

Hoe kwetsbaar is het Nederlandse wegennetwerk?

Maaïke Snelder
TNO & TU Delft
maaïke.snelder@tno.nl

Hans Drolenga
Grontmij
Hans.Drolenga@grontmij.nl

Marcel Mulder
Rijkswaterstaat-DVS
marcel.mulder@rws.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
24 en 25 november 2011, Antwerpen**

Samenvatting

Hoe kwetsbaar is het Nederlandse wegennetwerk?

Verstoringen op de weg, zoals incidenten, kunnen tot onverwacht grote vertragingen van soms wel meer dan een uur per persoon leiden. Dit geeft aan dat het wegennet kwetsbaar (niet robuust) is. In 2009 heeft Rijkswaterstaat een begrippenkader en indicatoren voor robuustheid opgesteld (Snelder et al., 2009). Hierbij is robuustheid gedefinieerd als de mate waarin een wegstelsel zijn functie kan behouden bij verstoringen, opdat er voor de weggebruiker geen onverwacht groot reistijdverlies optreedt. Als indicator is de extra reistijd als gevolg van verstoringen gekozen.

Dit paper gaat in op de vraag hoe deze indicator kan worden geoperationaliseerd. Operationalisering betekent enerzijds dat de indicator uit data moet kunnen worden afgeleid en anderzijds dat de indicator met behulp van een model moet kunnen worden uitgerekend. De methode voor data-analyse staat centraal in dit paper. Hierbij is zowel naar de kans op incidenten gekeken als naar het gevolg.

Een uitgebreide analyse van verschillende incidentdatabases geeft aan wat de kans is op verschillende soorten incidenten op verschillende wegen. Het blijkt dat wanneer gekeken wordt naar type wegvak, het incidentrisico voor een afrit het hoogst is, daarna volgen de oprit, weefvak/splitsing en het normale wegvak. Voor de normale wegvakken geldt in grote lijnen dat het incidentrisico afneemt naar gelang het aantal rijstroken toeneemt. Een kwaliteitstoets van de gevonden waarden geeft aan dat het noodzakelijk is om meer verklarende factoren voor het al dan niet optreden van een incident te vinden.

Naast de kans op incidenten is het gevolg van belang. Incidenten hebben netwerkbrede effecten. Een incident kan tot file en dus vertraging op de weg zelf (1) en op andere wegen (2) leiden. Daarnaast wordt reistijdverlies geleden door mensen die besluiten om te rijden (3) en door extra files op de alternatieve routes (4). Tot slot kunnen kijkfiles optreden (5), zijn stroomafwaarts van het incident effecten te meten (6) en kan vraaguitval optreden (7). Dit paper beschrijft een methode waarmee op basis van twee nieuwe innovatieve data-analyse tools een nauwkeurige inschatting kan worden gemaakt van effect 1, 2, 5 en 6. Aan de hand van enkele voorbeelden wordt duidelijk gemaakt hoe de methode werkt. Bovendien zijn de geaggregeerde resultaten van een analyse van een deel van de incidenten die in 2009 plaatsvonden weergegeven. Hieruit blijkt onder andere dat het niet meenemen van fileterugslageffecten bij incidenten waarbij een maatregel is genomen (bijvoorbeeld het afkruisen van een rijstrook) kan leiden tot een onderschatting van 35% van het reistijdverlies.

1. Inleiding

Verstoringen op de weg, zoals incidenten, kunnen tot onverwacht grote vertragingen van soms wel meer dan een uur per persoon leiden. Dit geeft aan dat het wegennet kwetsbaar (niet robuust) is. Het vergroten van de robuustheid van wegennetwerken krijgt daarom steeds meer aandacht. In de MobiliteitsAanpak (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008) en de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011) heeft het robuust maken van het wegennetwerk bijvoorbeeld een belangrijke positie gekregen. De wens om het begrip robuustheid verder te operationaliseren en praktisch toepasbaar te maken, is dan ook steeds groter geworden.

TNO heeft daarom in 2009 in opdracht van de Dienst Verkeer & Scheepvaart van Rijkswaterstaat een begrippenkader en indicatoren voor robuustheid opgesteld (Snelder et al., 2009). Dit leidde tot de volgende definitie en indicator voor robuustheid:

Definitie

Robuustheid is te definiëren als de mate waarin een wegsysteem zijn functie kan behouden bij verstoringen, opdat er voor de weggebruiker geen onverwacht groot reistijdverlies optreedt. (Kwetsbaarheid is het tegenovergestelde van robuustheid; een netwerk dat kwetsbaar is, is niet robuust en omgekeerd.)

Indicator: extra reistijd als gevolg van verstoringen

In de definitie staat dat robuustheid zich richt op verstoringen die tot een onverwacht reistijdverlies leiden. Dit kunnen ongelukken zijn, maar dit kunnen ook andere verstoringen zijn, zoals regen en wegwerkzaamheden. Wij richten ons echter voornamelijk op incidenten.

Hoewel het onderliggend wegennetwerk ook van groot belang is voor robuustheidsanalyse richten we ons op het hoofdwegennetwerk. Deze keuze is gemaakt omdat er weinig data beschikbaar is voor het onderliggend wegennetwerk.

De bovengenoemde indicator roept de vraag op hoe de indicator voor robuustheid uit de beschikbare data kan worden afgeleid en hoe deze indicator kan worden gemodelleerd om ook uitspraken te doen over de kwetsbaarheid van het toekomstige netwerk. In 2010 is daarom door TNO en de Grontmij een methode verkend die hiervoor kan worden gebruikt en deze methode is toegepast voor de pilotregio Noord-Brabant. Hiermee is een eerste kwantitatief beeld verkregen van de robuustheid van het (hoofd-)wegennet in de regio Noord Brabant. In hoofdlijnen zijn daarbij drie onderdelen van robuustheidsanalyse aan bod gekomen:

- Het bepalen van de kans op een incident.
- Het bepalen van het gevolg van incidenten op basis van data.
- Het modelleren van robuustheid.

De verkregen inzichten krijgen in 2011 in het DVS-project "Robuustheid Hoofdwegennet Nederland" een doorvertaling naar het totale hoofdwegennet in Nederland, waarbij de methode ook verder wordt verfijnd:

- De eerder bepaalde incidentkansen worden verder verdiept, waarbij nog meer aandacht is voor de kenmerken en omstandigheden die invloed hebben op de incidentkans. Er wordt hierbij nu ook onderscheid gemaakt naar de verdeling van intensiteiten over de dag, het percentage vrachtverkeer en weersomstandigheden.
- Het reistijdverlies als gevolg van de incidenten wordt afgeleid van Monica-data in combinatie met de incidentregistraties en weersgegevens. Hierbij worden de door TNO ontwikkelde tools RAMON en ATOL gebruikt, waardoor een nauwkeurigere inschatting kan worden gemaakt van het invloedsgebied van een incident en van de referentiedag waarmee de incidentsituatie moet worden vergeleken.

De ervaringen die bij de Robuustheidsanalyse Hoofdwegennet Nederland worden opgedaan, leiden ertoe dat:

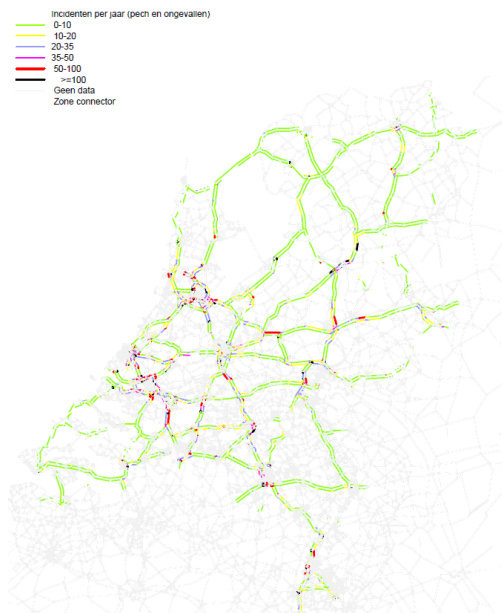
- Rijkswaterstaat inzicht krijgt in de meest kwetsbare wegvakken op het hoofdwegennetwerk. Dit gaat dan niet alleen om de wegvakken waar de kans op een incident het grootst is, maar ook om wegvakken waar het effect van incidenten het grootst is.
- Monitoring van de netwerkbrede Robuustheid mogelijk wordt.
- Voor toekomstige situaties inzicht kan worden verkregen in de robuustheid.
- Maatregelen onderling kunnen worden vergeleken op hun bijdrage aan de robuustheid van het gehele HWN.

De studie beantwoordt dus de vraag "Hoe kwetsbaar is het Nederlandse wegennetwerk?". Daarbij worden de resultaten in het perspectief gezet van de totale omvang van de reistijdverliezen. In eerste instantie wordt hierbij gekeken naar de jaren 2007-2009.

Dit paper focust op de data-analyse. Achtereenvolgens wordt beschreven hoe de kansen op incidenten worden bepaald (paragraaf 2), hoe de gevolgen van incidenten worden berekend (paragraaf 3) en wat de vervolgstappen zijn (paragraaf 4).

2. De kans op een incident nader beschouwd

Jaarlijks gebeuren op het hoofdwegennetwerk duizenden incidenten die variëren van afgevallen lading en pechgevallen tot ongevallen die de rijbaan voor langere tijd volledig blokkeren. In Figuur 1 is het aantal incidenten weergegeven dat per jaar gemiddeld per kilometer plaatsvond in de periode 2007-2009.

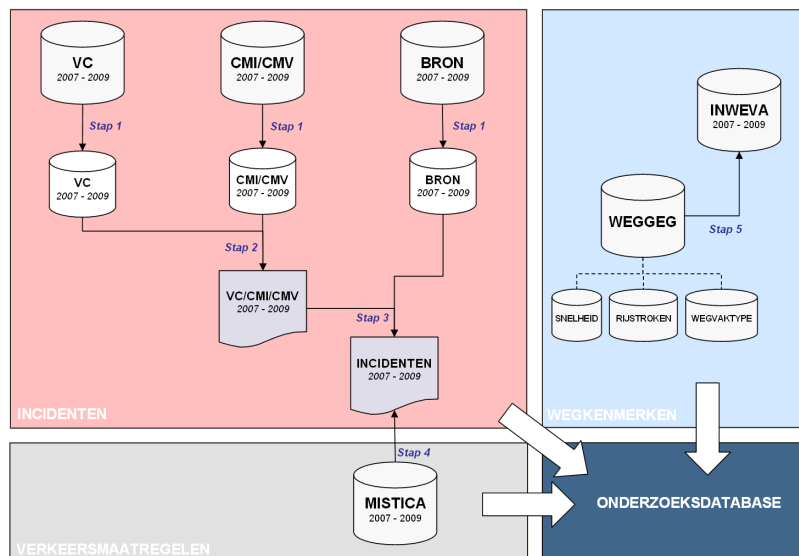


Figuur 1: Aantal incidenten per kilometer in de periode 2007-2009 (op jaarbasis)

De locaties waar veel incidenten plaatsvinden zijn beleidsmatig interessant omdat voor die locaties kan worden uitgezocht wat de oorzaak is van het veel voorkomen van incidenten. Mogelijkerwijs is dit aanleiding om maatregelen te nemen waardoor de locatie veiliger wordt.

De bovenstaande figuur is tot stand gekomen door drie typen incidentdatabases te combineren: de incidentendatabase vanuit de Verkeerscentrales, CMI/CMV en BRON. Voor de berekening van het aantal voertuigkilometers zijn WEGGEG (wegkenmerken) en

INWEVA (intensiteiten) gebruikt. In MISTICA staan de incidenten die tot maatregelen, zoals het afkruisen van een rijstrook, hebben geleid. De wijze waarop de gegevens zijn gecombineerd, is te zien in Figuur 2.



Figuur 2: Opbouw onderzoeksdatabase

Om meer inzicht te krijgen in factoren die de kans op een incident vergroten is de opgebouwde database nader geanalyseerd. Een verband tussen deze factoren en de kans op een incident kan bovendien gebruikt worden om voor toekomstscenario's de kwetsbaarheid van een netwerk te analyseren. Voor de toekomst kan immers niet uit worden gegaan van incidentregistraties, maar moeten voorspellingen worden gemaakt van de frequentie en locatie van verschillende soorten incidenten. Daarnaast maakt dit het mogelijk om voor plekken waarvoor geen data beschikbaar is een inschatting te maken van de kwetsbaarheid van die plekken.

Er is een drietal incidentrisico's voor rijkswegen in Nederland over de periode 2007-2009 berekend, te weten: een letselongevallenrisico, een UMS-ongevallenrisico en een pechgevalrisico. Het incidentrisico is gedefinieerd als het aantal incidenten (respectievelijk letselongevallen, UMS-ongevallen en pechgevallen) per miljoen voertuigkilometer. Bij het letsel- en UMS-ongevallenrisico is verder onderscheid gemaakt naar type weg (normaal, afrit, oprit en weefvak/splitsing) en het aantal rijstroken. In Figuur 3 zijn de incidentrisico's weergegeven. Hierbij is een uitsplitsing gemaakt naar de volledige opgebouwde database van incidenten en alleen 'MISTICA-waardige' incidenten. In het kader van robuustheidsanalyse zijn juist deze incidenten interessant omdat hierbij maatregelen genomen zijn en de kans op reistijdverlies dus groter is. Voor ongevallen geldt dat er bij ongeveer 16% van de ongevallen verkeersmaatregelen worden genomen, bij 3% van de pechgevallen worden er verkeersmaatregelen genomen. Dit betekent dat het gros van de ongevallen en pechgevallen, incidenten zijn waarvoor geen verkeersmaatregelen worden genomen. Deze incidenten zijn in het kader van robuustheid minder relevant.

		Incidentanalyse			
		Letselongevalrisico	UMS-ongevalrisico	Pechgevalrisico	
Incidentanalyse	Rijkswegen algemeen	0,045	0,873	1,354	
	Type wegvak	Rijkswegen afrit	0,068	1,383	1,354
		Rijkswegen oprit	0,058	1,199	
		Rijkswegen weefvak/splitsing	0,054	0,830	
		Rijkswegen normaal	0,038	0,726	
	Rijstroken	Rijkswegen 1 rijstrook	0,107	1,963	1,354
		Rijkswegen 2 rijstroken	0,040	0,846	
		Rijkswegen 3 rijstroken	0,040	0,646	
		Rijkswegen 4 rijstroken	0,021	0,368	
Rijkswegen 5 rijstroken		0,020	0,395		
Percentage Mistica-waardige incidenten		16,2%	3,1%		
		Robuustheid/Mistica analyse			
		Letselongevalrisico	UMS-ongevalrisico	Pechgevalrisico	
Robuustheid / Mistica analyse	Rijkswegen algemeen	0,007	0,141	0,042	
	Type wegvak	Rijkswegen afrit	0,011	0,224	0,042
		Rijkswegen oprit	0,009	0,194	
		Rijkswegen weefvak/splitsing	0,009	0,135	
		Rijkswegen normaal	0,006	0,118	
	Rijstroken	Rijkswegen 1 rijstrook	0,017	0,318	0,042
		Rijkswegen 2 rijstroken	0,006	0,137	
		Rijkswegen 3 rijstroken	0,006	0,105	
		Rijkswegen 4 rijstroken	0,003	0,060	
Rijkswegen 5 rijstroken		0,003	0,064		
		Letselongeval	UMS-ongeval	Pechgeval	
Gemiddelde duur maatregel (minuten)		44		26	

Figuur 3: Totaaloverzicht incidentkansen.

In de bovenstaande figuur is te zien dat wanneer gekeken wordt naar type wegvak, het incidentrisico voor een afrit het hoogst is, daarna volgen de oprit, weefvak/splitsing en het normale wegvak. Voor de normale wegvakken geldt in grote lijnen dat het incidentrisico afneemt naar gelang het aantal rijstroken toeneemt. De gemiddelde duur van genomen maatregelen bij een ongeval is 44 minuten en bij een pechgeval 26 minuten.

De berekende incidentrisico's zijn in het kader van robuustheid ten opzichte van de meer traditionele incidentrisico's een waardevolle toevoeging, doordat meer incidenten zijn afgedekt (door de vele beschouwde databases). De meer traditionele incidentrisico's zijn alleen gebaseerd op de in BRON geregistreerde letselongevallen.

Met de berekende incidentenrisico's is het mogelijk om voor een bepaald type weg, lengte, aantal rijstroken en intensiteit het aantal te verwachten incidenten te schatten. Om de voorspellende waarde te toetsen van de berekende gemiddelde incidentrisico's zijn deze vermenigvuldigd met het aantal gerealiseerde kilometers. Dit is vergeleken met het aantal geregistreerde incidenten in de periode 2007-2009.

Onderstaande tabel geeft deze informatie voor de 30 wegvakken waar de meeste ongevallen zijn geregistreerd. De wegvakken zijn gerangschikt op basis van het aantal geregistreerde ongevallen. De geregistreerde ongevallen zijn omgerekend van jaarbasis naar een daggemiddelde. De tabel laat zien dat de geregistreerde ongevallen een veel grotere variatie vertonen en bovendien niet of nauwelijks lijken te correleren met de berekende waarden.

Tabel 1: Geregistreerde versus modelmatig voorspelde incidenten voor de 30 wegvakken met de meeste geregistreerde ongevallen.

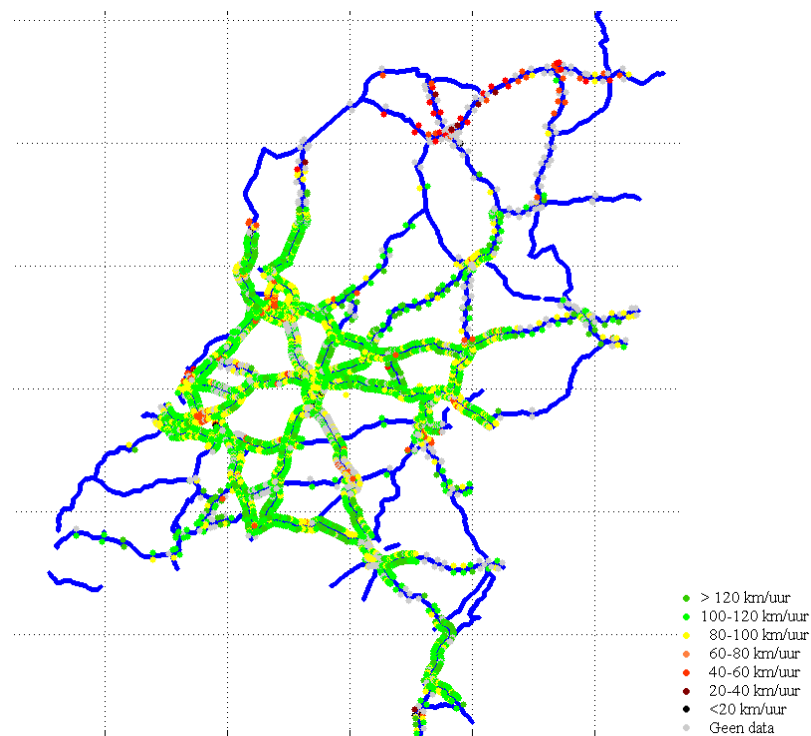
Rangorde	Wegvak	Ongevallen		Rangorde op basis ongevallen	
		Geregistreerd	Berekend	Geregistreerd	Berekend
2	A27 Gorinchem - Werkendam	0.475	0.0358	1	12
26	A67 E'hoven-campus - Aalst	0.328	0.0190	2	29
5	A2 Liempde - Boxtel-noord	0.311	0.0368	3	11
11	A27 Werkendam - Nieuwendam	0.287	0.0284	4	23
17	A16 knp. Zonzeel - Zevenbergschenhoek	0.270	0.0099	5	30
18	A58 Gilze - Tilburg-west	0.180	0.0546	6	3
1	A27 Werkendam - Gorinchem	0.171	0.0357	7	13
12	A27 Nieuwendijk - Werkendam	0.168	0.0285	8	22
20	A2 Boxtel-noord - Liempde	0.121	0.0303	9	20
7	A58 Oisterwijk - Oirschot	0.120	0.0728	10	1
4	A58 Oirschot - Oisterwijk	0.098	0.0726	11	2
22	A67 Mierlo - Geldrop	0.094	0.0479	12	6
6	A16 Zevenbergschenhoek - knp. Zonzeel	0.094	0.0307	13	19
3	A2 Best-west - Boxtel/Liempde	0.091	0.0420	14	7
23	A2 Boxtel-noord - Vught	0.088	0.0291	15	21
10	A27 Nieuwendijk - Hank	0.078	0.0356	16	14
15	A58 Tilburg-west - Gilze	0.072	0.0403	17	9
24	A58 Heerle - Bergen op Zoom	0.064	0.0257	18	25
21	A58 Roosendaal	0.058	0.0353	19	16
28	A67 knp. Leenderheide - Geldrop	0.058	0.0261	20	24
9	A27 Hank - Geertruidenberg	0.056	0.0244	21	26
13	A2 Boxtel/Liempde - Best-west	0.051	0.0353	22	15
25	A59 Oosterhout - Made	0.049	0.0211	23	28
14	A58 Gilze - Bavel	0.043	0.0542	24	4
30	A50 knp. Bankhoef - Ravenstein	0.042	0.0220	25	27
27	A67 Geldrop-Mierlo	0.041	0.0404	26	8
19	A58 Roosendaal	0.030	0.0376	27	10
8	A27 Hank - Nieuwendijk	0.019	0.0326	28	17
16	A58 Bavel - Gilze	0.009	0.0520	29	5
29	A16 knp. Zonzeel - Prinsenbeek	0.002	0.0317	30	18

Omdat de incidentvoorspelling dermate afwijkt van de geregistreerde ongevallen wordt verder gezocht naar aanvullende factoren die een betere verklaring geven van de kans op een incident. Hierbij wordt onder andere naar samenhang met de intensiteiten gekeken, naar regio-specifieke factoren, weersfactoren en de hoeveelheid vrachtverkeer. Daarnaast wordt de stabiliteit over de jaren geanalyseerd.

3. Het gevolg van incidenten nader beschouwd

Het reistijdverlies als gevolg van een incident kan worden bepaald door de incidentdatabase te koppelen aan Monica-telgegevens. Dit betekent dat alleen naar reistijdverlies wordt gekeken op de wegen waarvoor Monica-telgegevens beschikbaar

zijn. Voor de volledigheid is in de onderstaande figuur aangegeven op welke locaties Monica-lussen beschikbaar zijn. Voor de wegen waar geen lussen liggen, kan dus geen betrouwbaar beeld van de kwetsbaarheid worden gegeven. De kleur van de lussen geeft de snelheid op een bepaald moment weer. In dit geval is dat 00.30 uur op 17 december 2009; een nacht met hevige sneeuwval die begon in het noorden zoals in de figuur te zien is.

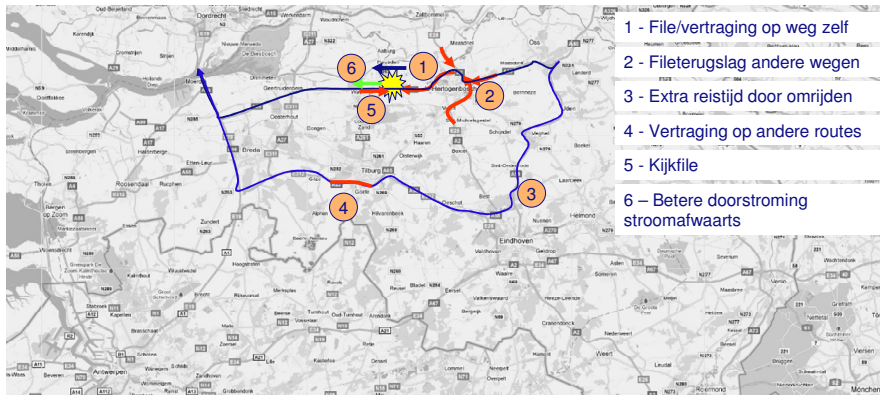


Figuur 4: Ligging Monica-lussen (legenda: snelheid 17 december 2009, 00.30 uur)

3.1 Type effecten van incidenten

Incidenten hebben netwerkbreed effecten (reistijdverlies). In Figuur 5 zijn de verschillende effecten die op kunnen treden weergegeven:

1. Een incident kan tot file en dus vertraging op de weg zelf leiden.
2. De file als gevolg van het incident kan terugslaan naar andere wegen en daar tot extra reistijd leiden.
3. Als automobilisten gaan omrijden, leiden ze reistijdverlies doordat hun nieuwe route waarschijnlijk een langere reistijd heeft dan de reistijd van de originele route zonder incident.
4. Door het omrijden kunnen op de alternatieve routes nieuwe files ontstaan, die tot extra reistijdverlies leiden voor de omrijders en degene die daar al reden.
5. Er kunnen kijkfiles ontstaan.
6. Stroomafwaarts van het incident kan een betere doorstroming ontstaan, waardoor mogelijk wat reistijdwinst wordt geboekt.
7. Vraaguitval (andere vervoerwijzen, later vertrekken, niet meer reizen)



Figuur 5: Netwerkeffecten van een incident

Feitelijk zouden alle effecten geanalyseerd moeten worden om een volledig beeld te geven van het effect van een incident. In dit paper richten we ons echter primair op effect 1, 2, 5 en 6. Deze effecten nemen naar verwachting het grootste gedeelte van het reistijdverlies als gevolg van een incident voor hun rekening en zijn met redelijke zekerheid toe te schrijven aan een incident.

Om effect 3 en 4 te bepalen, moet een inschatting worden gemaakt van de alternatieve routes die bij incidenten gebruikt worden. Er zijn verschillende manieren denkbaar om dat te doen, maar die brengen allemaal een onzekerheid met zich mee. Effecten die op alternatieve routes optreden kunnen bovendien worden veroorzaakt door andere factoren dan het incident (bijvoorbeeld een ander incident). Om deze reden worden deze effecten niet primair bepaald.

Een grove inschatting kan wel worden gemaakt door het totaal aantal voertuiguren in een deel van het netwerk (bijvoorbeeld een maximaal aantal kilometers van het incident) te vergelijken met een referentiesituatie. Het verschil is dan een inschatting van het totale reistijdverlies als gevolg van het incident.

Effect 7 (vraaguitval) is lastig te meten. Impliciet wordt dit gedaan doordat bij de berekening van het reistijdverlies (effect 1, 2 en 5) een referentie-intensiteit vergeleken wordt met de intensiteit bij het incident. Het is echter moeilijk om precies vast te stellen hoeveel mensen een andere route, vertrektijdstip of andere vervoerwijze kiezen of helemaal niet meer reizen. De mensen die andere keuzes gaan maken, hebben ook een welvaartsverlies. Dit is echter nog niet nauwkeurig uit de data af te leiden.

3.2 Fileterugslag uit data afleiden

Om effect 1 en 2 uit figuur 2 te bepalen, worden de files gevuld. Dat betekent dat in de stroomopwaartse richting wordt bekeken welk links (wegvakken) we tegenkomen. Hierbij worden alleen snelwegen beschouwd (wegen waarvoor Monica-data beschikbaar is). In de onderstaande figuur is een voorbeeld van een incident op de A13 weergegeven. De blauwe lijnen geven aan tot hoever de file als gevolg van het incident terugslaat. Dit wordt niet exogeen opgegeven, maar volgt direct uit de analyse van de data.

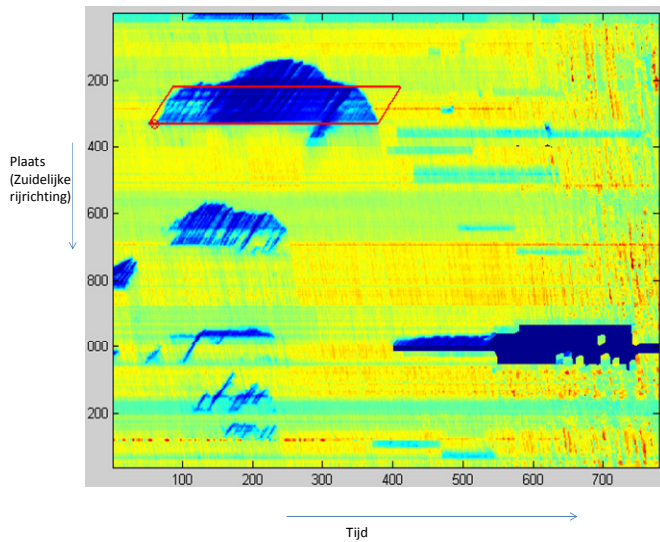


Figuur 6: Links/wegen waarop het effect van een file merkbaar is (methode 1).

Bij het bovenstaande incident begint de analyse op de A13. Als de file terugslaat tot over een knooppunt (in dit het geval het Kleinpolderplein wordt de file in beide richtingen van de A20 terug gevolgd (link 2 en 3). Vanuit link 2 wordt vervolgens dan het knooppunt Kethelplein gepasseerd. Vanuit daar wordt de file terug gevolgd in richting 4 en 5. Vanuit link 5 wordt de file volgens weer terug gevolgd richting link 6 en 7. Dit proces gaat net zo lang door tot de file niet meer toe te schrijven is aan het incident. Vanuit link 3 gaat het verder terug volgen van de file op dezelfde manier naar link 8 en 9. Bij de daadwerkelijke analyse wordt overigens meer detail gehanteerd. De links bestaan uit meerdere lussen. Gemiddeld liggen die ongeveer 500 meter uit elkaar. In plaats van van link naar link, wordt de file dus van lus naar lus terug gevolgd.

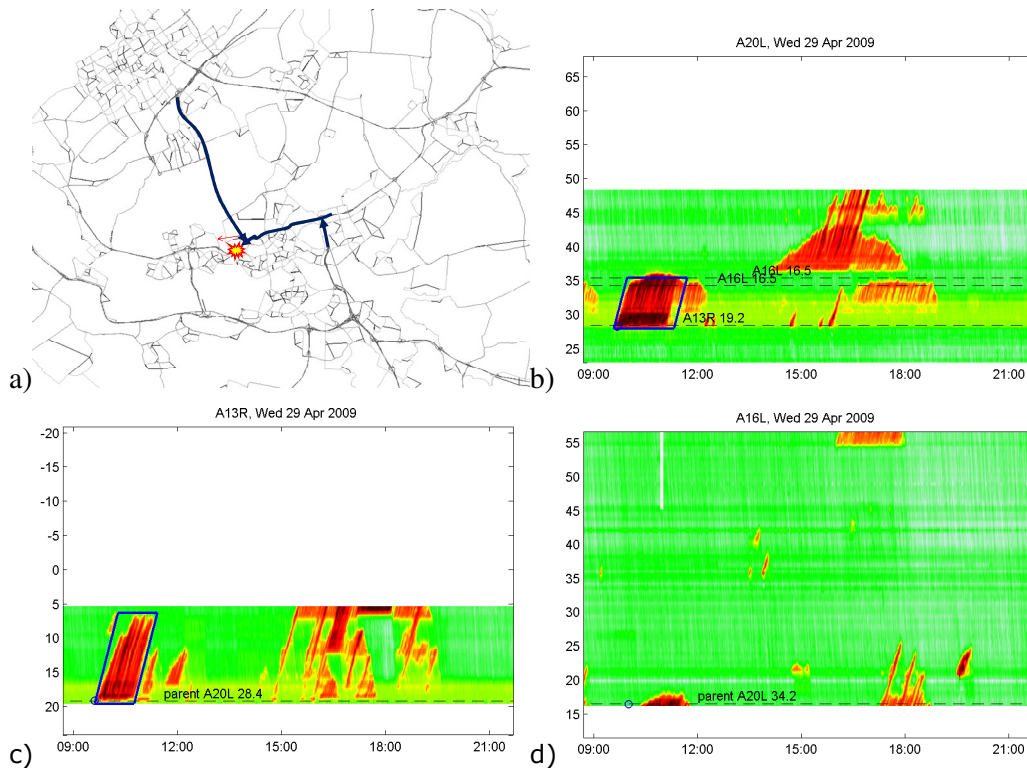
De vraag is nu hoe een file als gevolg van een incident precies wordt gedetecteerd. Deze detectie vindt plaats middels een parallellogram. Uit de incidentdatabase volgt het tijdstip, de locatie en de duur van het incident. Met een foutmarge van 15 minuten en 500 meter wordt de start van het incident gezocht in de data en vervolgens wordt in twee richtingen (tijd en plaats) de file gevolgd middels een parallellogram. De duur van het incident wordt hierbij ook meegenomen. De schuine zijde van het parallellogram komt overeen met de fileterugslagsnelheid. In Figuur 7 is een voorbeeld hiervan weergegeven. In deze figuur betekent groen vrije doorstroming en blauw een lage snelheid. Als de snelheid weer boven de 70 km/uur komt stopt het parallellogram. Dit parallellogram is een benadering van de echte file.

Als het incident overlapt met 'reguliere' congestie, bestaat er een kans dat het parallellogram ook een deel van de reguliere congestie meeneemt. De consequenties hiervan zijn echter niet groot, omdat er dan ook in de referentiesituatie (de situatie waarmee het incident wordt vergeleken) congestie is. Als beide situatie van elkaar af worden getrokken blijft de congestie als gevolg van het incident over.



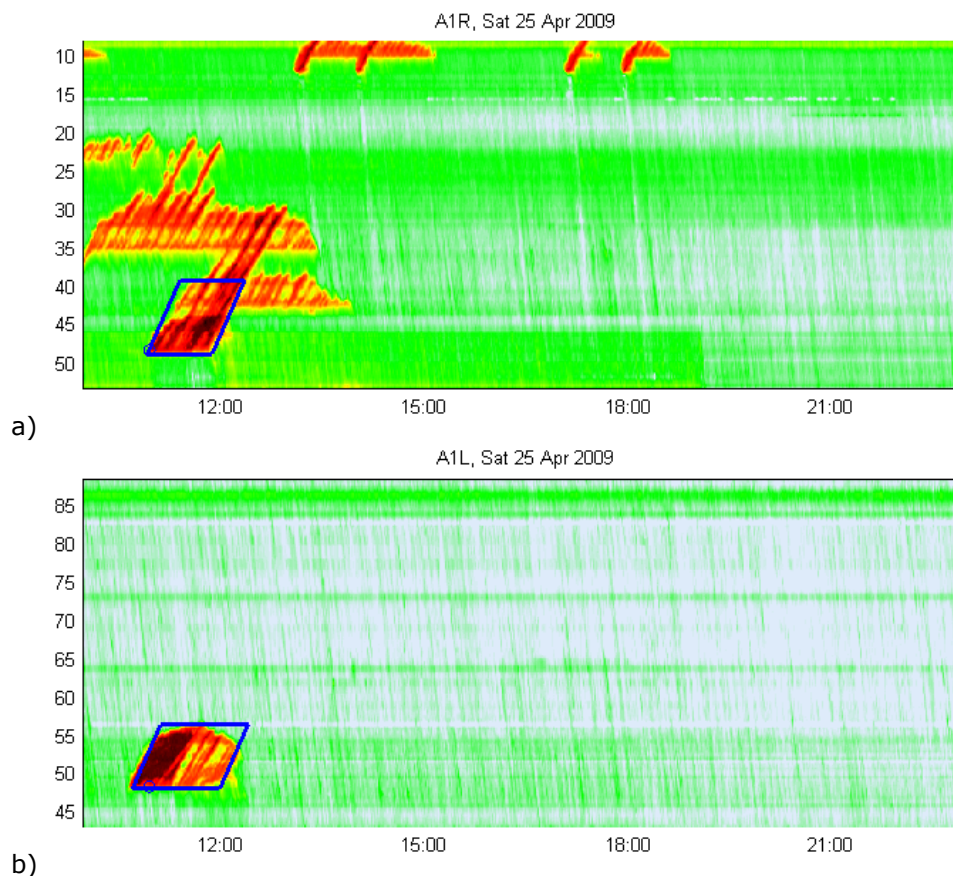
Figuur 7: Parallellogram incident

In Figuur 8 is een voorbeeld weergegeven van de detectie van fileterugslageffecten. In dit figuur is een incident gebeurd op de A20 van Gouda-Richting Hoek van Holland net voorbij het Kleinpolderplein (splitsing met de A13). In Figuur 8b zijn de gevolgen hiervan op de snelheid te zien. Rood betekent in dit geval een lage snelheid en dus congestie. Deze figuur geeft aan dat de file als gevolg van het incident tot over de splitsing met de A13 en zelfs de A16 terugslaat. Volledig automatisch wordt vervolgens ook de file op de A13 (Figuur 8c) en de file op de A20 (Figuur 8d) gedetecteerd en geanalyseerd.



Figuur 8: Fileterugslageffecten

Effect 5 (kijkfile) wordt op vergelijkbare wijze bepaald. De file wordt dan alleen in de andere richting gevolgd. In Figuur 9a zijn de gevolgen van een incident dat op zaterdag 25 april op de A1 plaatsvond weergegeven. Figuur 9b geeft de automatisch gedetecteerde kijkfile in de andere richting weer.



Figuur 9: Kijkfile

Effect 6 (stroomafwaartse effecten) kan op vergelijkbare wijze worden bepaald (maar dan met andere parameterwaarden voor het parallellogram).

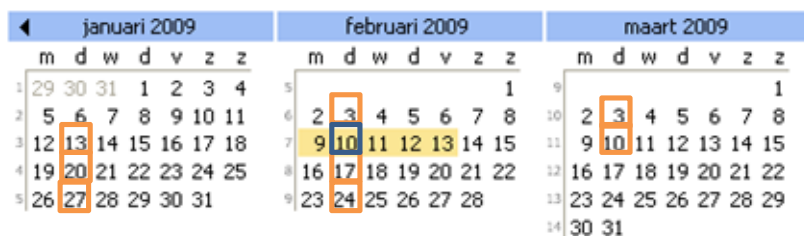
3.3 Referentie

Om het reistijdverlies als gevolg van een incident te bepalen is het noodzakelijk om te weten wat het totaal aantal voertuigen geweest zou zijn als er geen incident plaats had gevonden. De situatie die op zou treden als er geen incident plaats had gevonden noemen we de referentiesituatie. Uiteraard is nooit met 100% zekerheid vast te stellen wat de goede referentiesituatie geweest zou zijn. Hieronder worden twee methodes voorgesteld die verschillen in complexiteit en dus ook rekentijd.

Methode 1: dagen die het dichtst bij de incidentdag liggen worden het zwaarst meegewogen.

Stel dat op dinsdag 10 februari 2009 een incident plaatsvond. De vier dinsdagen voor en na het incident worden als referentiedag beschouwd. 17 en 3 februari liggen het dichtst bij 10 februari en krijgen dus het grootste gewicht: 4. 27 januari en 24 februari krijgen gewicht 3, 20 januari en 3 maart krijgen gewicht 2 en 13 januari en 10 maart krijgen

gewicht 1. Vervolgens wordt voor deze dagen het aantal voertuigen binnen het parallellogram bepaald. De mediaan hiervan is het aantal referentievoertuigen.



Figuur 10: Voorbeeld bepaling referentiedag

In de onderstaande tabellen is deze methode verder uitgewerkt (fictief voorbeeld). De linker tabel geeft het aantal voertuigen weer (in de periode die het parallellogram beschrijft). In de rechter tabel is het gewicht verwerkt en vervolgens gesorteerd op voertuigen. Op 27 januari was het aantal voertuigen het laagst. Daarnaast had 27 januari een gewicht 3 en daarom komt deze dag drie keer voor in de rechter tabel. De mediaan is het gemiddelde van de middelste twee waarden: 550 voertuigen. Op de incidentdag waren er in dit voorbeeld 800 voertuigen. Het reistijdverlies als gevolg van het incident is dus 250 uur. Op deze wijze worden extremen er uit gefilterd en wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met de periode van het jaar en de dag van de week.

Tabel 2: Fictief voorbeeld bepaling referentie

	Gewicht	Voertuigen		Voertuigen
13-jan-09	1	1200	27-jan-09	430
20-jan-09	2	600	27-jan-09	430
27-jan-09	3	430	27-jan-09	430
3-feb-09	4	500	3-mrt-09	480
10-feb-09 nvt: Incidentdag		800	3-mrt-09	480
17-feb-09	4	550	3-feb-09	500
24-feb-09	3	800	3-feb-09	500
3-mrt-09	2	480	3-feb-09	500
10-mrt-09	1	580	3-feb-09	500
			17-feb-09	550
			17-feb-09	550
			17-feb-09	550
			17-feb-09	550
			10-mrt-09	580
			20-jan-09	600
			20-jan-09	600
			24-feb-09	800
			24-feb-09	800
			24-feb-09	800
			13-jan-09	1200
			Mediaan	550

Methode 2: similariteit

Op hoofdlijnen zijn er twee factoren die bepalen hoe het verkeersbeeld er uit ziet: vraag en aanbod. Een goede referentiedag zou dus een dag zijn waarbij vraag en aanbod op elkaar lijken. De tweede methode zoekt een dag die qua gerealiseerde intensiteiten over de dag op alle wegen uit het invloedsgebied het meest lijkt (similariteit) op de gerealiseerde intensiteiten op de dag van het incident. Hierbij wordt het moment van het incident en de periode daarna niet meegenomen in de vergelijking.

3.4 Resultaten

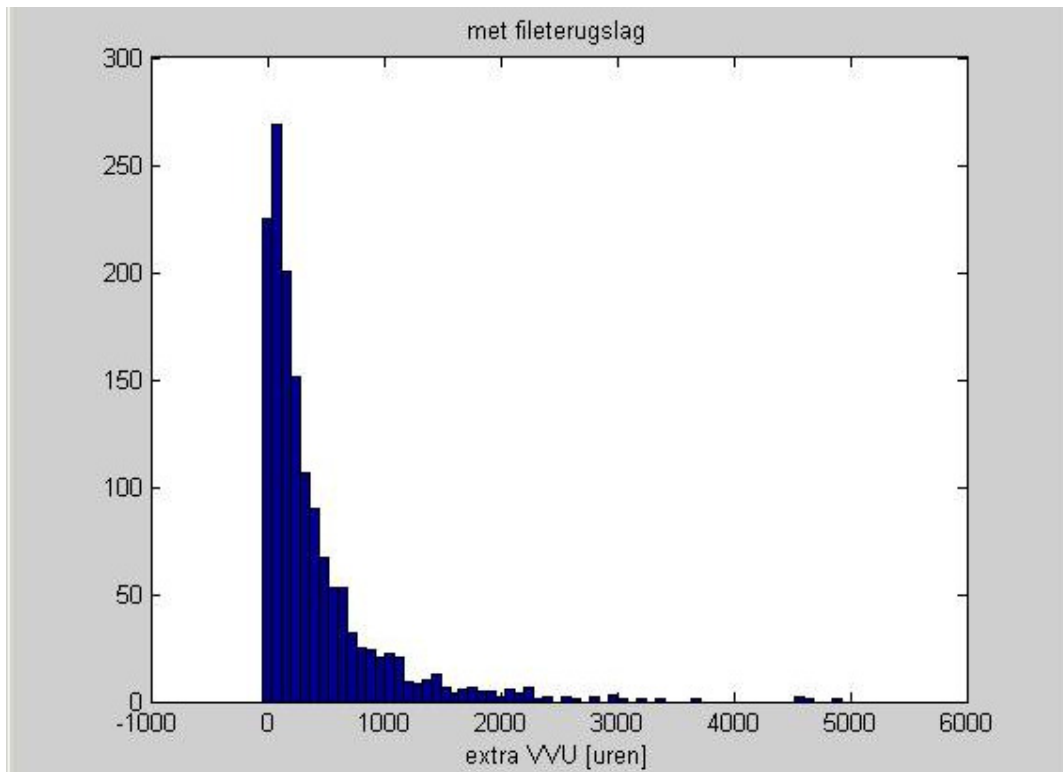
De resultaten worden op vergelijkbare wijze als Figuur 1 op een kaart weergegeven. Op deze wijze kan worden vastgesteld op welke locaties in 2007, 2008, 2009 en de totale periode 2007-2009 het grootste reistijdverlies als gevolg van incidenten is geleden. Dit zijn de meest kwetsbare locaties waar mogelijk robuustheidsmaatregelen gerechtvaardigd zijn. Door naar de stabiliteit over de jaren te kijken, kan worden geconcludeerd of toeval al dan geen rol heeft gespeeld.

Daarnaast worden de resultaten op geaggregeerd niveau geanalyseerd en wordt bekeken hoe de reistijdverliezen als gevolg van incidenten zich verhouden tot de totale reistijdverliezen.

Vooruitlopend op de resultaten van de totale analyse worden hieronder enkele resultaten van een analyse van een subset van de incidenten en een deel van de effecten gepresenteerd. Dit betreft effect 1 en 2 van de incidenten die in MISTICA staan voor de periode januari – april 2009 (1521 incidenten). Hierbij is gebruik gemaakt van methode 1 voor referentiebepaling.

Het gemiddelde totale reistijdverlies per incident als gevolg van het incident in die 4 maanden is 547 uur. Hiervan worden 353 uur stroomopwaarts op de weg waar het incident plaatsvond geleden. De overige 194 uur kwamen op andere wegen door fileterugslag tot stand. Dit is een aanzienlijk aandeel: 35%. Als deze effecten niet worden meegenomen, wordt het reistijdverlies als gevolg van een incident dus behoorlijk onderschat.

In Figuur 11 is een histogram van het reistijdverlies als gevolg van de incidenten opgenomen. 10% (=152) van de incidenten leidde tot meer dan 1000 uur reistijdverlies (inclusief de terugslag op andere wegen). Het grootste incident had 4800 uur reistijdverlies en was op de A20 (14 april 2009, in de ochtendspits). Deze had ook veel fileterugslag: 1200 uur op de A20 zelf en 3600 op andere snelwegen (deel A13 en groot deel op de A16).



Figuur 11: Histogram reistijdverlies incidenten (effect 1 en 2) (Mistica-incidenten jan – april 2009)

4. Vervolgstappen

In de vervolgstappen worden de kansen op incidenten verder uitgewerkt door aanvullende factoren te beschouwen die mogelijk van invloed zijn op het al dan niet optreden van verschillende soorten incidenten. Daarnaast wordt het reistijdverlies voor alle MISTICA-incidenten voor de periode 2007-2009 bepaald.

Na deze data-analyse wordt met een dynamisch model het effect van incidenten gesimuleerd. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt met de resultaten van de data-analyse. De incidentkansen worden hierbij als input gebruikt. Als blijkt dat het model de praktijk in voldoende mate kan nabootsen kan ook de kwetsbaarheid/robustheid van toekomstige netwerken worden bepaald en kunnen de (toekomstige)effecten van maatregelen op de robuustheid worden bepaald.

Literatuur

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ontwerp Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte Nederland concurrerend, bereikbaar, leefbaar en veilig, 2011.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, MobiliteitsAanpak, Vlot en veilig van deur tot deur, 2008.
- Snelder, M., M. Muller, J.M Schrijver, Begrippenkader en indicatoren voor robuustheid, TNO, TNO-034-DTM-2009-05026, 2009.
- Snelder, M., T. Bakri, S. Calvert, M. Minderhoud, H. Drolenga, G. Tamminga, Operationalisering Robuustheid, Rijkswaterstaat-rapport, Dienst Verkeer en Scheepvaart, 2010.