdt. Dit is overigens niet anders als met het verkeer in een filegolf zelf. Wel is, vanuit de optiek van de automobilist, de weg even daarvoor breder geworden, dus voor hem ligt het niet voor de hand dat juist hier de filekans zich concentreert. De functie van de golfbreker moet dus worden uitgelegd en ook met een bord langs de weg aangegeven. Voor de verhoogde kans op file moet worden gewaarschuwd. Een filewaarschuwingssysteem is vanzelfsprekend aan te bevelen. Voor de filevrije situatie lijkt het niet nodig aan bijzondere voorzieningen te denken zolang de golfbreker zich beperkt tot één toegevoegde rijstrook. Deze kan volgens de standaard ontwerprichtlijnen worden aangelegd.

*Afsluitend:*

De golfbreker is een originele maatregel die mogelijk bijdraagt tot het terugbrengen van een reëel probleem. De oplossing dient echter wel beproefd te worden en geëvalueerd. Als de maatregel goed blijkt te voldoen zou het een stramien kunnen worden bij het wegontwerp, d.w.z. alle drukke wegen om de zoveel kilometer van een kort stuk verbreding voorzien, daar waar het kan.

De ambities moeten echter niet te hoog gesteld worden. Zodra de golfbreker met substantiële files te maken krijgt is de opvangcapaciteit onvoldoende en slaat de file er doorheen. Wel mag men verwachten dat, als de maatregel werkt als verwacht en als het als stramien wordt toegepast, het wegennet een forse verbetering in betrouwbaarheid zal vertonen.