

TNO-rapport

TNO-060-DTM-2013-00231

02

Neerslag en verkeer

Mobiliteit

Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00

F +31 88 866 30 10

infodesk@tno.nl

Datum	28 januari 2013
Auteur(s)	D. Vukovic, M.W. Adler, T.Vonk
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	86 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart
Projectnaam	Kwetsbare locaties op basis van weerdata
Projectnummer	057.01794

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

Samenvatting

Het klimaat verandert en laat steeds vaker extreme weersomstandigheden zien. De effecten van deze veranderingen in het weer hebben hun weerslag op het verkeer op het wegennet: een toename van het aandeel heftige buien leidt naar verwachting tot meer incidenten en heeft zo een negatieve impact op de verkeersafwikkeling. De informatie over verkeersafwikkeling, incidenten en de weergegevens zijn allen opgeslagen in databases. Door het koppelen van deze informatiebronnen is het mogelijk om de data te analyseren en te onderzoeken of er een relatie is tussen neerslag, incidenten en het verkeer. In deze verkennende studie is de relatie dus niet onderzocht met behulp van (voorspellende) modellen, maar is gebruik gemaakt van empirische data die in diverse bronnen in de afgelopen jaren is verzameld.

De interesse van DVS in het koppelen van deze weer- en verkeersgegevens is vanuit een klimaatperspectief. Men wil hiermee meer inzicht verkrijgen in hoe en waar het hoofdwegennet kwetsbaar is voor klimaatverandering. Daarnaast zou deze studie ook waardevolle inzichten kunnen bieden voor aspecten als verkeersveiligheid en verkeersmanagement. Het onderzoek richt op de wegen van het hoofdwegennet waar verkeersgegevens van voldoende niveau beschikbaar zijn.

De doelstelling van het onderzoek is tweeledig:

- nagaan hoe kwetsbaar het wegverkeer is voor neerslag (en veranderingen daarin als gevolg van klimaatverandering)
- het bepalen van een geografische verdeling van wegvakken die kwetsbaar zijn voor (extreme) regenval

In de studie wordt naar incidenten gekeken en naar de bredere invloed die neerslag heeft op het verkeer. Hiervoor zijn neerslaggegevens uit de Buienradar gecombineerd met de informatie uit het verkeerssysteem van Rijkswaterstaat (Monica-gegevens). De TNO-tool ATOL beschikt over minuutverkeersgegevens van het hoofdwegennet waaruit verkeersgegevens zoals filelocaties, het type file en de filewaarte kunnen worden afgeleid. Hieraan zijn de neerslaggegevens over de periode 2007 t/m 2009 van Buienradar én de incidentgegevens over de periode 2007 t/m 2009 (circa 5000.000 incidenten) gekoppeld. Bij de verwerking van de neerslaggegevens blijft de extreme winterse neerslag buiten beschouwing. Deze omstandigheden komen zo weinig voor dat het niet mogelijk is om hier statistisch correcte uitspraken over te doen.

Voor iedere meetlocatie in het ATOL-netwerk zijn na deze koppeling nu de volgende parameters beschikbaar:

- Tijd,
- Locatie,
- Voorspellingshorizon (tijdsverschil tussen voorspellingstijdstip en tijdstip waarop de voorspelling gegenereerd is).
- Neerslag in mm/uur.
- Snelheid in km/uur.
- Intensiteit in vtg/uur.
- Verkeersmanagementmaatregel

Voor de beantwoording van de onderzoeksvragen is vanuit twee invalshoeken gewerkt:

- 1) redenerend vanuit de incidenten (verder genoemd aanpak 1)
- 2) redenerend vanuit de buien (verder genoemd aanpak 2)

In aanpak 1 worden de incidenten als uitgangspunt genomen en wordt gekeken naar de gevolgen van neerslag, in aanpak 2 wordt naar de bredere invloed die neerslag heeft op het verkeer gekeken.

Het onderzoek heeft laten zien dat het mogelijk is om de data van incidenten, neerslag en verkeer op een hanteerbare manier aan elkaar te koppelen en te analyseren. De TNO ATOL-tool maakt de data toegankelijk en de output is te koppelen aan de statistische modellen die verdere uitspraken doen over de relaties tussen variabelen. Het is mogelijk om de kwetsbare wegvakken in Nederland op deze wijze in beeld te brengen.

Verkeersvraag

Gevoelsmatig kan iedereen zich vinden in de gedachte dat neerslag invloed kan hebben op onze vervoersbeslissingen. Op regenachtige ochtenden kiezen mensen eerder voor de auto dan voor de fiets, een bezoek aan het winkelcentrum wordt wellicht even uitgesteld. Hoe deze keuzes en afwegingen uiteindelijk tezamen komen in de verkeersvraag, het aantal voertuigen dat gebruik maakt van het wegennet, is onderzocht. In de analyse gaan we er vanuit dat regen de verkeersvraag beïnvloedt op de momenten vóór aanvang van een reis en op de locaties van waaruit de reiziger vertrekt. Eenmaal onderweg zullen maar weinig mensen besluiten de reis niet te vervolgen. Ruimtelijk gezien wordt de verkeersvraag in dit onderzoek gemeten op de opritten die het onderliggend wegennet verbinden met het snelwegennet.

Uit de analyse blijkt dat gemiddeld genomen de verkeersvraag voor de beschouwde opritten daalt bij neerslag: in de periode 2007-2009 varieert de daling van gemiddeld 1.5% tot 5% (statistisch significant). Lokaal kan er echter wel sprake zijn van stijgingen in de vraag. Dit effect is terug te vinden bij specifieke opritten, maar vertoont geen regionale trends. Ook blijkt het effect tijdstip specifiek: met name rond 7:00 's ochtends en 22:00 's avonds is er een kans dat neerslag leidt tot een lichte toename in het verkeersaanbod.

De resultaten zijn gevoelig voor het criterium dat gebruikt wordt om regenachtige dagen aan te merken. Voor toekomstig onderzoek lijkt het verstandig om 2 separate analyses te produceren voor regenintensiteiten lager dan en hoger dan 10mm per uur. De resultaten voor deze sets lijken namelijk twee afzonderlijke distributies te vormen, oftewel de verkeersvraag reageert anders op zwaardere neerslag dan op milde neerslag en motregen.

Neerslag en incidenten

Op basis van de data in de gecombineerde database blijkt dat 345.663 incidenten gekoppeld konden worden aan informatie over het verkeer en neerslag. In 16% van deze observaties was er sprake van neerslag (55.306 incidenten). Neerslag is hierbij gedefinieerd als de cumulatieve neerslag in het uur rond het incident groter is dan 0. Met een fractie van 16% van het totale aantal incidenten is neerslag significant oververtegenwoordigd ten aanzien van wat men zou verwachten op basis van de gemiddelde tijd dat het regent in Nederland (circa 4% in de gebruikte onderzoek database).

Deze incidentgegevens bij neerslag zijn vervolgens gekoppeld aan de weglocaties zoals opgenomen in ATOL en op kaart weergegeven. Figuur 1 geeft de locaties weer waar in de gebruikte dataset de kans op een incident bij neerslag is afgezet tegen de kans op een incident bij droog weer. Een oranje kleur geeft dus aan dat op die locatie de kans 10 keer zo hoog is bij neerslag.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	6
1.1 Doelstelling	6
1.2 Vraagstelling	7
1.3 Globale aanpak.....	7
1.4 Leeswijzer.....	8
2 Methodiek	9
2.1 Afbakening	9
2.2 Databronnen	10
2.3 Methodiek	11
3 Resultaten	20
3.1 Analyse verkeersvraag	20
3.2 Neerslag en incidenten	39
3.3 Regende het in de periode rondom de incidenten?	40
3.4 Wat was de maximale en gemiddelde neerslagintensiteit bij incidenten ?	41
3.5 Wat was de gemiddelde incidentduur bij bepaalde vormen van neerslag (ernst + afhandelsnelheid)?	43
3.6 Zijn er locaties op het netwerk aan te wijzen waar sterke relaties bestaan tussen incidenten en neerslag?	45
3.7 Invloed van neerslagintensiteit op de kans op incidenten	53
3.8 Zijn er wegkenmerken (zoals op- en afritten, boogstralen etc.) aan te wijzen waar er een sterke relatie is tussen neerslag en incidenten?	54
3.9 De relatie tussen files (VVU) en neerslag.....	56
3.10 Analyse snelheid en neerslag.....	63
3.11 Analyse neerslag en wegcapaciteit	68
4 Samenvatting en conclusies	74
4.1 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	76
BIJLAGE A: Piekintensiteiten per neerslag categorie	78
BIJLAGE B: Incidentlocaties	80
BIJLAGE C: kans op neerslag per neerslagintensiteitscategorie	82

1 Inleiding

Het klimaat verandert en laat steeds vaker extreme weersomstandigheden zien. De effecten van deze veranderingen in het weer hebben hun weerslag op het verkeer op het wegennet: een toename van het aandeel heftige buien leidt naar verwachting tot meer incidenten en heeft zo een negatieve impact op de verkeersafwikkeling. Het komt nu al regelmatig voor dat een klein incident tot congestie op meerdere wegen leidt en dat het uren duurt voordat deze congestie weer is opgelost. Als het in de ochtend- of avondspits regent, leidt dit vaak tot grote problemen op de weg. Het wegennetwerk is dus kwetsbaar of, anders gezegd, niet robuust voor verstoringen. In de afgelopen jaren hebben we al een aantal keer de effecten van extreme neerslag in de praktijk kunnen ervaren. Deze buien worden in kaart gebracht door weerradarsystemen (bijvoorbeeld Buienradar), zodat inzichtelijk wordt waar, wanneer en hoeveel neerslag er gevallen is.

Er is een relatie tussen het weer en de verkeersafwikkeling: als het regent daalt de capaciteit van de weg, als er heftige sneeuwval is neemt het aantal files aanzienlijk toe. Het is interessant om te onderzoeken of er ook een relatie te vinden is tussen de weersomstandigheden en incidenten, en of de incidenten bij extreme buien bijvoorbeeld sterke negatieve effecten op de verkeersafwikkeling hebben. Uit onderzoek van TNO blijkt immers dat incidenten verantwoordelijk zijn voor 25% van het fileleed in Nederland (bron: rapport Operationalisering robuustheid). Als incidenten bij extreme buien meer ellende veroorzaken op het wegennet dan in droge omstandigheden, kan dat dus betekenen dat er zich meer negatieve effecten zullen gaan voordoen.

De informatie over verkeersafwikkeling, incidenten en de weergegevens zijn allen opgeslagen in databases. Door het koppelen van deze informatiebronnen is het mogelijk om de data te analyseren en te onderzoeken of er een relatie is tussen neerslag, incidenten en het verkeer. Deze relatie wordt dus niet onderzocht met behulp van (voorspellende) modellen, maar gebruikt empirische data die in diverse bronnen in de afgelopen jaren is verzameld.

De interesse van DVS in het koppelen van deze weer- en verkeersgegevens is vanuit een klimaatperspectief. Men wil hiermee meer inzicht verkrijgen in hoe en waar het hoofdwegennet kwetsbaar is voor klimaatverandering. Dit sluit niet uit dat deze studie ook waardevolle inzichten kan bieden voor aspecten als verkeersveiligheid en verkeersmanagement.

1.1 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is tweeledig:

- nagaan hoe kwetsbaar het wegverkeer is voor neerslag (en veranderingen daarin als gevolg van klimaatverandering)
- het bepalen van een geografische verdeling van wegvakken die kwetsbaar zijn voor (extreme) regenval

1.2 Vraagstelling

De centrale vraagstelling van het onderzoek is om inzicht te verschaffen in het effect van neerslag op verkeer, door aan te geven waar de kwetsbare netwerklocaties zich bevinden en wat het totale reistijdverlies is (van incidenten) bij extreme weersomstandigheden. Hierbij wordt gekeken naar het Nederlandse hoofdwegennet.

Neerslagdata

Omdat de databases van zowel het weer als het verkeer (inclusief incidenten) een grote hoeveelheid data bevatten is het mogelijk om kwantitatief te onderbouwen welke invloed het weer heeft op verkeersveiligheid en filevertraging. Tegelijkertijd heeft het onderzoek een verkennend karakter: de koppeling is nieuw, de hoeveelheid data is groot en de uitkomsten zijn nog onbekend. De te maken combinaties zijn waarschijnlijk onuitputtelijk, daarom is gekozen om in dit onderzoek op twee manieren de gegevens te analyseren: vanuit de incidentgegevens van het hoofdwegennet (HWN) en vanuit buienradargegevens. De volgende subvragen worden beantwoordt:

Met *incidenten* als uitgangspunt:

- Regende het in de periode rondom het incident?
- Wat was de maximale regenintensiteit gedurende deze periode?
- Wat was de gemiddelde regenintensiteit gedurende deze periode?
- Wat was de gemiddelde incidentduur bij bepaalde vormen van regen (ernst + afhandelsnelheid)?
- Zijn er locaties op het netwerk aan te wijzen waar sterke relaties bestaan tussen incidenten en regenval?
- Zijn er wegkenmerken (zoals op- en afritten, boogstralen etc.) aan te wijzen waar er een sterke relatie is tussen regenval en incidenten?

Met *buien* als uitgangspunt:

- Wat is het effect van regen op het aantal voertuigverliesuren?
- Wat is het effect van regenval op de capaciteit?
- Wat is het effect van regenval op snelheid?
- Zijn er locaties op het netwerk aan te wijzen waar sterke relaties bestaan tussen files en regenval?
- Wat is de invloed van verschillende regenintensiteiten op de kans op incidenten?

1.3 Globale aanpak

Voor de beantwoording van de bovenstaande hoofd- en subvragen is een benadering vanuit twee invalshoeken noodzakelijk:

- 3) redenerend vanuit de incidenten (verder genoemd aanpak 1)
- 4) redenerend vanuit de buien (verder genoemd aanpak 2)

Aanpak 1: de relatie tussen incidenten en weer

Er is gewerkt met de bestaande wegincidenten-dataset die opgebouwd is in een project voor Rijkswaterstaat-DVS waarbij de robuustheid van het hoofdwegennetwerk is geanalyseerd [1]. De dataset bevat ongeveer 500.000 incidenten en is opgebouwd uit de volgende elementen:

- Incidentgegevens (tijd, plaats, duur, ernst) (2007-2009).

- Voertuigverliesuren als gevolg van incidenten (2007-2009).
- Neerslag bij incidenten (2007-2009).

Omdat de data over neerslag in de bestaande database beknopt was is de wegincidenten-dataset verrijkt met uitgebreide neerslaggegevens voor 2007 tot en met 2009. In aanvulling hierop zijn aanvullende verkeersgegevens (snelheid en intensiteit) toegevoegd aan de dataset voor de periode 2007-2009.

Aanpak 2: de relatie tussen weer en voertuigverliesuren

In aanpak 2 wordt niet alleen naar incidenten gekeken, maar naar de bredere invloed die neerslag heeft op het verkeer. Bij deze aanpak wordt geanalyseerd wat de potentiële invloed van neerslag is op de verkeersvraag, de gereden snelheden en de voertuigverliesuren. Hierbij worden de neerslagintensiteiten ingedeeld in categorieën die onderling worden vergeleken ten aanzien van hun effect op het verkeer. Vervolgens worden alle snelwegen in Nederland in de analyse bekeken. Deze aanpak vanuit de buien geeft eerste inzichten in de relatie tussen regenval en verkeer en per wegvak hoe kwetsbaar deze is voor verstoringen door neerslag.

1.4 Leeswijzer

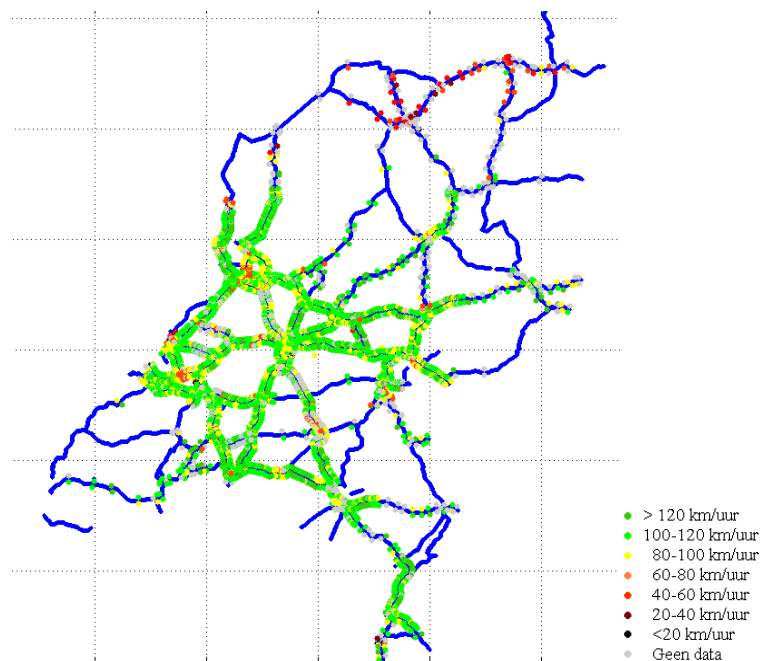
In het volgende hoofdstuk wordt de methodiek toegelicht, evenals de gebruikte databronnen. In hoofdstuk 3 worden de resultaten op de aangegeven subvragen weergegeven. Hoofdstuk 4 bevat de samenvatting, conclusies en aanbevelingen voor vervolgstudie.

2 Methodiek

In dit hoofdstuk wordt de gehanteerde methodiek voor het onderzoek nader beschreven. De gebruikte analysetool ATOL wordt kort beschreven, evenals de databases die in het onderzoek worden gebruikt en de wijze waarop deze gegevens aan ATOL zijn gekoppeld. In de uitwerking van de verschillende onderzoeksvragen wordt vervolgens, waar nodig, een verdere beschrijving van de uitwerking gegeven. Zo wordt bijvoorbeeld bij de vraag naar de effecten op de voertuigverliesuren (VVU) beschreven hoe de berekening van het aantal VVU tot stand is gekomen. Voordat de methodiek beschreven wordt schetst paragraaf 2.1 welke afbakening in het onderzoek van toepassing is.

2.1 Afbakening

Voordat ingegaan wordt op de methodiek en de resultaten is het van belang duidelijk aan te geven dat het onderzoek zich richt op de wegen van het hoofdwegenet waar verkeersgegevens van voldoende niveau beschikbaar zijn. Op sommige (hoofd)wegen ontbreken bijvoorbeeld tellussen of is de afstand tussen de lussen te groot om bijvoorbeeld voertuigverliesuren te kunnen bepalen. Daarnaast ontbreekt soms op de wegen de signalering, waardoor incidenten minder goed worden gedetecteerd. Ter indicatie is in Figuur 1 de ligging van de lussen weergegeven. De blauwe en grijze wegen worden wegens gebrek aan data buiten de analyse gehouden.



Figuur 1: Ligging Monica-lussen (legenda: snelheid 17 december 2009, 00.30 uur)

Bij de verwerking van de weergegevens blijft de extreme winterse neerslag in principe buiten beschouwing. Deze omstandigheden komen zo weinig voor dat het

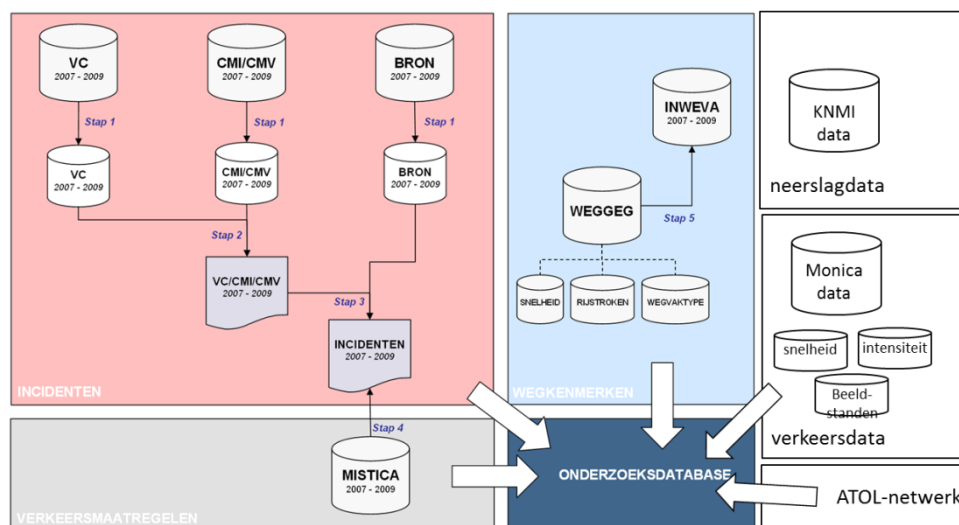
lastig is om hier statistisch correcte uitspraken over te doen. Het effect is ook van een andere orde dan het subtiele verschil waar bij neerslag naar gezocht wordt. Het nader analyseren van de extreme winterse neerslag is in het licht van klimaatverandering, met naar verwachting meer extreme buien, echter zeer relevant. Wanneer het aantal jaren aan neerslag en verkeersgegevens verruimd kan worden, is de gehanteerde aanpak geschikt om met meer data ook de extreme buien nader te analyseren.

2.2 Databronnen

Er wordt in het onderzoek gebruik gemaakt van verschillende gegevensbronnen:

- Verkeersafwikkeling: afkomstig uit de Monicadatabase van Rijkswaterstaat. Deze gegevens bevatten voor de onderzoeksperiode informatie per minuut over de gerealiseerde snelheden (km/u) en intensiteiten (vtg/min).
- Verkeersmanagementmaatregelen: deze zijn opgenomen in de Mistica-database. Wegafzettingen (van alle of enkele rijstroken) zijn daarin te herleiden en worden als indicator van incidenten meegenomen.
- Incidenten: gegevens afkomstig uit een combinatie van incidentdatabases (zie Figuur 2) over de periode jan 2007 tot en met dec 2009. Er zijn 489.860 incidenten in de database opgenomen. Bij elk incident is de tijd en de locatie van het incident meegenomen. Sommige incidenten hebben daarnaast ook de kenmerken incidentduur en incidenttype meegekregen.
- Weersgegevens (periode 2006-heden) zijn afkomstig uit twee bronnen:
 - Neerslagdata is afkomstig uit de KNMI database. Hierin is de locatie, de tijd en de intensiteit van neerslag opgenomen.
 - Weergegevens van het KNMI: voor het meetstation in De Bilt is de temperatuur en de sterkste windvlaag in het afgelopen uur meegenomen. Hierbij geldt dat deze informatie niet representatief is voor heel Nederland, maar gekozen is als indicator voor een korte verkenning van de mogelijke invloed van sneeuw. Wind en temperatuur zijn gebruikt als controlevariabelen en geven inzicht over de mogelijkheden voor toekomstig onderzoek.

In Figuur 2 zijn de gegevensbronnen weergegeven.



Figuur 2: de onderzoeksdatabase m.b.t. verkeersafwikkeling, incidenten en neerslag (bewerking van fig 2.1 uit [1])

In de totale database zitten 489.860 incidenten (over de jaren 2007-2009), met verschillende mate van aanvullende data. Bij 114.476 incidenten waren personenauto's betrokken, bij 32.380 incidenten was dat vrachtverkeer gerelateerd, bij 1.487 incidenten betrof het een motorfiets. Van de overige 343.416 incidenten is het type voertuig onbekend. Daarnaast is er een verschil in de dataset tussen ongevallen (botsingen tussen voertuigen, in totaal 74.877 meldingen) en incidenten (162.955: verloren vracht, gestrande voertuigen, obstakels op de rijbaan). Voor de overige cases is het type incident niet bekend.

2.3 Methodiek

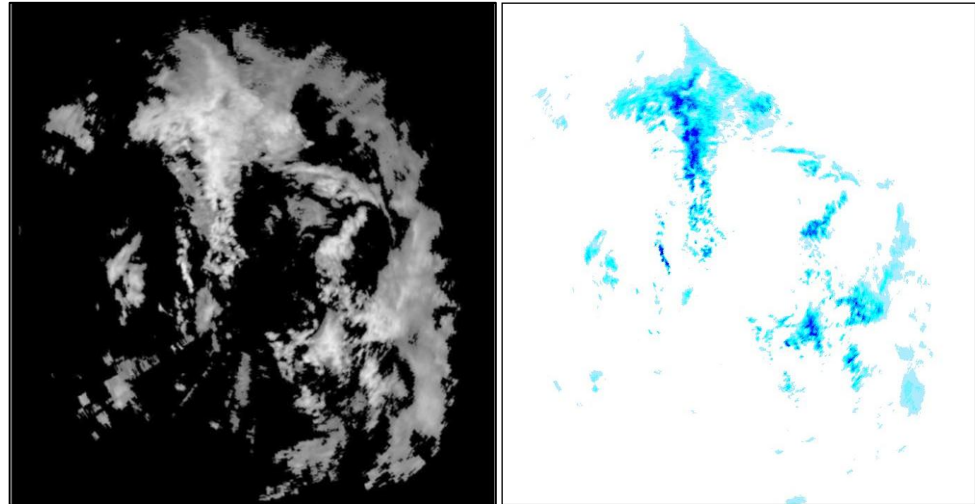
2.3.1 Koppeling databases

Om de effecten van neerslag op het verkeer te kunnen bepalen zijn de neerslaggegevens uit de Buienradar gecombineerd met de informatie uit het verkeerssysteem van Rijkswaterstaat (Monica-gegevens). De TNO-tool ATOL beschikt over minuutverkeersgegevens van het hoofdwegennet waaruit verkeersgegevens zoals filelocaties, het type file en de filezwaarte kunnen worden afgeleid. Hieraan zijn de neerslaggegevens over de periode 2007 t/m 2009 van Buienradar én de incidentgegevens over de periode 2007 t/m 2009 gekoppeld.

Het proces om de informatie uit de databases te koppelen begint met het klaarzetten van het wegennetwerk met meetpunten in de TNO ATOL-tool. Het ATOL wegennetwerk is een collectie wegvakken op het goed bemeten wegennet van Nederland. Voor deze wegvakken is informatie beschikbaar over snelheden, intensiteiten en voertuigverliesuren met een 100m resolutie.

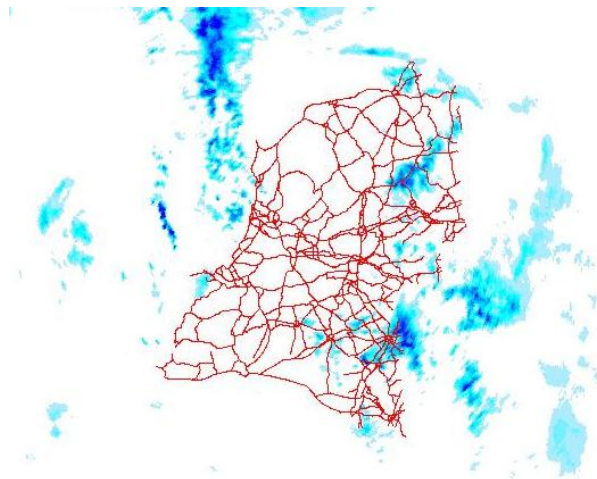
Om de koppeling te maken met de neerslagdata is het coördinatenstelsel voor het ATOL wegennetwerk geconverteerd naar de polair stereografische projectie van de radarbeelden. Zo kan per ATOL-meetpunt de bijbehorende neerslaginformatie gezocht worden. Vervolgens worden één voor één de buienradarbeelden

ingeladen. Buienradarinformatie wordt verstrekt in een HDF5 formaat. Binnen TNO is een inleesroutine ontwikkeld om deze gegevens real-time te kunnen verwerken. Binnen de routine worden de plaatjes geopend en geconverteerd naar neerslagintensiteiten (zie Figuur 3).



Figuur 3: Radar-reflectiviteit (links) en de omzetting naar neerslagintensiteiten (rechts)

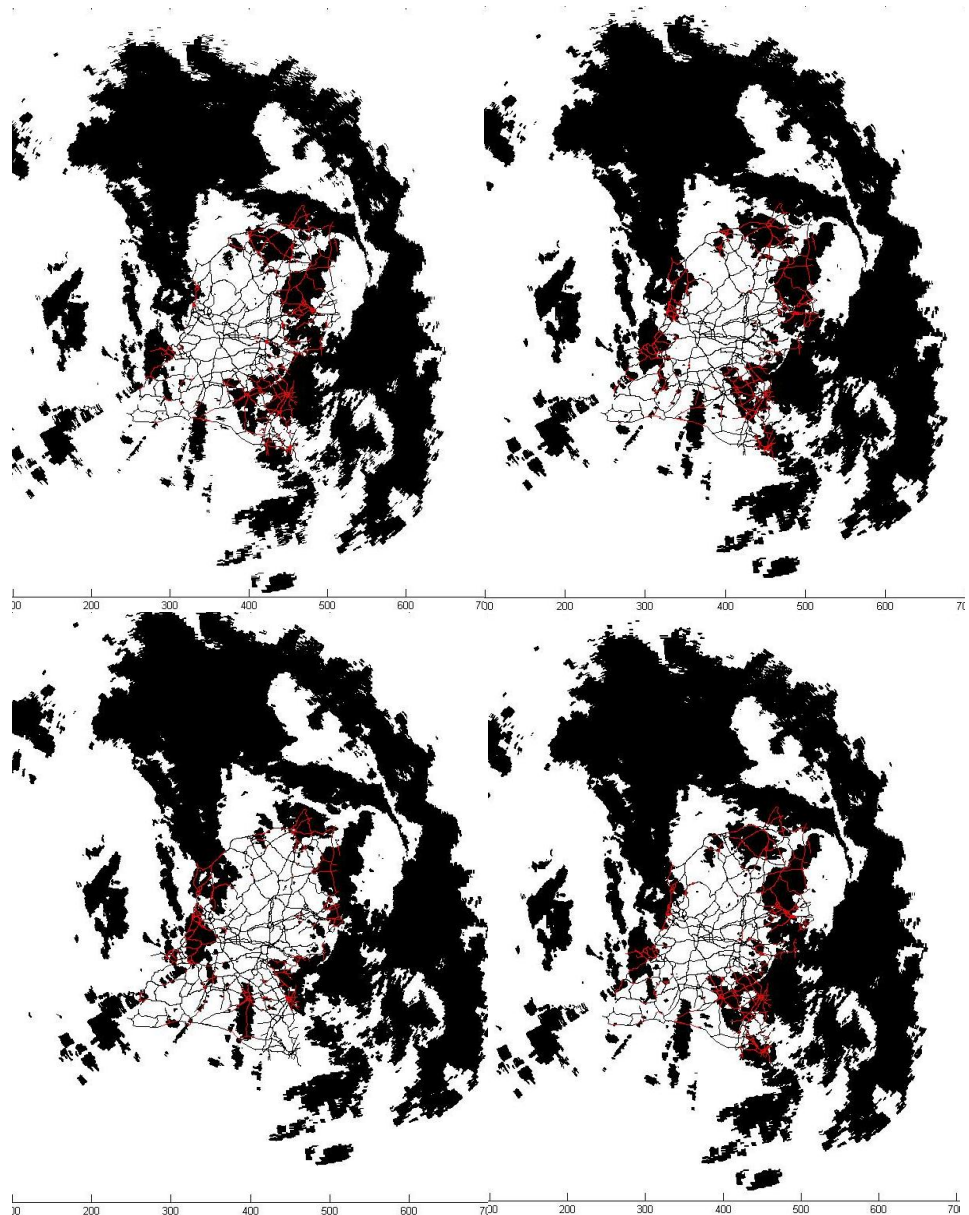
De volgende stap is projectie van ATOL-netwerk op de radarbeelden. Doordat de gehele invoer is vertaald naar hetzelfde coördinatenstelsel is dit eenvoudig. Figuur 4 geeft een illustratie van het proces na de projectie.



Figuur 4: Overlay van het ATOL-netwerk en neerslagintensiteiten

De radarbeelden zijn gegeven in een regelmatig raster van 256 bij 256 vakken (pixels) van 1km bij 1km. De temporele resolutie van de neerslaggegevens is 5 minuten. De neerslagintensiteit (in mm/uur) mag geïnterpreteerd worden als de neerslagintensiteit in het midden van de 1km bij 1km pixel. De waarde voor de neerslagintensiteit op een bepaalde locatie wordt niet eenvoudigweg opgezocht in het dichtstbijzijnde neerslagintensiteitsmeetpunt, maar volgt uit een 2-dimensionale lineaire interpolatie op basis van alle meetgegevens die in de nabijheid van het punt

beschikbaar zijn. Dit levert nauwkeurigere resultaten dan wanneer de regenintensiteit constant gehouden zou worden binnen het gehele 1km bij 1km gebied (pixel c.q. vak). Deze handeling wordt voor alle neerslagbeelden in de studieperiode herhaald. In de onderstaande figuur is een overkomend neerslagfront gevisualiseerd. Neerslag is in Figuur 5 zwart weergegeven. De ATOL-meetlocaties waarop, volgens het algoritme, neerslag valt zijn rood weergegeven. Te zien is dat het algoritme nauwkeurig de neerslagpatronen op de meetlocaties volgt.



Figuur 5: Neerslag (zwart) en het ATOL-netwerk (rood: locaties met neerslag)

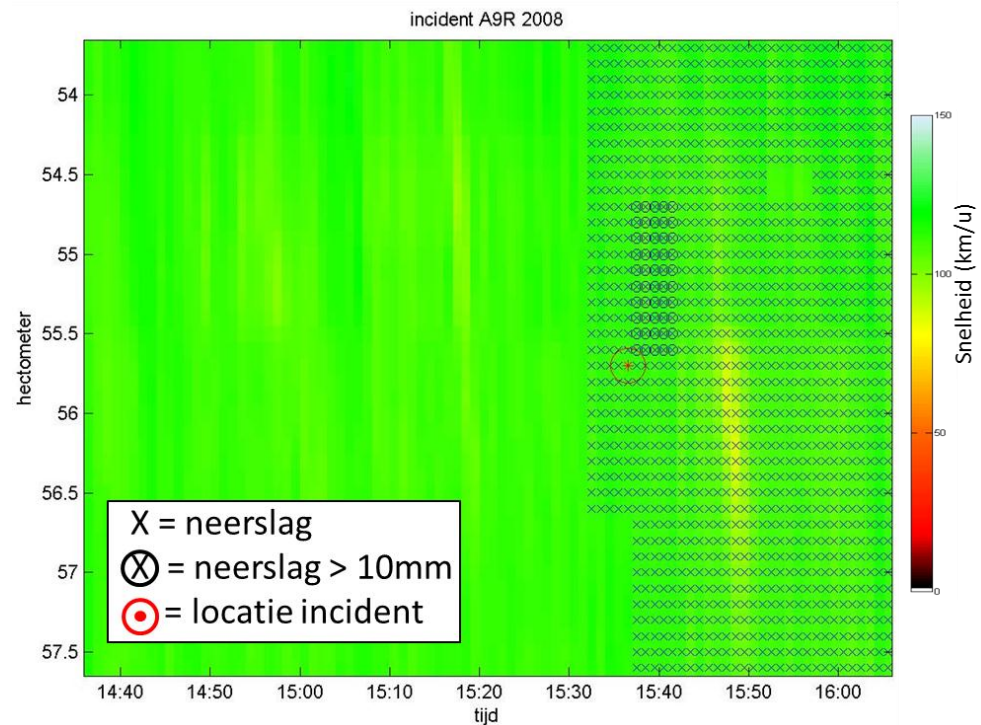
Voor iedere meetlocatie in het ATOL-netwerk zijn na deze koppeling nu de volgende parameters beschikbaar:

- Tijd,
- Locatie,

- Voorspellingshorizon (tijdsverschil tussen voorspellingstijdstip en tijdstip waarop de voorspelling gegenereerd is).
- Neerslag in mm/uur.
- Snelheid in km/uur.
- Intensiteit in vtg/uur.
- Verkeersmanagementmaatregel

De waarden behorende bij de neerslagmeting (geen voorspelling, horizon = 0) worden in een database opgeslagen voor verder gebruik in dit project.

De incidenten in de periode 2007-2009 zijn al in een eerder onderzoek [1] gekoppeld aan het ATOL netwerk. Dit maakt het mogelijk om voor een wegvak rondom een incident en een tijdspanne voor en na het incident de bijbehorende verkeersgegevens en neerslaggegevens te verzamelen. Dit resulteert in zogenaamde vlekkenkaarten voor al de genoemde variabelen (snelheid, intensiteit, neerslagintensiteit). Om de lezer een indruk te geven van dit proces en de bijbehorende uitdagingen zijn in onderstaande figuren een aantal typische vlekkenkaarten weergegeven. Neerslag is in de figuren weergegeven als zwarte kruisjes. Het tijdstip en de locatie van de incident zijn als rode ster aangegeven.

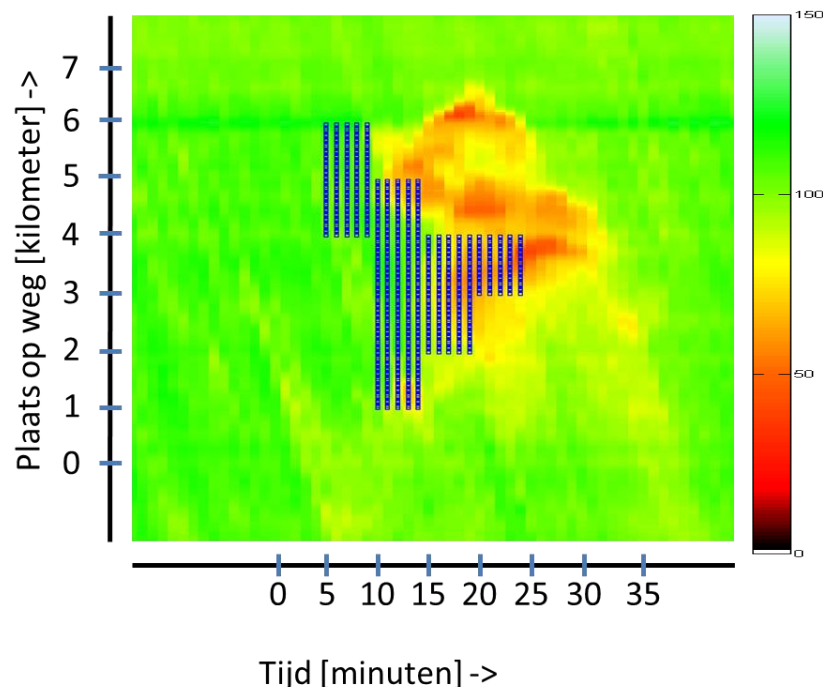


Figuur 6: Incident op de A9, rijrichting rechts, in het weekend. Kleur geeft de snelheid weer.

In Figuur 6 is langs de horizontale as de tijd van de dag weergegeven en de verticale as geeft de positie langs de weg weer. Het incident vindt plaats gedurende rustige middaguren in het weekeinde en heeft dan ook vrijwel geen gevolgen in termen van vertraging. De snelheden rondom het incident dalen dan ook nauwelijks, dit is te zien aan de groene kleur (100+km/uur) in de figuur. Het incident (circa 15.38 uur) vond plaats kort nadat het begon met regenen (circa 15.34 uur) en valt vrijwel gelijk met het moment dat de neerslagintensiteit over de 10mm/uur grens heen ging (alle intensiteiten hoger dan 10mm/uur zijn in de figuur zwart omcirkeld).

Het is in theorie zo eenvoudig dat we simpelweg de neerslagintensiteit aflezen op het moment en de locatie waarop een incident geregistreerd is en daarmee verder rekenen. Helaas is de praktijk wispelturiger en zijn er twee complicaties. De eerste complicatie is het voorkomen van registratiefouten in de incidentdatabase. Een incident wordt door de centrale geregistreerd op het moment dat het door wegininspecteurs, de politie of de ANWB wordt doorgegeven. Dit is grotendeels mensenwerk, zodat 15-20 minuten verschil tussen de registratie en het daadwerkelijke incidentmoment geen uitzondering is.

De volgende complicatie is de relatie tussen radarbeelden, neerslag en verkeerseffecten. De radarbeelden geven een overzicht van de radarreflectie, die omgerekend kan worden naar een neerslagintensiteit. Afhankelijk van de wolkhoogte en de windomstandigheden kan deze neerslag op een andere plek en een ander tijdstip vallen dan de radarreflectiekaart voorspelt. Een voorbeeld van een dergelijke verschuiving is gegeven in Figuur 7.



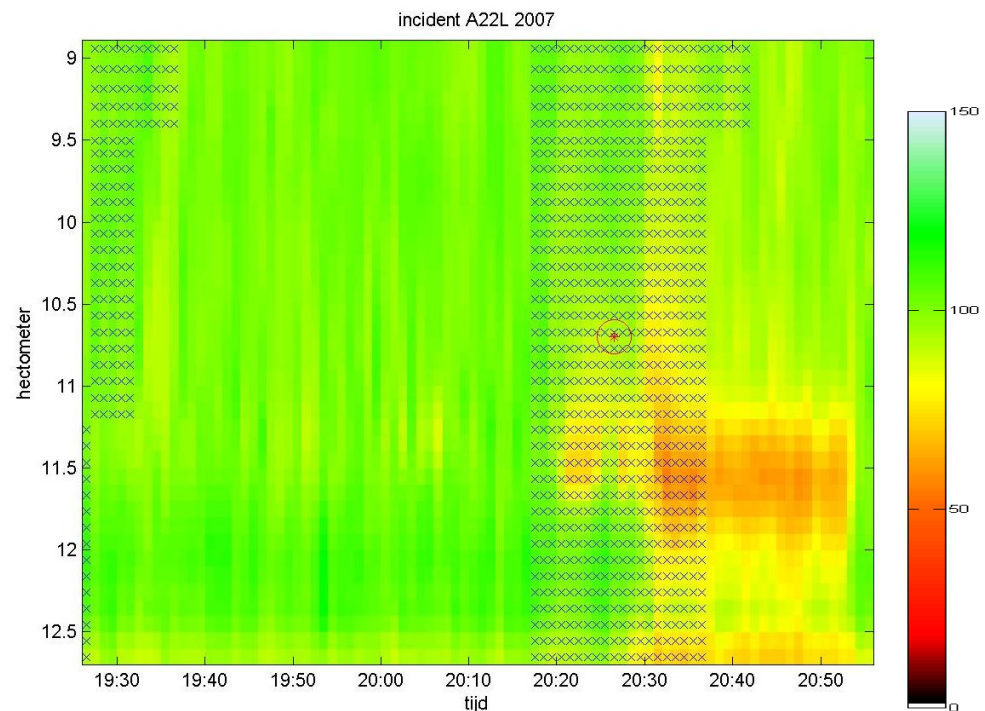
Figuur 7: Verschuiving tussen neerslag uit buienradar en een effect op de snelheden op de weg.

Figuur 7 toont een ingezoomde weergave van de vlekkenkaart voor een weg die zeer plotseling en kortstondig te leiden had onder intense neerslag. We zien de typische vorm van het neerslagpatroon terug in de vorm van de snelheidsdalingen op het wegvak. Het is duidelijk te zien dat de voorspelde neerslag niet direct tot een effect heeft geleid.

In de literatuur wordt voor grote regendruppels (ca 5mm doorsnede) een gemiddelde valsnelheid circa 9m/s genoemd [2]. Dergelijke grote druppels vallen over het algemeen uit hoger gelegen wolken van meer dan 5 km hoogte. Op basis van deze getallen kan een gevoel ontwikkeld worden bij de vertraging tussen het vallen van een druppel en het moment dat deze de aarde bereikt. Deze ligt tussen de 7.5 en 20minuten, afhankelijk van de wolkhoogte en druppelgrootte. Voor

accurate getallen kan men het beste contact opnemen met de specialisten bij het KNMI.

In de figuur is er sprake van een vertraging van circa 15 minuten tussen de neerslag volgens de buienradar en het significante verkeerseffect. Een soortgelijk effect zien we terug in Figuur 8.



Figuur 8: Voorbeeld verschuiving tussen neerslag en het verkeersbeeld.

In Figuur 8 zien we een band van neerslag tussen 20:18 en 20:36. Het is lastig te zien maar de snelheden dalen in een soortgelijk patroon tussen 20:28 en 20:54. De verklaring moet gezocht worden in verschillen in windsterkte, windrichting en wolkhoogte die ertoe leiden dat de neerslag valt op andere tijd en plaats dan dat deze door de radar geobserveerd wordt. Ook is er sprake van 2 verschillende invloeden van neerslag op verkeer. Het primaire effect is verminderd zicht door o.a. neerslag op de voorruit. Na enige tijd wordt dit effect versterkt door opspattend secundair water dat op de weg verzameld is.

Om rekening te houden met de onnauwkeurigheden in de registratie van de neerslag en de incidenten werken we in de analyse met kentallen over neerslag rondom een incident. Per incident zoals in Figuur 8 zijn dit:

- De cumulatieve neerslag in de periode 15, 30, 45 en 60 minuten voor een incident;
- De gemiddelde neerslagintensiteit over de cellen in het gebied waarin neerslag geregistreerd is; en
- De maximale neerslagintensiteit in het gebied.

Deze attributen worden toegevoegd aan de database over de incidenten. Een illustratie van de resulterende dataset is gegeven in Figuur 9.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	datum	road	directie	hm	Mistloc	datumStartMis	datumEndMis	nr	VVU	VVUref	maxRain	avgRain	cumulRain15	cumulRain30	cumulRain45	cumulRain60	rainPer	weekday		
2	1-1-2007 16:40 A10	R	13,9	0 NaN		NaN	NaN	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3868	2
3	2-1-2007 11:08 A10	R	12,5	0 NaN		NaN	NaN	1	2	1	0	5	0,98889	15	20	25	43	4,427	3	
4	3-1-2007 18:38 A10	R	30	1	3-1-2007 18:38	3-1-2007 18:48	1	3	1	36,3147	44,1151	0	0	0	0	0	0	0	5,543	4
5	3-1-2007 18:50 A10	R	4,1	0 NaN		NaN	NaN	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1214	4
6	4-1-2007 0:00 A10	R	24,8	0 NaN		NaN	NaN	1	5	1	0	0	1	0,16667	8	8	8	8	6,417	5
7	4-1-2007 8:16 A10	R	12,2	0 NaN		NaN	NaN	2	6	1	69,8787	238,8829	2	0,56667	7	28	49	49	4,2294	5
8	4-1-2007 9:02 A10	R	12,3	0 NaN		NaN	NaN	2	7	1	6,4785	28,2488	3	0,44444	5	15	15	40	4,2953	5
9	4-1-2007 20:23 A10	R	31	0 NaN		NaN	NaN	1	8	1	0	0	2	0,16667	0	5	5	15	4,1788	5
10	5-1-2007 6:00 A10	R	13,6	0 NaN		NaN	NaN	1	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1759	6
11	5-1-2007 14:35 A10	R	12,8	0 NaN		NaN	NaN	2	10	1	16,7023	1,3489	0	0	0	0	0	0	4,6272	6
12	5-1-2007 16:52 A10	R	8,2	0 NaN		NaN	NaN	1	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,2598	6
13	6-1-2007 22:10 A10	R	22,8	0 NaN		NaN	NaN	1	12	1	0	0	6	2,0444	13	72	124	157	5,1475	7
14	8-1-2007 13:07 A10	R	12,7	0 NaN		NaN	NaN	1	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5604	2
15	8-1-2007 14:16 A10	R	17,7	0 NaN		NaN	NaN	1	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8,1448	2
16	8-1-2007 18:26 A10	R	14,3	0 NaN		NaN	NaN	1	15	1	57,0517	2,0533	4	0,73333	23	27	27	5,668	2	
17	8-1-2007 20:38 A10	R	21,3	0 NaN		NaN	NaN	1	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1523	2
18	9-1-2007 9:15 A10	R	12,2	0 NaN		NaN	NaN	2	17	1	194,4068	49,9469	0	0	0	0	0	0	4,2294	3
19	9-1-2007 15:49 A10	R	29,2	0 NaN		NaN	NaN	1	18	1	774,3355	661,1874	0	0	0	0	0	0	7,0908	3
20	9-1-2007 17:29 A10	R	26,3	0 NaN		NaN	NaN	1	19	1	106,0352	200,2844	0	0	0	0	0	0	8,9019	3
21	9-1-2007 17:55 A10	R	18,5	0 NaN		NaN	NaN	3	1	1	283,1549	380,1396	0	0	0	0	0	0	7,5796	3
22	10-1-2007 18:15 A10	R	26,1	0 NaN		NaN	NaN	1	20	1	175,209	123,0655	0	0	0	0	0	0	8,5701	4
23	10-1-2007 18:33 A10	R	25,5	0 NaN		NaN	NaN	1	21	1	72,0564	34,1893	0	0	0	0	0	0	7,5667	4
24	11-1-2007 11:20 A10	R	30,9	0 NaN		NaN	NaN	1	22	1	31,1981	7,5249	0	0	0	0	0	0	4,1827	5
25	11-1-2007 11:30 A10	R	16,3	0 NaN		NaN	NaN	1	23	1	0	0	1	0,17778	0	9	10	10	8,3403	5
26	11-1-2007 12:35 A10	R	20,4	0 NaN		NaN	NaN	1	24	1	3,0828	0,39525	1	0,13333	0	0	0	0	6,3528	5
27	11-1-2007 15:16 A10	R	24,9	0 NaN		NaN	NaN	1	25	1	0	0	7	1,2889	45	61	76	80	6,5812	5
28	11-1-2007 20:29 A10	R	20	0 NaN		NaN	NaN	1	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3921	5
29	12-1-2007 9:51 A10	R	13,6	0 NaN		NaN	NaN	1	27	1	0,81428	0,118	0	0	0	0	0	0	5,1759	6
30	12-1-2007 9:59 A10	R	17,2	0 NaN		NaN	NaN	3	1	1	0,93394	0,11598	0	0	0	0	0	0	8,0188	6
31	12-1-2007 16:41 A10	R	30	0 NaN		NaN	NaN	1	28	1	5,5472	0,15338	0	0	0	0	0	0	4,2566	6
32	12-1-2007 18:10 A10	R	31	0 NaN		NaN	NaN	1	29	1	8,6367	6,6844	0	0	0	0	0	0	4,1788	6
33	15-1-2007 8:03 A10	R	7,8	0 NaN		NaN	NaN	1	30	1	48,1175	17,7484	0	0	0	0	0	0	4,2448	2
34	15-1-2007 8:08 A10	R	6,8	0 NaN		NaN	NaN	1	31	1	40,7318	16,1407	0	0	0	0	0	0	4,1908	2
35	15-1-2007 8:26 A10	R	14,2	0 NaN		NaN	NaN	2	1	1	224,7144	94,8967	0	0	0	0	0	0	5,5977	2
36	15-1-2007 8:54 A10	R	12,2	0 NaN		NaN	NaN	2	1	1	197,6281	112,7754	0	0	0	0	0	0	4,2294	2
37	15-1-2007 9:32 A10	R	13,2	0 NaN		NaN	NaN	2	1	1	16,8229	11,4145	0	0	0	0	0	0	4,8969	2
38	15-1-2007 17:03 A10	R	26,5	0 NaN		NaN	NaN	1	32	1	493,3749	220,0757	0	0	0	0	0	0	9,3337	2
39	15-1-2007 17:40 A10	R	26,6	0 NaN		NaN	NaN	1	33	1	390,1447	124,4724	0	0	0	0	0	0	9,3327	2
40	15-1-2007 18:34 A10	R	3,6	0 NaN		NaN	NaN	1	34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1366	2

Figuur 9: Een indruk van de 500.000 regels lange database van incidentgegevens, uitgebreid met neerslagstatistieken

Per regel in de database zijn op deze manier de gemiddelde (kolom N), maximale (kolom M) en cumulatieve waarden (kolommen O-R) voor de neerslag rondom het incident gegeven.

In dit onderzoek zijn de locatie van een incident en van de regenbui dus ruimer gedefinieerd. Voor de koppeling van de incidenten en neerslag is in dit onderzoek het volgende aangehouden:

- Een periode van 60 minuten voor het incident tot 30 minuten erna
- Regenbui: 500 meter stroomopwaarts en stroomafwaarts langs de weg

2.3.2 Statistische analyse

Voor de statistische analyse op deze empirische data is in aanpak 1 een tweetal regressie analysemodellen gebruikt: een Ordinary Least Squares (OLS)-model en een Fixed Effects-(FE) model. Er is gekozen voor een combinatie van modellen, omdat beide hun voor- en nadelen hebben voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen:

1) OLS: ordinary least squares

Het voordeel van deze methode is dat het eenvoudig te interpreteren is en het biedt de mogelijkheid om locatiekarakteristieken in de analyse mee te nemen. Daarbij moet gedacht worden aan kenmerken als: is het een brug, knooppunt, afrit etc. Het model is relatief krachtig in het verklaren van de relatie tussen neerslag en VVU/incident duur en kan aangeven welke locatie het meest kwetsbaar is op al de meegenomen variabelen. Daarnaast heeft dit model weinig computerkracht nodig voor de berekeningen. Het nadeel van het model is dat het alle kenmerken gelijk behandelt: een brug in Amsterdam wordt precies hetzelfde gezien als een brug in Rotterdam, ook al verschillen ze in praktijk (qua aantal rijstroken, type wegdek, aanwezigheid vluchtstroken etc.). De variatie hierin wordt niet meegenomen, terwijl het wel bepalend kan zijn voor de incidenten (bij ZOAB is het wegdek eerder droog dan bij DAB, waardoor ook de effecten van neerslag op de verkeersafwikkeling beïnvloedt worden).

2) FE: Fixed Effects

In het FE-model wordt de variatie in wegkenmerken wel meegenomen. Hierbij wordt het wegennet opgedeeld in hectometers en krijgt elke hectometer een nummer. Per hectometer zijn verschillende karakteristieken meegegeven (aantal rijstroken, afstand tot de stad, nabij op- en afrit, wegoppervlak etc). Hierbij wordt ook verschil gemaakt tussen de linker- en rechterrijbaan. FE corrigeert voor deze kenmerken in de analyse. Wanneer zich op een hectometer meerdere incidenten voordoen worden deze gegroepeerd. Met dit model wordt niet zozeer gekeken naar wáár de incidenten zich voordoen, maar ligt de focus op het waarom daar en de invloed van regen daarbij. De geschatte coëfficiënten uit de analyse komen dichterbij de 'true' coëfficiënt, omdat er geen bias is voor ongeobserveerde wegkarakteristieken (zoals wegoppervlak). Het nadeel is dat we niet langer kunnen bepalen welke wegekarakteristiek verantwoordelijk was voor de verandering in congestie en incidentduur.

In de statistische analyse staan twee elementen centraal: congestie en incidenten. Voor elke categorie is een vulling van tenminste 300 observaties nodig om betrouwbare uitspraken te kunnen doen. Wanneer gekeken wordt naar de buien in Nederland, dan blijkt dat er veel buien zijn met weinig neerslag (veel waarden in de laagste categorie). Buien met een intensiteit van meer dan 30 mm komen in de periode 2007-2009 weinig voor, waardoor 1 uitschieter de resultaten sterk kan beïnvloeden. Voor een betere uitspraak over dergelijke extreme weersomstandigheden zou er over een langere periode gekeken moeten worden.

In aanpak 2 (met daarin de buien als uitgangspunt) is geen gebruik gemaakt van de bovengenoemde modellen.

2.3.3 *Classificatie neerslag*

Om voldoende vulling te krijgen in de verschillende categorieën neerslag is in aanpak 1 gekozen voor een indeling waarbij er in elke categorie min of meer evenveel observaties vallen.:

1. 0-1 mm neerslag
2. 1-2 mm neerslag
3. 2-5 mm neerslag
4. 5-60 mm neerslag

In aanpak 2, waar de buien centraal staan is de neerslag in andere klassen ingedeeld, te weten:

- 0-2mm
- 2-5mm
- 5-10mm
- 10-20mm
- 20-50mm
- 50-200mm

Deze klassen zijn gebaseerd op de daadwerkelijke neerslag (per uur) en zo gekozen dat in elke klasse voldoende waarnemingen zijn opgenomen om statistische uitspraken over te kunnen doen. Deze data wordt vervolgens in de TNO tool ATOL geladen, zodat de geografische locatie van de bui bepaald kan worden en de match met de wegen te maken is. Uiteraard wordt hierbij hetzelfde

wegennetwerk als in aanpak 1 (zie Figuur 2) aangehouden. Buien die niet op de weg vallen worden in deze analyse niet meegenomen.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van het verkennende onderzoek naar Neerslag en Verkeer. Voordat de resultaten van de benadering vanuit de incidenten (verder genoemd aanpak 1) en de benadering vanuit de neerslag (verder genoemd aanpak 2) worden weergegeven wordt eerst ingegaan op de analyse van de verkeersvraag. Vervolgens worden de verschillende onderzoeksvragen zoals opgenomen in paragraaf 1.2 achtereenvolgens behandeld.

3.1 Analyse verkeersvraag

Gevoelsmatig kan iedereen zich vinden in de gedachte dat neerslag invloed heeft op onze vervoersbeslissingen. Op regenachtige ochtenden kiezen mensen eerder voor de auto dan voor de fiets. Een bezoek aan het winkelcentrum wordt bij hevige regenval wellicht even uitgesteld. Anderzijds zijn er ook mensen die geen werkelijke keuze kunnen maken en, weer of geen weer, dezelfde reis naar bijvoorbeeld hun werkplek maken.

Hoe al deze keuzes, afwegingen en gevoelens uiteindelijk tezamen komen in de verkeersvraag, het aantal voertuigen dat gebruik maakt van het wegennet, is grotendeels onbekend. Dat regen leidt tot meer vertraging en files op de weg is bekend. De mate waarin dit toe te schrijven is aan een verslechterde verkeersafwikkeling enerzijds of een toegenomen verkeersvraag anderzijds is op basis van de verkeersdata in Nederland nog niet structureel onderzocht. Deze paragraaf geeft de eerste inzichten van een dergelijk onderzoek.

3.1.1 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Bij het onderzoek naar de verkeersvraag blijven de extreme winterse neerslag buiten beschouwing, zoals ook aangegeven in paragraaf 2.1.

In de analyse gaan we er vanuit dat regen de verkeersvraag beïnvloedt op de momenten voor aanvang van een reis en op de locaties van waaruit de reiziger vertrekt. Eenmaal onderweg zullen maar weinig mensen besluiten de reis niet te vervolgen. Dit betekent dat voor een analyse een indeling in ruimte en tijd nodig is. Een tijdsperiode van 1 uur is klein genoeg om de tijdelijke invloed van files op de verkeersintensiteiten te verdisconteren.

Ruimtelijk gezien wordt de verkeersvraag in dit onderzoek gemeten op de opritten die het onderliggend wegennet verbinden met het snelwegennet. Een reis tussen een herkomst en bestemming passeert in de meeste gevallen maar één oprit die het onderliggend wegennet verbindt met het snelwegennet. Een reis passeert echter, afhankelijk van de lengte en routing meerdere tellussen op de snelweg. Er kan als gevolg niet met zekerheid worden gesteld of een toegenomen intensiteit op een snelwegdetectielus het gevolg is van veranderde routes (langer, over andere wegen) of een veranderde verkeersvraag. Daarnaast geldt voor snelweglussen dat onbekend is waar een voertuig dat de lus passeert zijn reis is begonnen of wanneer. We weten niet of we voor een voertuig gemeten nabij Den Haag moeten kijken naar de regenval in Amsterdam of Rotterdam en ook niet exact op welke tijdstippen. Het is dus onmogelijk om een koppeling te maken tussen de regenval

op het tijdstip en de locatie van aanvang van een reis en de meting van dit voertuig ergens op de snelweg.

Voor opritten gelden deze bezwaren in mindere mate. De meeste reizen passeren slechts één oprit die het onderliggend wegennet met het snelwegennet verbindt. Daarnaast is het aannemelijk dat voertuigen de grootste afstand van een reis afleggen via de snelweg. De opritten worden voornamelijk aan het begin van een reis aangedaan. Anders gezegd, de meeste voertuigen op de oprit zullen hun oorsprong hebben in de directe omgeving van de oprit. We nemen bij de vraaganalyse aan dat een oprit hoofdzakelijk gevoed wordt door een (bij benadering) cirkelvormige regio rondom een oprit met een doorsnede van circa 10km. We nemen daarnaast aan dat de cumulatieve neerslag binnen dit gebied binnen een uur een redelijke afspiegeling vormt van de omstandigheden die bestuurders ondervonden bij aanvang van hun reis.

We nemen daarnaast aan dat voor iedere dag een referentieverkeerspatroon uitgerekend kan worden door te kijken naar soortgelijke dagen in de historie van een meetpunt.

De analyse valt uiteen in de volgende substappen:

- Identificatie van opritlocaties waarop verkeersintensiteiten gemeten worden
- Neerslaginformatie voor invloedsgebieden rondom de opritten
- Collectie van de verkeersdata en berekening van de referentie-verkeersvraag
- Analyse van de invloed van regenachtige dagen.

3.1.2 *Identificatie van opritten in de verkeersdata*

Het uitgangspunt van de vraagmeting in deze analyse zijn opritten die het onderliggend wegennet verbinden met het snelwegennet en waar tellussen de passerende voertuigen meten. In het Nederlandse meetsysteem Monica zijn dergelijke lussen identificeerbaar middels de zogenaamde DVK-code, deze heeft in die gevallen het kenmerk "oprit". In onderstaande Figuur 10 is een kaart van Nederland weergegeven met daarop de opritlocaties die middels de DVK code geïdentificeerd konden worden.



Figuur 10: Oprit-tellussen in Nederland volgens de DVK codering.

Het betreft **350** opritten die voorzien zijn van lusdetectoren¹. Een aantal zaken valt meteen op. Het aantal meetlocaties lijkt op het eerste gezicht beperkt. Met name in de randstad zijn er veel minder tellocaties dan men op basis van het nauw verweven wegennet daar zou mogen verwachten. De oorsprong van dit probleem zit hem in de DVK codering. Een lus op een oprit ter hoogte van een locatie waar twee stroken eerst bijeen gevoegd worden alvorens zich bij de hoofdstroom te voegen kan als weefstrook gemarkeerd staan. Er bestaan meerdere van deze alternatieve coderingen die ervoor kunnen zorgen dat de lus niet direct als oprit identificeerbaar is.

Verder zijn de locaties redelijk verspreid over Nederland. Het is een redelijke mix van opritten nabij bevolkingscentra en opritten in afgelegen gebieden.

Niet alle opritten hebben gedurende het hele jaar goede metingen opgeleverd. Sommige meetlussen zijn al enige jaren buiten bedrijf en wachten op budget voor herstel. Meestal betreft het hier meetlussen in meer afgelegen gebieden waar het belang van de informatie minder groot is. Wanneer deze structureel uitgevallen lussen genegeerd worden blijven er **261** operationele meetlocaties over. Een groter

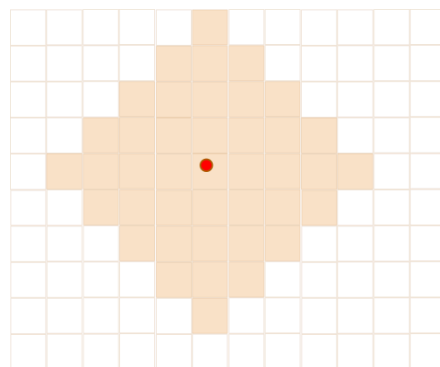
¹ Nadat de hier beschreven analyse was uitgevoerd bleek dat er mogelijk meer en betere informatie beschikbaar is van de opritten in Nederland. In een eventueel vervolgonderzoek zou deze nieuwe kaart benut moeten worden.

probleem is periodieke uitval van meetlussen. Om problemen door seizoensinvloeden (bijvoorbeeld een lus die uitvalt gedurende het natste seizoen) te voorkomen worden alleen meetlocaties meegenomen die minimaal 80% van de tijd correct gemeten hebben. We nemen aan dat een lus uitgevallen is indien er gedurende een uur minder dan 1 voorbijgaande auto wordt gedetecteerd. Zelfs de meest rustig gelegen lussen meten minimaal 1 auto per uur gedurende de nachtelijke uren. De verwijdering van slecht metende lussen geschiedt per jaar voor elk van de studiejaren. De resterende meetlocaties zijn dan:

Jaar	# valide meetlocaties
2007	154
2008	193
2009	166

3.1.3 Neerslaginformatie voor invloedsgebieden rondom de oprit

De opritlocaties worden vervolgens geprojecteerd op de neerslagradarbeelden. De radarbeelden bestaan in de geanalyseerde jaren uit een regelmatig raster van 256 bij 256 vakken van 1km bij 1km. Allereerst wordt de opritlocatie geprojecteerd op het neerslagradargrid, daarna wordt een bij benadering cirkelvormig gebied met een diameter van circa 10km uit de omliggende pixels gekozen en aan de oprit toegekend. Een voorbeeld van een dergelijk invloedsgebied ziet men in Figuur 11.



Figuur 11: Invloedsgebied rondom een oprit

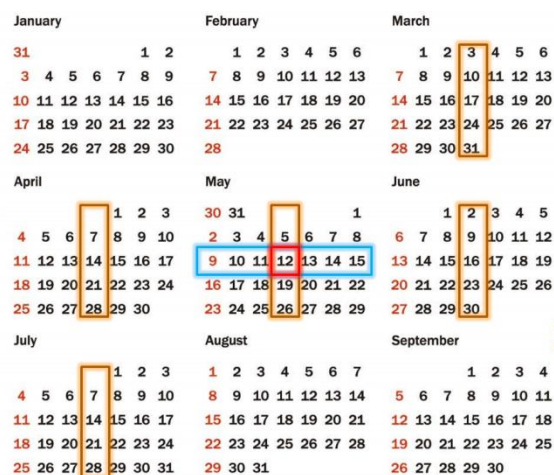
Voor ieder van de in Figuur 11 getekende pixels wordt de neerslaginformatie opgehaald uit alle radarbeelden over 2007-2009 en opgeslagen. In de analyse wordt gerekend met de cumulatieve neerslag, de som over alle pixels, als indicator voor de neerslag in de nabijheid van een oprit.

Voor elk van de geïdentificeerde lussen kan eenvoudig de verkeersdata voor de onderzoeksjaren uit ATOL worden opgehaald. De data waarmee gewerkt wordt zijn zogenaamde voertuigintensiteiten, tellingen van het aantal voertuigen dat de meetlus in een bepaalde minuut passeert. Wanneer men deze gegevens bekijkt dan ziet men dat er bepaalde trends in de data zitten. Binnen een week kunnen er significante verschillen zijn tussen de metingen op bijvoorbeeld een woensdag en de erop volgende donderdag. De verschillen met dezelfde weekdag een week eerder of later zijn vaak veel kleiner. Een uitzondering hierop vormen de

vakantieperioden, alwaar de overige dagen in een vakantie week vaak veel sterker op elkaar lijken dan op de dagen van de erop volgende werkweek.

3.1.4 Bepaling referentieverkeersvraag

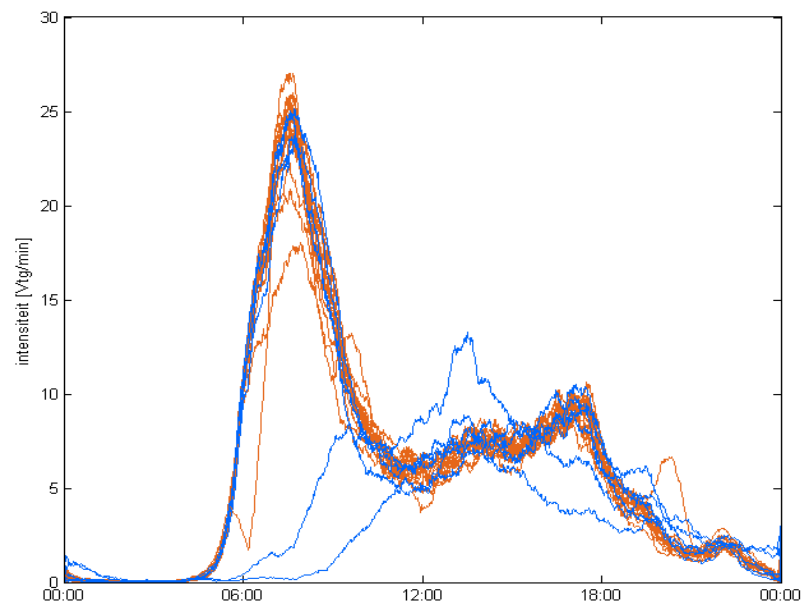
De overeenkomsten tussen dagen worden gebruikt bij de berekening van een referentie-verkeersvraag per dag per meetlocatie. Een referentie betekent in dit geval de verkeersvraag zoals die op basis van de nabije meethistorie verwacht wordt. De referentie wordt gebaseerd op een basis-set aan referentiedagen. Deze dagen zijn de weekdays in de 2 maanden voor en na de dag waarvoor de referentie uitgerekend wordt alsmede de overige dagen in dezelfde week. Ter illustratie is in de basis-referentieset geïllustreerd in een kalender.



Figuur 12: Opbouw referentieset voor wo. 12 Mei (rood), bestaande uit woensdagen in de weken ervoor en erna (oranje) en de overige dagen in dezelfde week (blauw)

De intensiteiten uit de dagen in de referentieset zijn in Figuur 13 uitgezet tegen de tijd van de dag. In de figuur is hetzelfde kleurenschema aangehouden als in de bovenliggende figuur. De dagen in dezelfde week zijn blauw gekleurd, de weekdays zijn oranje.

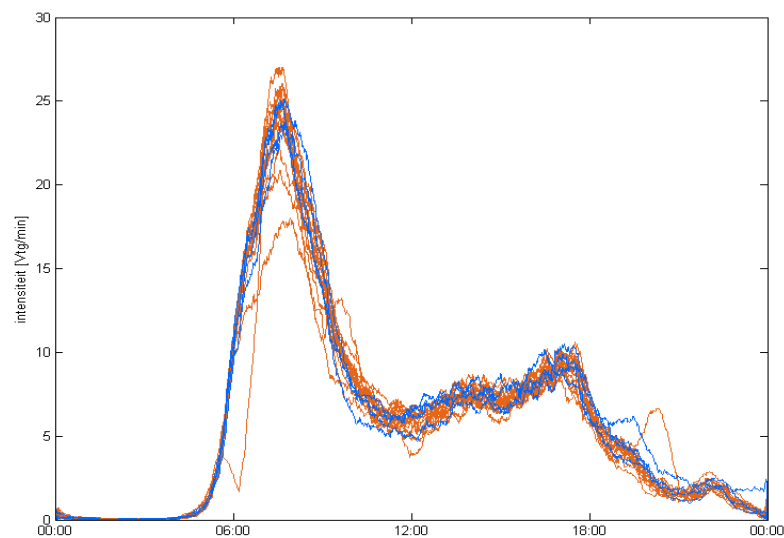
De twee dagen met een sterk afwijkend patroon vallen direct op. Dit zijn de zaterdag en zondag uit dezelfde week. Ook zijn er dagen met een opvallend lager liggende intensiteit. Deze volgen uit de vakantieperiode.



Figuur 13: Intensiteiten van de referentieset. De dagen in dezelfde week zijn blauw gekleurd, dezelfde weekdays in de omringende weken zijn oranje.

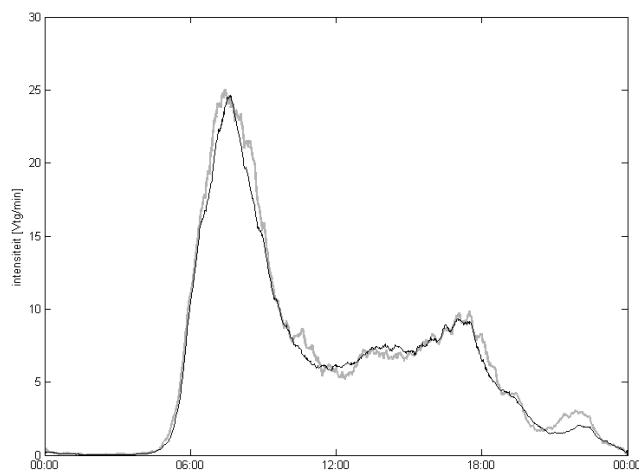
De referentie wordt uitgerekend via een 2-staps procedure. Eerst worden de best passende dagen geïdentificeerd, daarna wordt over de resterende dagen de mediaan uitgerekend.

De best passende dagen volgen uit een correlatieanalyse tussen de dagen in de set en dag waarvoor een referentie gewenst is. Dagen die overduidelijk niet passen bij het verkeersbeeld op de doel-dag correleren slecht met deze dag (correlatie minder dan 80%) en worden uitgesloten van de referentie. Hiermee vallen vaak de weekenddagen af in de referentie voor een werkdag en gedurende vakantieperioden correleren werkdagen typisch zeer slecht. Kortom, het is een mechanisme dat ervoor zorgt dat er geen structureel afwijkende dagen als referentie genomen worden. De dagen uit Figuur 13 die resteren na de correlatieanalyse zijn geïllustreerd in Figuur 14.



Figuur 14: Referentieset na correlatieanalyse

De referentie volgt vervolgens uit de mediaan per minuut over de intensiteitsgegevens in de resterende dagen van de referentieset. Figuur 15 toont de uitgerekende referentie als zwarte lijn en de oorspronkelijke realisatie van deze dag in het grijs.



Figuur 15: De oorspronkelijke dag (grijs) en de uitgerekende referentie (zwart)

In Figuur 15 zien we dat de beschouwde dag de voorspelling uit de historische trend goed volgt. De ochtendspits is iets breder dan verwacht (begint eerder en eindigt later) en ook later in de avond tegen 22:00 is er meer verkeer dan verwacht. In de hierop volgende analyse wordt gekeken of dergelijke afwijkingen van de norm, meer en minder verkeer op bepaalde tijdstippen, deels verklaard kunnen worden door te kijken naar neerslaggegevens.

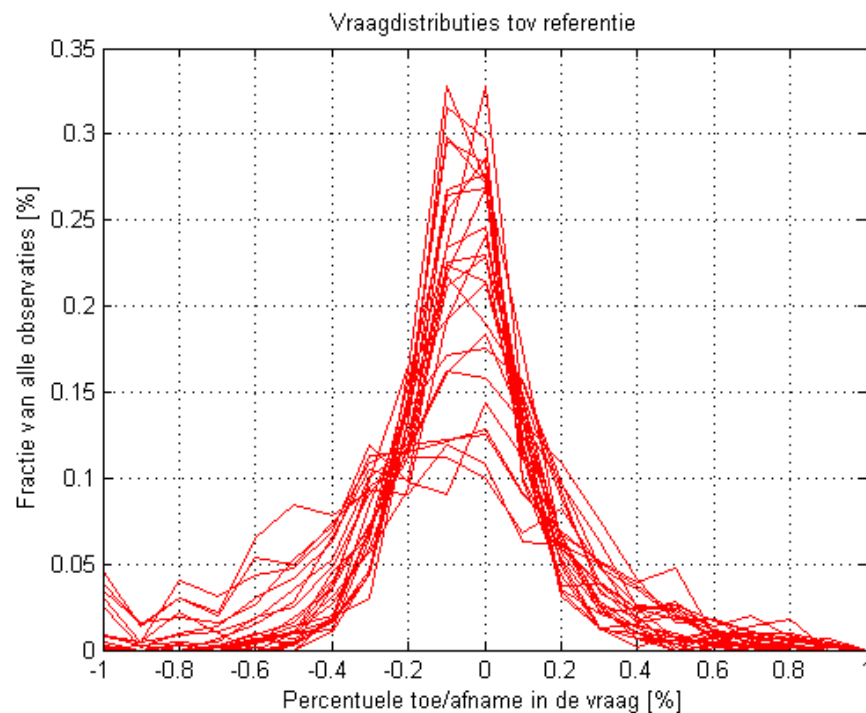
3.1.5 Werkwijze analyse van de invloed van regen op de verkeersvraag

In de voorgaande paragrafen is alle benodigde informatie voor een analyse van de relatie tussen de verkeersvraag en neerslag klaargezet. Er is een dataset met de neerslag op het gebied rondom de oprit, waar naar verwachting het grootste deel

van de reizigers op de oprit zijn oorsprong vond. Daarnaast hebben we voor iedere minuut een meting van de verkeersintensiteiten op de oprit en de verwachte intensiteiten op basis van een referentie. Het is nu mogelijk om te kijken of de neerslag een effect laat zien op de verkeersvraag in de geanalyseerde gebieden.

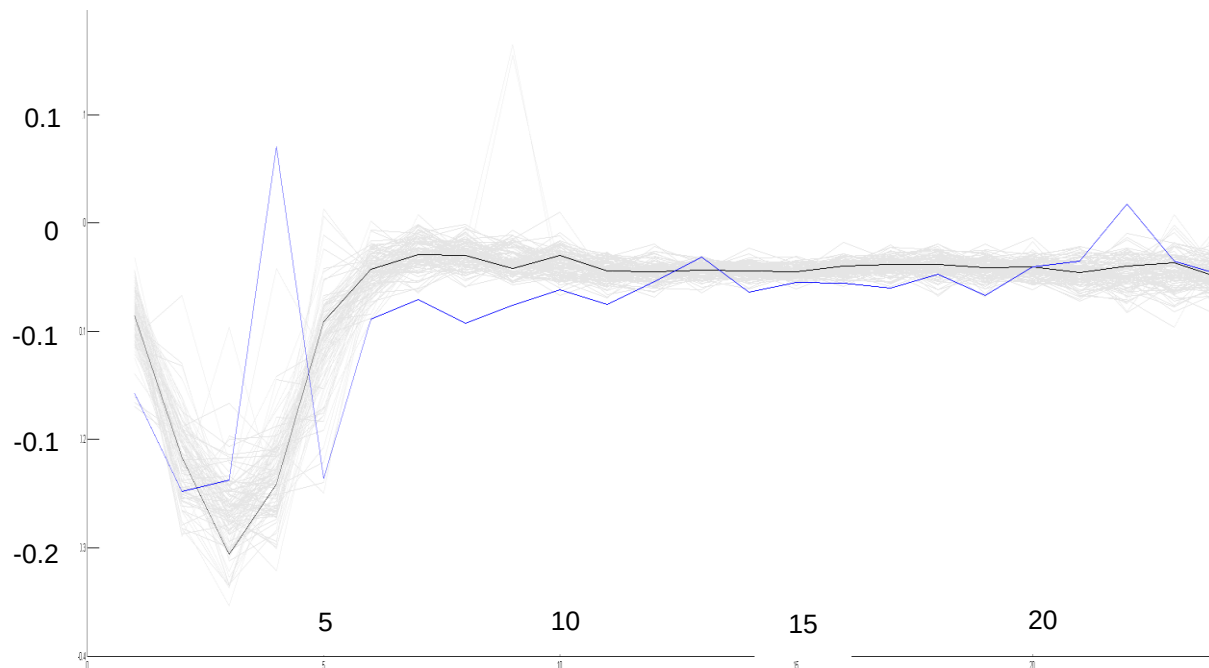
De gehanteerde werkwijze is kort samengevat:

- We beschouwen individuele uren van een dag. Per jaar zijn dat ongeveer 365 metingen per individueel uur vermenigvuldigd met ca. 175 meetlocaties. Dat geeft ca. 64,000 intensiteitsmetingen per uur van de dag.
- Een cumulatieve regenintensiteit op een invloedsgebied binnen een uur van meer dan 2mm wordt aangemerkt als zijnde “regenachtig”.
- Per uur van de dag worden de verschillen in dat uur t.o.v. de referentie uitgerekend voor zowel de droge uren als de uren die als “regenachtig” zijn aangemerkt. De resultaten vormen een distributie zoals die in Figuur 16 is weergegeven. In de figuur is voor alle 24 uren in een dag afzonderlijk de distributie ingetekend.



Figuur 16: versillendistributie bij regen voor 24 uren, een soortgelijke distributie kan uitgerekend worden voor de droge uren.

- Op de distributies per uur wordt vervolgens een maximum likelyhood fit gedaan om de onderliggende Gaussiaanse distributie te schatten. De verwachting van deze distributies is uitgezet in Figuur 17 tegen het uur van de dag voor zowel de droge als de regenachtige uren. In de figuur zijn de gemiddelde afwijkingen van de “regenachtige” uren blauw ingetekend en die van de droge uren in het zwart. Het verhaal van de grijze lijnen volgt bij de volgende bullit.



Figuur 17: gemiddelden (verwachting) per uur van de natte uren, de droge uren en de monte carlo trekkingen

De getoonde lijnen vertellen nog niet het hele verhaal. Het zou kunnen dat de regenachtige uren bij toeval samenvielen met uren waarop er tijdelijk een verminderde verkeersvraag gemeten is. Kortom, er kan sprake zijn van een toevalseffect. Om uitsluitel te geven wordt er een Monte Carlo simulatie uitgevoerd op basis van de meetgegevens. In de Monte Carlo simulatie markeren we iedere keer willekeurige uren uit de dataset aan als zijnde regenachtig, het aantal van deze uren is in totaal gelijk aan het oorspronkelijk gevonden aantal natte uren. Voor de resterende “pseudo-droge” uren wordt volgens een gelijke procedure als de vorige paragraaf een distributie uitgerekend, inclusief de bijbehorende verwachting. Deze procedure wordt een groot aantal keren herhaald (1000x) en de resultaten zijn in Figuur 17 ingetekend als de grijze lijnen. Uit al deze lijnen kan per uur een distributie worden opgebouwd. Tussen 7 en 11 uur blijken de regenachtige dagen op meer dan 2 sigma afstand van de droge distributie te vallen.

In Figuur 17 valt een aantal zaken op:

- De nachtelijke uren variëren sterk en liggen negatiever dan de overige uren. Gedurende de nachtelijke uren passeert een zeer gering aantal voertuigen de meetlus. Een enkel voertuig meer of minder representeren gedurende deze uren een groot relatief verschil, terwijl er in absolute termen alleen verwaarloosbare verschillen te zien zijn. Dit effect is dadelijk in de resultaten terug te zien als een sterk toegenomen onzekerheidsinterval voor de nachtelijke uren.
- De verwachting van de regenachtige dagen ligt over vrijwel de gehele linie onder die van de droge dagen. Er lijkt sprake te zijn van een structureel effect. Volgens gegevens gaan bij neerslag gemiddeld ca. 5% minder voertuigen de weg op vergeleken met de situatie bij droog weer.

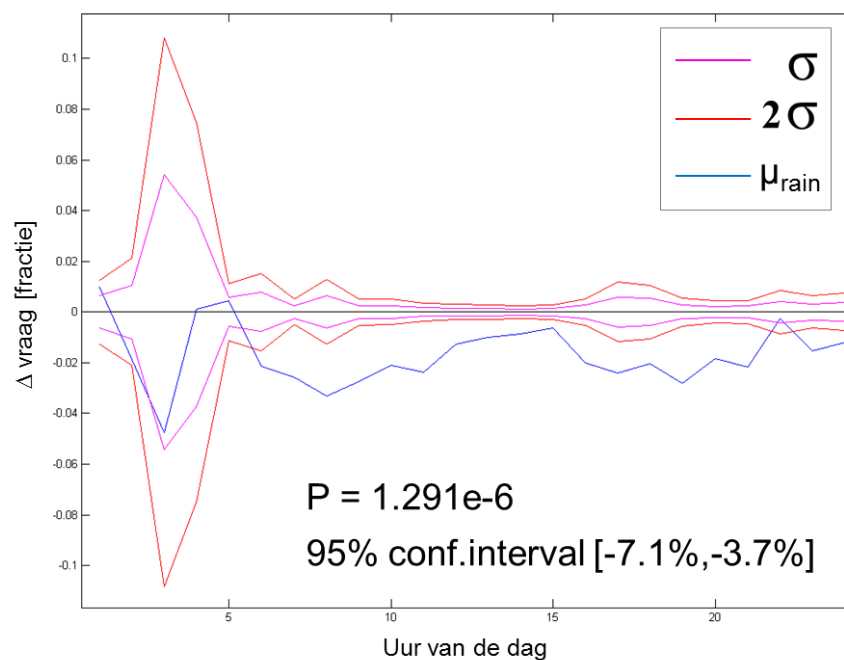
De resultaten van de bovenstaande analyse zijn in de volgende paragraaf nader uiteengezet.

3.1.6 Resultaten analyse van de invloed van neerslag op de verkeersvraag

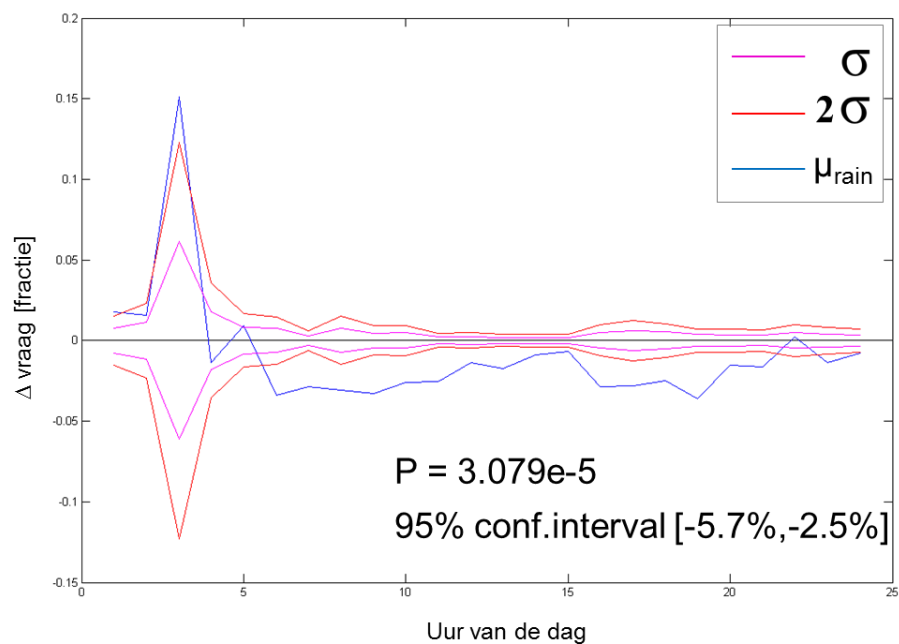
Het werkwijze uit de vorige paragraaf is een aantal maal doorlopen. Eerst zijn voor de gehele dataset van 2007-2009 de gegevens gebundeld en geanalyseerd als geheel. Daarna zijn de afzonderlijke jaren nog een keer los beschouwd.

De resultaten zijn gegeven in de vorm van figuren 18 tot 21. Deze figuren laten de volgende zaken zien:

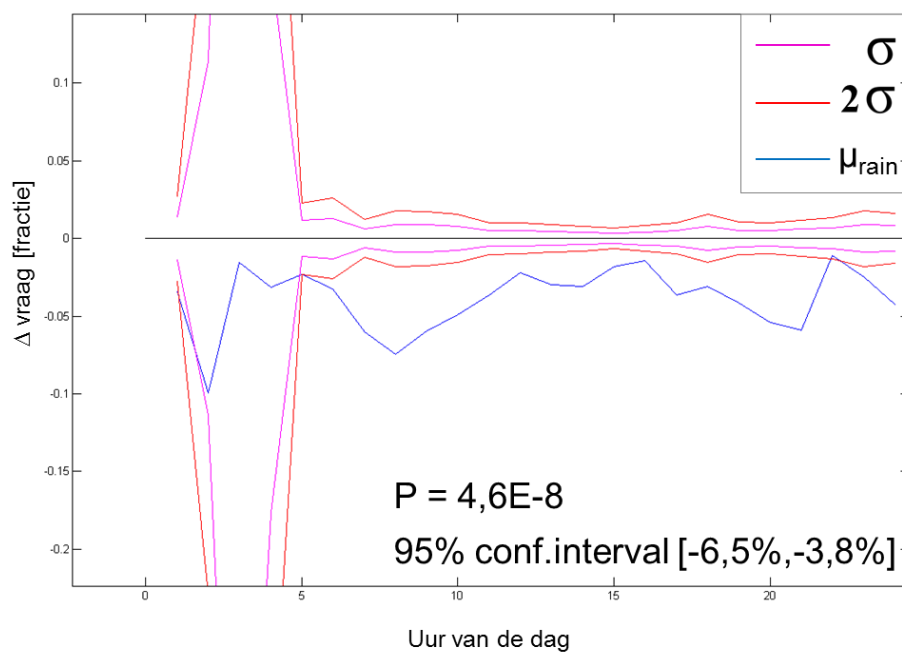
- De “droge uren” zijn als referentie genomen en vormen de zwarte nullijn.
- De blauwe lijnen tonen het *verschil* tussen de regenachtige en droge uren. De bias in beide distributies valt hierdoor weg.
- De paarse en rode lijnen geven respectievelijk de 1 sigma (68.2%) en 2 sigma (95.4%) waarden van de verdelingen die gevonden zijn in de Monte Carlo analyse. Deze geven dus een indruk van de breedte van de referentieverdelingen als gevolg van de random variatie in het verkeersproces.
- De kans dat de distributie van de “regenachtige uren” niet verschilt van die van de overige uren is gegeven in de P waarde.
- De 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde variatie bij regen zijn ook gegeven.



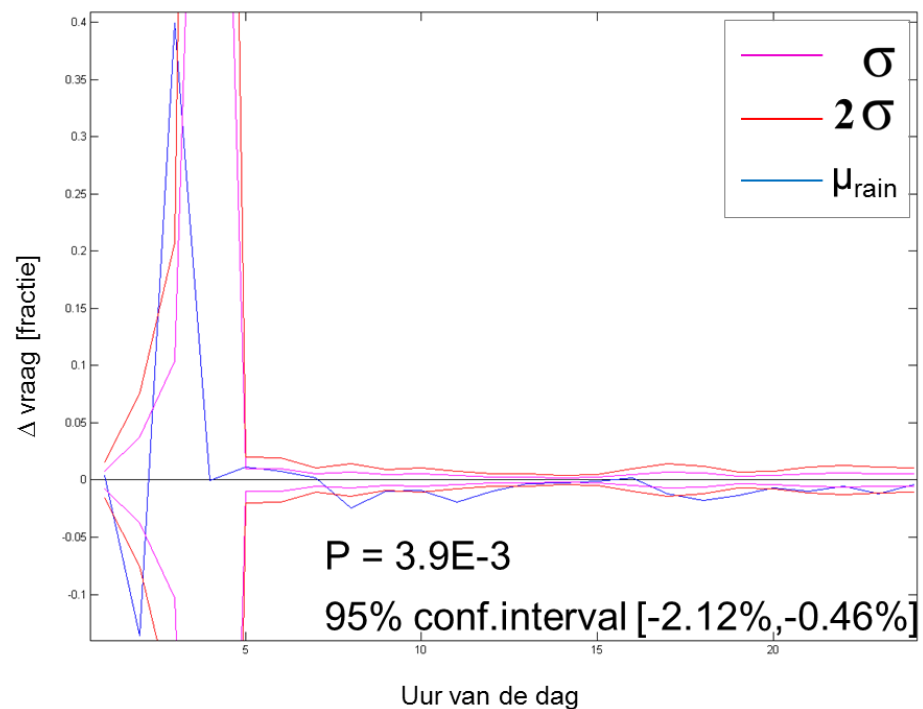
Figuur 18: Vraagverandering per uur: 2007-2009 gemiddeld



Figuur 19: Vraagverandering per uur: 2007



Figuur 20: Vraagverandering per uur: 2008



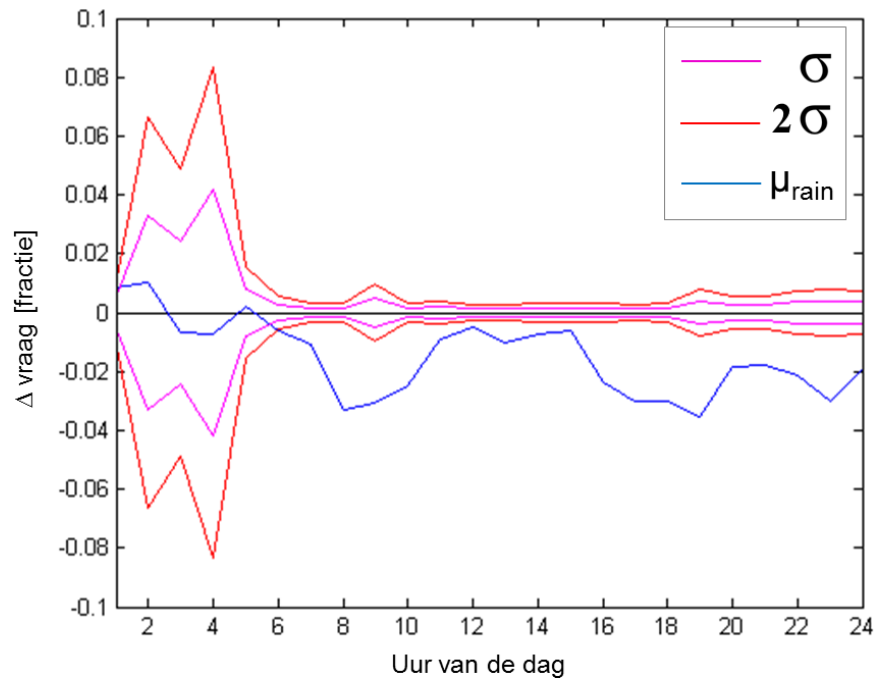
Figuur 21: Vraagverandering per uur: 2009

Het gevonden resultaat mag verassend genoemd worden. In de meeste gevallen gaat men ervan uit dat neerslag tot toegenomen verkeersoverlast zorgt. De oorzaken hiervoor liggen in een afgenomen verkeerscapaciteit, maar men nam altijd ook aan dat de verkeersvraag ook licht toenam. De huidige resultaten onderschrijven die aanname niet. Dat dit vragen oproept mag duidelijk zijn. Voor een aantal vragen is dan ook meteen een antwoord gezocht:

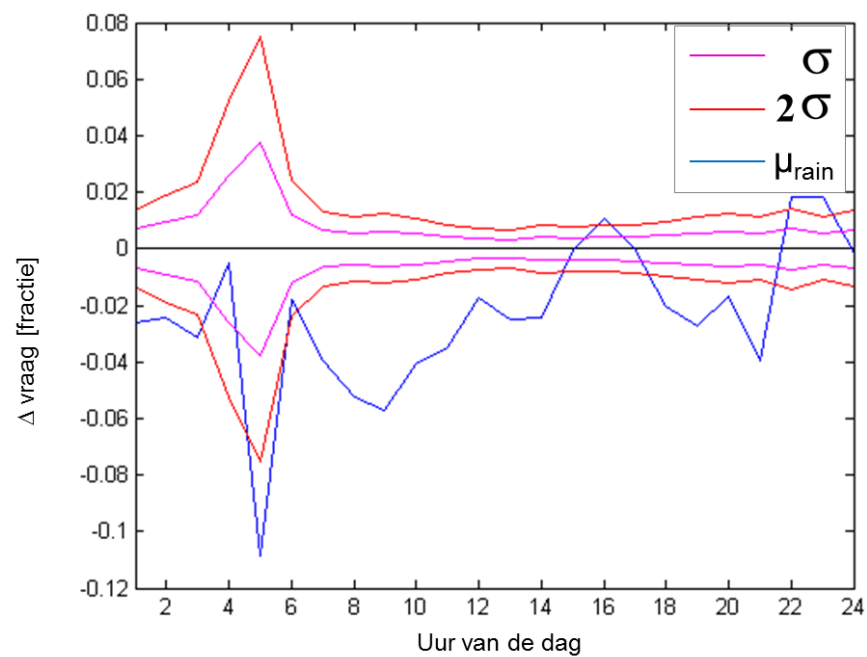
- *Gaat het hier wellicht om een effect waarbij mensen recreatieve verplaatsingen in met name het weekeinde uitstellen bij regen?*

Als de verschillen gedurende de werkweek voldoende klein zijn, dan kunnen de weekendeffecten de analyse potentieel domineren. Om deze vraag te beantwoorden is er in de dataset over 2007-2009 een extra onderscheid aangebracht naar werkdagen enerzijds en weekenddagen anderzijds. Door de extra grootte van de totale dataset leidt dit niet tot te kleine meet aantallen in de individuele categorieën. Op basis van deze twee nieuwe categorieën zijn opnieuw de resultaten gegenereerd. De resultaten zijn in

Figuur 22 en Figuur 23 geïllustreerd.



Figuur 22: Vraagverandering per uur: werkdagen 2007-2009



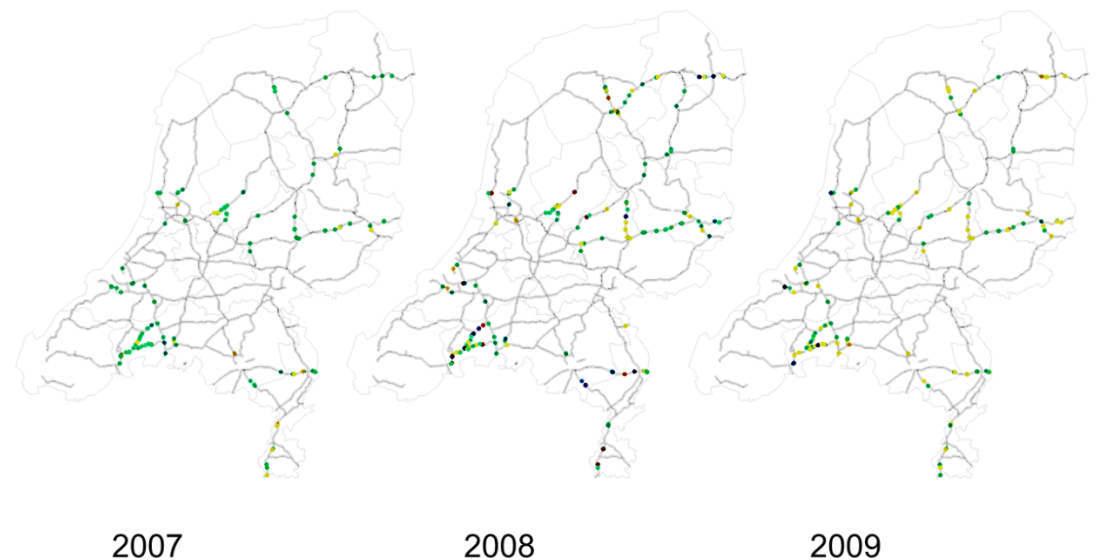
Figuur 23: Vraagverandering per uur: weekenddagen 2007-2009

De hypothese dat de resultaten te wijten zijn aan een weekend/weekdag effect lijkt niet door de data ondersteund te worden. In beide gevallen ligt het gemiddelde van de regenachtige dagen onder de distributie van droge dagen. De trend naar lagere verkeersvraag bij regen tijdens de ochtendspits is in beide figuren terug te vinden.

Opvallend zijn de toenemende verkeersintensiteiten bij neerslag in het weekeinde. Rond 16:00 en 23:00 leidt regen tot toegenomen verkeersvraag. We laten het aan de lezer over om hier een intuïtieve interpretatie bij te maken.

- *Gaat het hier wellicht om een geografisch effect waarbij bepaalde lussen in het land een compleet ander soort reizigers meten dan andere lussen?*

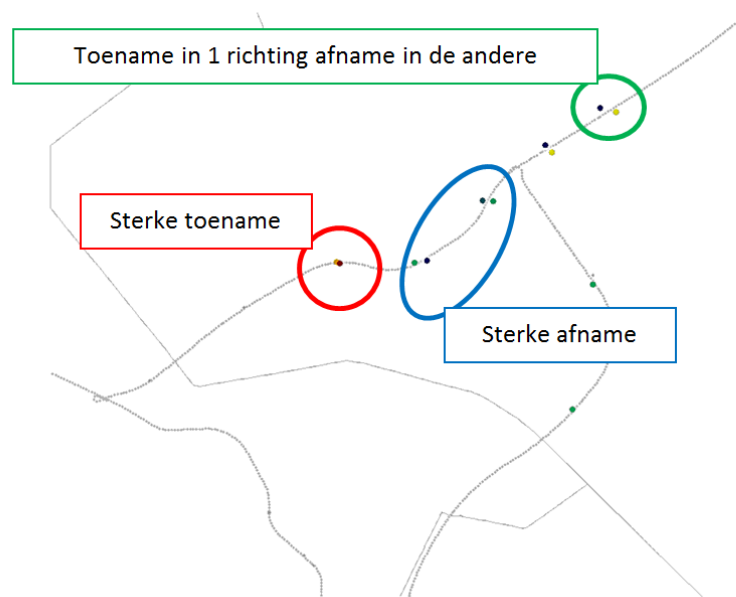
Om antwoord te geven op deze vraag zijn de analyses uitgevoerd per individuele meetlocatie en zijn de resultaten weergegeven in de kaart van Figuur 24.



Figuur 24: verschil verkeersvraag per locatie voor de 3 studie jaren

In Figuur 24 zijn opritten met toegenomen verkeersvraag geel tot rood/bruin gekleurd (grotere vraag is verder richting rood), detectoren met een afname in de verkeersvraag bij regen zijn groen gekleurd, met uitschieters richting donkerblauw. Het is in de overzichtsfiguur lastig te zien, maar de verdeling over de locaties over de gehele dag laat geen duidelijke regionale verschillen zien. De vraageffecten zijn over het algemeen klein en licht negatief. Het lijkt er dus niet op dat de afname verklaard kan worden door puur regionale verschillen.

Als extra informatie is verder nog Figuur 25 toegevoegd. Deze figuur laat een detail zien van de verkeersvraagverschillen rondom Almere in de ochtenduren. Hierbij komt duidelijk naar voren dat de lokale verschillen tussen opritten aanzienlijk kunnen zijn. Er zijn bijvoorbeeld oprittenparen met een toename van de verkeersvraag in één richting en een afname in de andere. Ook ziet men een paar locaties met sterk toegenomen vraag, en even verderop (ca. 500m) opritten met sterk afgenomen vraag. De oorzaak voor deze verschillen zou kunnen liggen in de functionele spreiding tussen detectoren in plaats van de regionale spreiding. Men kan zich voorstellen dat opritten die voornamelijk gevoed worden door een woonwijk zich anders gedragen dan een oprit die gevoed wordt door een industrieterrein. Helaas beschikken we niet over een database met landgebruik en past verder onderzoek niet binnen de scope van dit project, maar dit zou een interessant onderzoeksonderwerp kunnen zijn voor latere onderzoekers van dit vakgebied.



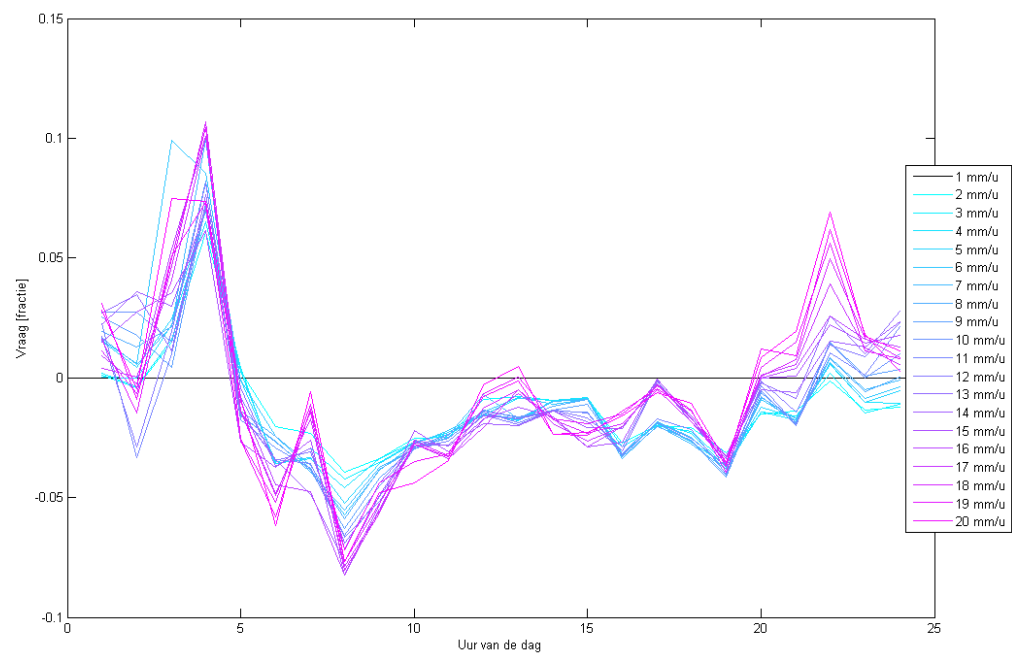
Figuur 25: detail Almere 2007-ochtendspits

3.1.7 Gevoeligheidsanalyse verkeersvraag

In de analyse van de verkeersvraag zijn enkele aannames gemaakt ten aanzien van rekenmethodes en parameterwaarden. De belangrijkste zijn:

- De grenswaarde voor het onderscheiden van regenachtige uren. In de analyse is een grenswaarde aangehouden van 2mm regen cumulatieve neerslag, gedurende een uur op het oppervlak rondom de oprit (5km straal, ca. 80km²). Dit is een vrij conservatieve schatting, waarbij iedere kans op een "spatje" regen meteen vertaald wordt naar de aanduiding "regenachtig".
- De resultaten zijn uitgerekend uitgaande van het feit dat de verdelingen benaderd kunnen worden door een normaalverdeling. Al gedurende de analyse is aangegeven dat de benadering met een Gauss goede resultaten produceert, maar enkele eigenschappen van de onderliggende verdelingen niet goed reproduceert. Hierbij wordt gedoeld op de lichte asymmetrie van de verdeling.

De invloed van deze twee aannames is getoetst. Figuur 26 toont de gevoeligheid van de analyse voor variaties in de grenswaarde voor cumulatieve regenval. De grenswaarde is gevarieerd tussen 1mm/h/opp. tot 20mm/h/opp. en telkens zijn de resultaten opnieuw uitgerekend voor de nieuwe set dagen die als regenachtig aangemerkt zijn. Om de leesbaarheid te verbeteren zijn de betrouwbaarheidsintervallen niet weergegeven.



Figuur 26: Invloed van variërende grenswaarden voor neerslag

Figuur 26 laat een aantal uiterst interessante zaken zien:

- Allereerst valt op dat de resultaten niet wezenlijk anders uitpakken bij variërende keuzes voor de grenswaarde. De trend gedurende de drukste uren op een dag (6 uur 's ochtends tot ca. 20:00 uur 's avonds) blijft licht negatief. Opvallend is de spreiding in verkeer rond 22:00. Met een hogere grenswaarde (en naar we mogen aanname toegenomen neerslag) neemt de hoeveelheid verkeer om 22:00 uur toe. Zware neerslag lijkt dus te leiden tot meer verkeersverplaatsingen in de avond.
- Het tweede dat opvalt is het verplaatsingseffect rond 7:00 uur in de ochtend. Bij zware neerslag is de afname in de verkeersvraag rond 06:00 en 08:00 verminderd en lijkt dit verkeer zich te verplaatsen naar 07:00 waar de afname juist minder is dan bij mildere neerslag.
- Tenslotte is de trend naar meer verkeer (minder afname) bij hevigere regen terug te zien om 13:00 en 17:00. Rond 17:00 is er zelfs sprake van een duidelijke tweedeling in de gevonden distributies. De gevonden waarden vallen uiteen in gebieden tussen de 1 tot 10mm/u en 11 tot 20mm/uur.

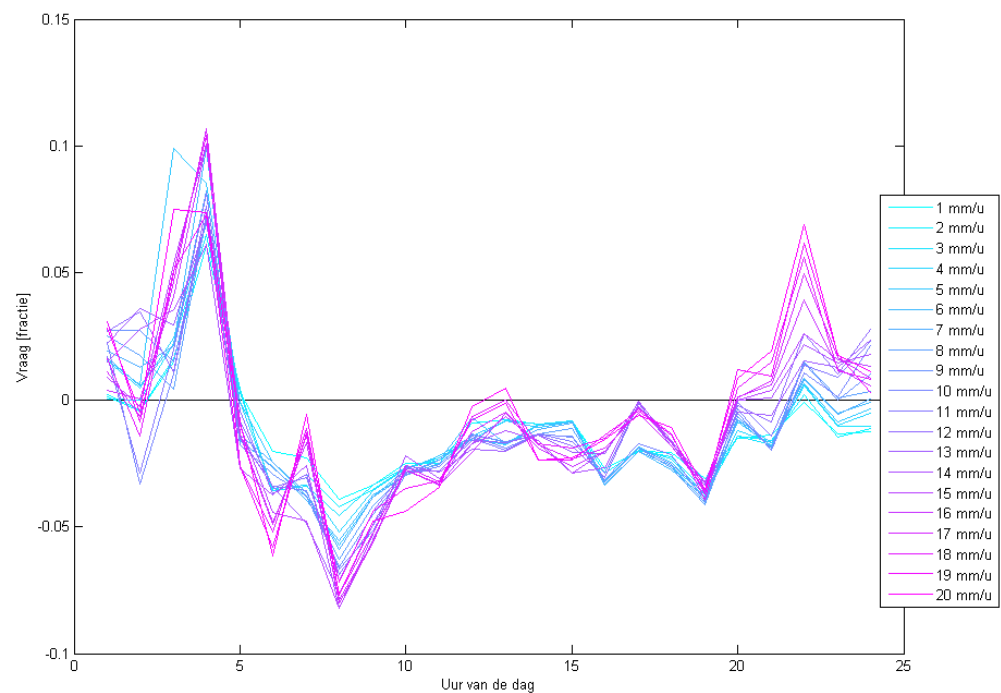
Kortom, de resultaten zijn genuanceerder dan op het eerste gezicht zou lijken.

De keuze voor een benadering van de gevonden verdelingen met een Gauss kan vertaald worden naar het feit dat we op zoek zijn naar de modus van de onderliggende distributie. De modus zegt iets over de *meest voorkomende* waarde van een distributie, wat vertaald kan worden naar de *meest typische* afwijking die men ziet bij momenten met neerslag. We kunnen natuurlijk ook andere vragen stellen, zoals welke afwijkingen ziet men "*gemiddeld*" tijdens regenachtige uren? Daarbij meenemend dat het gemiddelde beïnvloedt wordt door extreme uitschieters. Tenslotte kan men ook kiezen voor de mediaan van de gevonden empirische distributie die minder gevoelig is voor uitschieters.

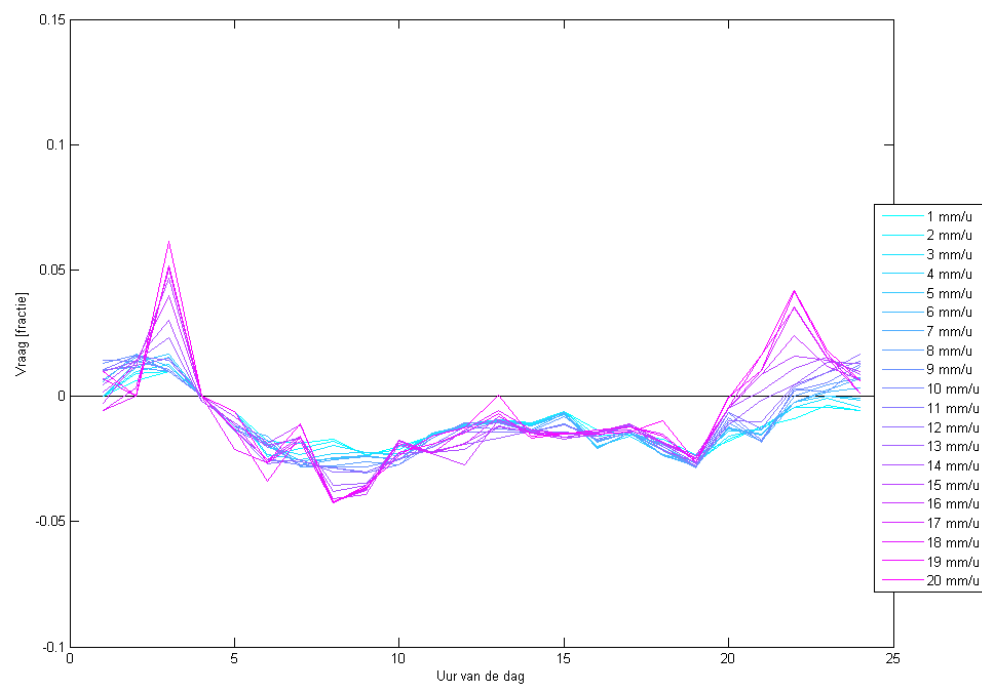
De resultaten voor de verschillende indicatoren zijn gegeven in de onderstaande figuren. Figuur 27 toont de verdeling van de modussen, Figuur 28 de verdeling van

de medianen en in Figuur 29 is de verdeling van de gemiddelden weergegeven. Figuur 30 geeft nogmaals de verdeling van gemiddelden, maar dan na verwijdering van de 25% allergrootste uitschieters (extremen).

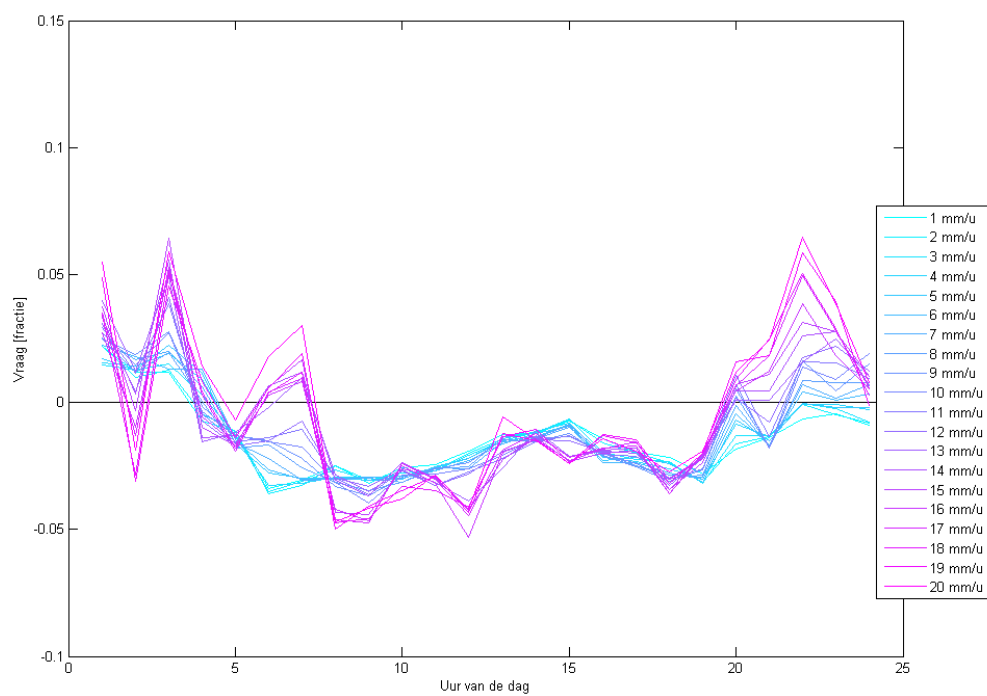
De analyse blijkt relatief gevoelig voor het gehanteerde meetcriterium. Gemiddeld blijft er een afname zichtbaar, maar de hoogte van de gemiddelde afname is vooral bij de mediaanberekeningen lager. De tweedeling in neerslagintensiteiten is in alle figuren zichtbaar. Opvallend is nog dat de figuur voor de gemiddelde afwijking rond 7:00 in de ochtend nu een lichte toename laat zien, waar de intensiteiten rond de nul-lijn zitten voor de overige indicatoren.



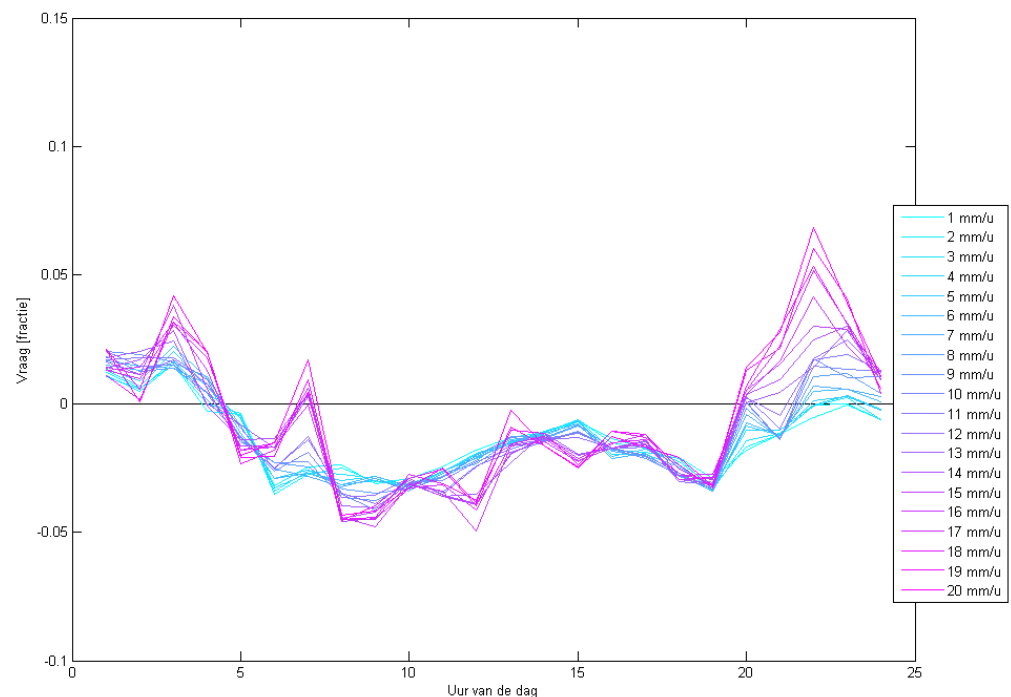
Figuur 27: Resultaten op basis van de modus (piek van de Gauss)



Figuur 28: Resultaten op basis van de medianen van de empirische distributies



Figuur 29: Resultaten op basis van de gemiddelden van de empirische distributies



Figuur 30: Resultaten op basis van de gemiddelden, met de 25% grootste outliers verwijderd

3.1.8 Conclusies analyse verkeersvraag

Voor de beschouwde opritten daalt de verkeersvraag. Kijkend over de jaren heen varieert de daling van gemiddeld 1.5% tot 5% (statistisch significant). Ondanks dat de gemiddelde trend van de dalingen negatief is kan er lokaal sprake zijn van stijgingen in de vraag. Dit effect is sterk locatie specifiek, bijvoorbeeld per oprit, maar vertoont geen regionale trends. Ook blijkt het effect sterk tijdstip specifiek, met name rond 7:00 's ochtends en 22:00 's avonds is er een kans dat neerslag leidt tot een lichte toename in het verkeersaanbod.

Het beeld tussen weekenden en weekdays is duidelijk verschillend. Voor dagen in het weekeinde geldt dat er op 16:00, 22:00 en 23:00 sprake is van een statistisch significante toename in het aantal verplaatsingen.

De resultaten zijn gevoelig voor het criterium dat gebruikt wordt om regenachtige dagen aan te merken. Voor toekomstig onderzoek lijkt het verstandig om 2 separate analyses te produceren voor regenintensiteiten lager dan en hoger dan 10mm per uur. De reden hiervoor is dat resultaten voor deze sets twee afzonderlijke distributies lijken te vormen, anders gezegd, de verkeersvraag reageert wezenlijk anders op zwaardere neerslag dan op milde neerslag en motregen.

Op basis van deze resultaten verwachtten wij niet dat de kans op incidenten toeneemt als gevolg van een toegenomen aantal voertuigkilometers. Een eventuele toename van de incidentkans bij regen moet elders gezocht worden. Ter controle is gezocht naar soortgelijke studies door anderen. Daarbij is 1 andere studie gevonden uit Japan, waarbij met het tolsysteem op de ringweg van Tokyo tellingen zijn uitgevoerd bij droog weer en neerslag. Chung et al [5] vinden een afname in de verkeersvraag bij neerslag van gemiddeld 2.5% (werkdagen) en 6.5% (weekend). Kortom de resultaten komen voor werkdagen in hoofdlijnen overeen met hetgeen in deze studie gevonden is, maar de weekenden wijken af.

3.2 Neerslag en incidenten

Aanpak 1

Voordat ingegaan wordt op de onderzoeksvragen schetst deze paragraaf de statistische analyse van de relatie tussen incidenten en congestie. Dit houdt dus in dat gekeken is naar de analyse van de gemiddelde toename of afname van de incidentcongestie in relatie tot het weer en andere factoren [6]. Hierbij is gebruik gemaakt van de locatie specifieke Fixed Effects methode. In deze analyse is, bij uitzondering in het onderzoek, naast informatie zoals weergegeven in Figuur 2 ook gebruik gemaakt van twee aanvullende informatiebronnen van het KNMI, te weten de temperatuur in de Bilt en de sterkste windvlaag (zie ook paragraaf 2.2).

In de analyse wordt een aantal onafhankelijke variabelen meegenomen, te weten: jaren, maanden, dagen en tijdstip. Hiermee worden de resultaten onafhankelijk van dag en tijdstip, het maakt dus niet uit of het een vrijdagmiddag is in 2009 of een zondagochtend in 2007. In Tabel 1 is VVU de maat van de afhankelijke variabele congestie. De tabel kan als volgt gelezen worden: bij 90 minuten neerslag tussen 1 en 2 mm/uur, waarbij alle andere omstandigheden gelijk blijven, is de gemiddelde toename in incidentcongestie 109 VVU. In slechts 5% van de gevallen wijkt de toename meer dan 33 VVU (standaardfout) af van deze gemiddelde 109 VVU.

Tabel 1: Fixed Effectsanalyse neerslag en incidenten

Verklarende variabelen	Coëfficiënt	Standaard fout	
Referentie congestie	Included	Included	Included
Incidentduur (x) in min	Included	Included	Included
Gemiddelde neerslag in 90 minuten interval in mm/uur			
0 < x ≤ 1	27,596	15,761	**
1 < x ≤ 2	109,643	33,906	***
2 < x ≤ 5	11,245	51,390	
5 < x ≤ 43,9	114,637	93,247	
Sneeuw in 90 minuutinterval	352,391	116,789	***
Sterkste wind vlaag in m/sec in afgelopen uur	0,273	0,184	
Temperatuur	-0,284	0,161	**
Dodelijke slachtoffers	7,121	126,605	
Gewonden	69,292	27,053	***
Materiaal schade	21,217	16,771	
Ongeval	51,519	14,077	***
Object op rijbaan	14,803	34,139	
Object op vluchtstrook	71,367	99,669	
Gestrand voertuig	-37,544	16,711	**
Observatiejaar	Included		
Observatiemaand	Included		
Observatieuur	Included		
Werkweek	Included		

R^2 within=0.45, N=17694, N of groups=9997; ***, **, * imply 1, 5, 10% significance levels.

In Tabel 1 is te zien dat neerslag gemiddeld genomen bijdraagt aan een toename van de congestie. Als er rond het incident tot 1 mm regen per uur valt in het

tijdsinterval van 90 minuten, neemt het aantal VVU's toe met 27 in vergelijking met de situatie zonder neerslag (met significantieniveau van 10%).

Er is een significant verband is tussen buien met een intensiteit tussen 1 en 2 mm en congestie (gemeten in VVU).

Ook is er een significant verband tussen sneeuw en congestie. Bij gelijke omstandigheden is de toename van congestie bij sneeuw 352 VVU. Het is niet met zekerheid te zeggen of hier sprake is van een causale relatie. De VVU bij sneeuw hoeven niet veroorzaakt te zijn door een incident, maar kunnen ook veroorzaakt worden doordat het verkeer langzamer rijdt. Maar de 352 VVU zijn onafhankelijk van de andere variabelen in de tabel, zoals object op vluchtstrook, gestrand voertuig etcetera. In Tabel 1 houdt 'Included' in dat dit de onafhankelijke variabelen in de analyse zijn.

Ongevallen vergroten de congestie met 51 VVU, gewonden zorgen eveneens voor een toename van de congestie: 69 VVU. Verrassend genoeg is dit niet het geval voor dodelijke slachtoffers, mogelijk veroorzaakt door het geringe aantal observaties in de beschouwde periode.

Uit de tabel blijkt ook dat de variabelen die in de analyse zijn meegenomen 45% van de verklaring van de congestie vormen (R^2 within is 0,45). Als dezelfde analyse zonder de variabele regen gedaan wordt is R^2 within gelijk aan 0,44. Regen draagt dus maar beperkt (ongeveer 1%) bij aan het verklaren van de incidentcongestie.

3.3

Regende het in de periode rondom de incidenten?

Aanpak 1

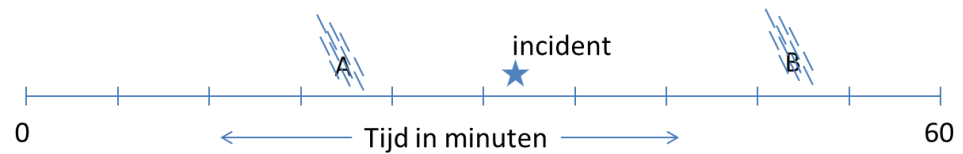
Op basis van de beschouwde data blijkt dat 345.663 incidenten gekoppeld konden worden aan informatie over het verkeer en neerslag. In 16% van deze observaties (55.320 incidenten) was er sprake van neerslag (zie ook Tabel 2).

Tabel 2: Gemiddeld aantal incidenten bij regen in de in het onderzoek beschouwde database

variable	mean	p50	max	min	sd	N
d_rain	.1600403	0	1	0	.3666439	345663

Met een fractie van 16% van het totale aantal incidenten is neerslag significant oververtegenwoordigd ten aanzien van wat men zou verwachten op basis van de gemiddelde tijd dat het regent in Nederland (circa 4% in de gebruikte onderzoek database).

Neerslag is hierbij gedefinieerd als de cumulatieve neerslag in het uur rond het incident groter is dan nul (zie Figuur 31). In de 60 minuten rondom het incident is neerslag gevallen, ongeacht of dit vóór of na het incident is geweest. We kunnen de neerslag dus niet oorzakelijk verbinden met het incident.



Figuur 31: Illustratie van cumulatieve neerslag >0, zoals gebruikt in de statistische analyses

3.4 Wat was de maximale en gemiddelde neerslagintensiteit bij incidenten ?

Aanpak 1

Voor de maximale en gemiddelde neerslagintensiteit bij incidenten wordt gekeken naar de neerslag vanuit Buienradar over de 55.320 incidenten met neerslag in de database. Hierbij wordt wederom gekeken naar het 60 minuten interval rondom het incident, zoals weergegeven in Figuur 31.

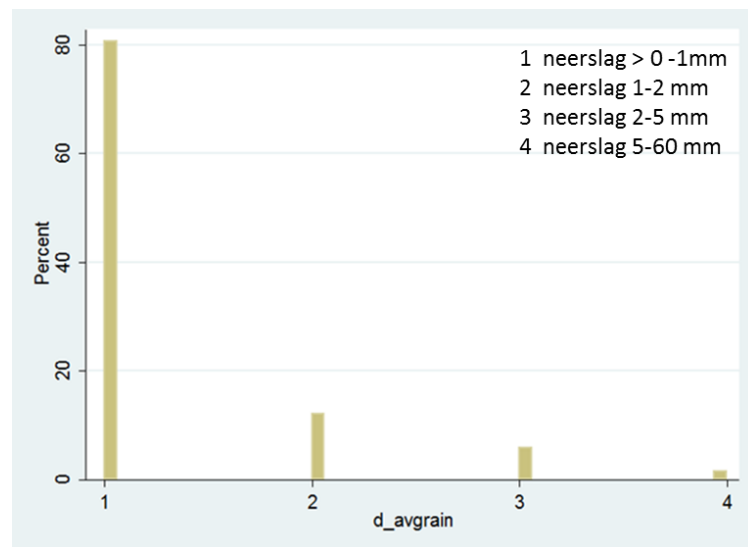
Als er neerslag is en er is een incident ($N=55.320$), dan is de gemiddelde neerslag 0,9 mm/uur. Ter vergelijking: als gekeken wordt naar alle incidenten in de database ($N=345663$) ligt de gemiddelde neerslag op 0,14 mm/uur.

Om de maximale neerslag bij het incident te bepalen is gekeken naar de hoogste neerslagintensiteit in dit 60 minuteninterval. In figuur 1 is als illustratie 2 keer in het uur rondom het incident een bui gevallen, bui A voordat het incident plaatsvond, bui B na het incident. Van deze 2 buien is enkel de hoogste waarde meegenomen bij het bepalen van de maximale neerslagintensiteit bij dit incident. Het is niet vastgelegd welk interval (voor of na het incident) dit is.

Kijkend naar de totale tijdsinterval van 60 minuten rond het incident, dan is de minimale neerslag bij een incident 0.016 mm/uur, het maximum dat zich hierin bij een incident in de beschouwde 3 jaar heeft voorgedaan is 62,4 mm per uur.

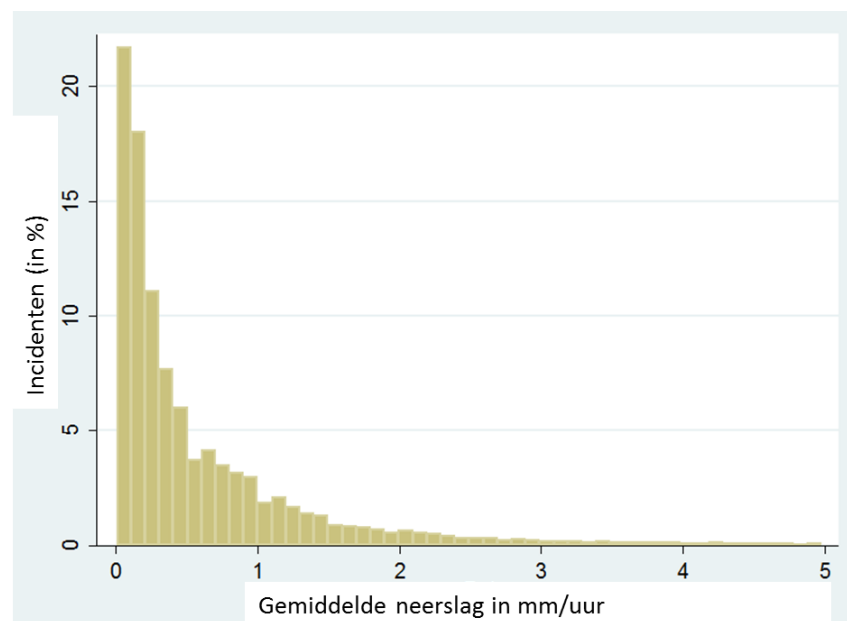
Kijkend naar de kleinere intervallen zoals buienradar deze weergeeft (5 minuten), dan is het gemiddelde van de maximale neerslag die valt 4,3 mm /uur. In vergelijking met de gemiddelde neerslag van 0,9 mm/uur is dit ongeveer 5 keer zo hoog.

Het aantal incidenten bij neerslag is het hoogst in de categorie tot 1 mm, ongeveer 80% van de incidenten in de database zit in deze categorie (zie Figuur 32).



Figuur 32: Percentage incidenten per neerslagcategorie >0 mm neerslag

Wanneer in detail gekeken wordt naar deze eerste categorie (zie Figuur 33), dan blijkt dat ongeveer 20% van de incidenten zich voordoet bij neerslag tussen de 0 en 0,1 mm neerslag (hierbij is gekeken naar neerslag >0 en <5 mm /uur, hierbinnen valt het grootste deel van de incidenten).



Figuur 33: Incidenten bij neerslag >0 mm en < 5 mm per uur

Om Figuur 32 en Figuur 33 in perspectief te plaatsen is ook gekeken naar de procentuele verdeling van de buien over het gehele netwerk per categorie. Voor 2006 ziet dat er als volgt uit (regen in mm/uur):

- <1 mm/uur: 96.68%
- 1-2 mm/uur: 2.19%
- 2-5 mm/uur: 0.91%
- 5-10mm/uur: 0.17%
- 10-15 mm/uur: 0.03%
- 15-50mm/uur: 0.02%
- >50 mm/uur: 0.002%

(In 2007-2008 is deze verdeling naar verwachting vergelijkbaar, deze informatie is niet beschikbaar zonder opnieuw de analyses te draaien)

De buien met 1-2 mm neerslag doen zich naar verhouding ook het meest voor (66% van de buien >0 mm valt in deze categorie. Het aantal incidenten in de database die in deze buienrange voorkomt is 80%.

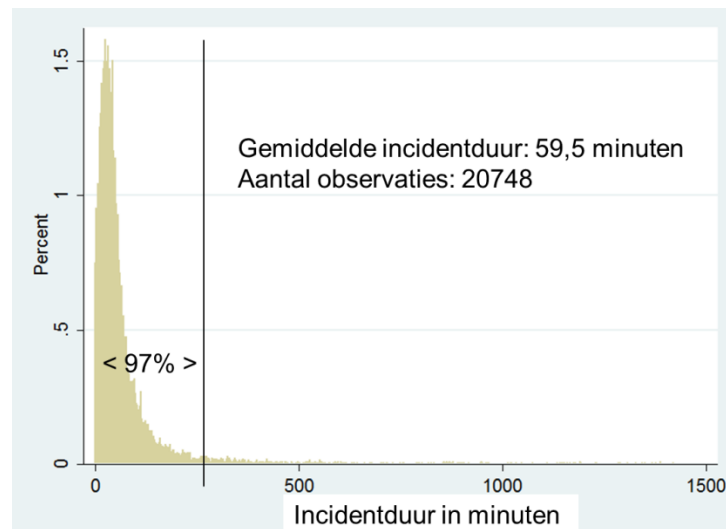
Kijkend naar de verschillende statische modellen dan blijkt dat de gemiddelde regenval betere resultaten geeft in de verklaringen van incidenten dan het gebruik van de maximale regenval. Korte, intensieve buien lijken een kleinere impact te hebben op congestie en incidentduur, het oorzakelijk verband is hierbij onbekend. Het gedrag van weggebruikers onder regenachtige omstandigheden zou een mogelijke verklaring kunnen zijn.

3.5 Wat was de gemiddelde incidentduur bij bepaalde vormen van neerslag (ernst + afhandelsnelheid)?

Aanpak 1

Incidentduur is gemeten in minuten vanaf het moment dat het incident is geregistreerd tot het moment dat alle verkeersmaatregelen (gemeten via de signalering) van de weg zijn gehaald.

De incidentduur wordt niet bij alle incidenten geregistreerd. Het gevolg hiervan is dat in de analyse een aanzienlijk kleiner deel van de observaties hierdoor meegenomen wordt. In de gebruikte incidentendatabase is bij circa 21.000 observaties (4,2 % van het totaal aantal observaties) de incidentduur geregistreerd. Het minimum aantal geregistreerde minuten hierbij is 0 minuten, het maximum is 1.420 minuten. De gemiddelde incidentduur is 59,5 minuten (met een standaarddeviatie van 85,9 minuten, zie Figuur 34). Het is mogelijk dat deze hoge gemiddelde incidentduur veroorzaakt wordt doordat alleen de incidenten met een lange duur tot een maatregel (in Mistica) leiden en dus geregistreerd zijn.



Figuur 34: Informatie over de incidentduur van de incidenten in de database

De relatie tussen de neerslag en incidentduur is weergegeven in onderstaande Tabel 3. In de tabel zijn zowel de gemiddelde regenval (average rain) als de maximale neerslag (max rain) als uitgangspunt voor de statistische modelanalyse genomen.

Tabel 3: Relatie tussen incidentduur en neerslag.

	Precipitation	#obs(17693)	Average Incident duration	Min	Max	Coeff.	P value
Average Rain	0 mm	14069	53.71	0	1420		
	0 To 1 mm	2875	51.91	0	1167	-.051	.97
	1 To 2 mm	483	49.06	0	591	-2.31	.467
	2 To 5 mm	206	54.23	0	749	-.019	.997
	5 To 60 mm	60	68.91	4	249	17.033	.054
Max Rain	0 mm	14069	53.71	0	1420		
	0 to 1 mm	1532	54.54	0	1167	1.75	0.34
	1 to 2 mm	743	49.065	0	460	-3.59	.167
	2 to 5 mm	798	48.94	0	591	-1.4	.563
	5 to 20 mm	441	49.5	0	749	-1.4	.667
	20 to 300 mm	119	65.6	2	407	12.00	.057

Tabel 3 laat zien dat in beide benaderingen (average en max) de hoogste neerslagcategorie een statistisch verband laat zien tussen de neerslag en de incidentduur. Oftewel, bij hevige neerslag kunnen we met 95% betrouwbaarheid stellen dat er een verband is tussen incidentduur en neerslag. Dit komt echter maar naar voren in twee van de acht testen die voor het verband tussen neerslag en incidentduur uitgevoerd zijn. Gegeven dat de groep met hevige neerslag maar een beperkt aantal observaties heeft is het niet onwaarschijnlijk dat de conclusie onterecht is, omdat elke uitschieter een verband zou laten zien. Op dit moment kan

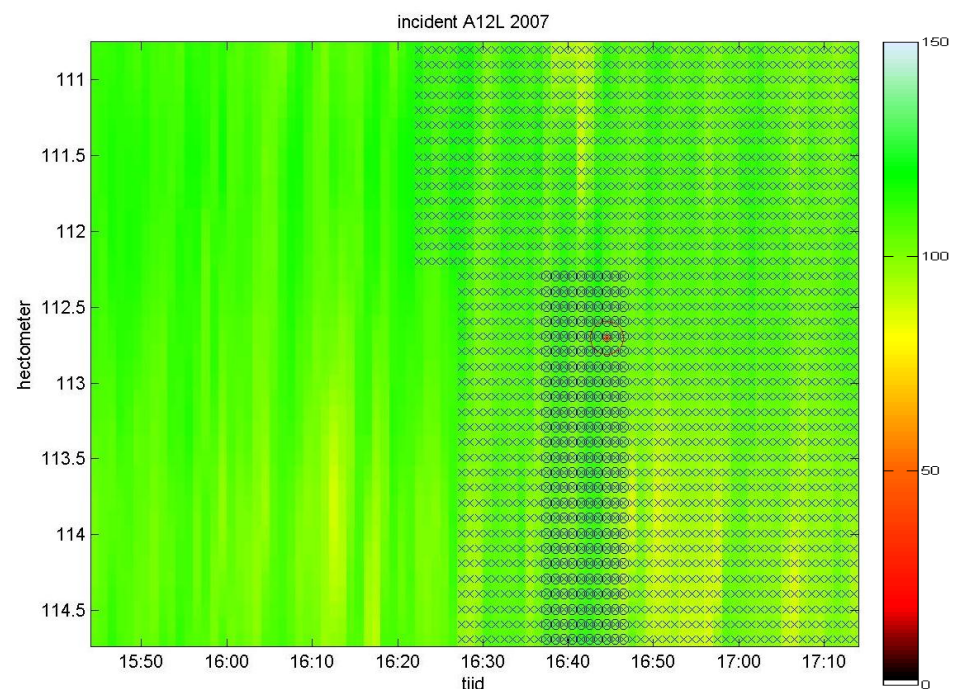
alleen geconcludeerd worden dat er misschien een relatie is. Ook kan het zo zijn dat de incidenten bij neerslag erger zijn en daarom langer duren. Het is niet waarschijnlijk dat de regen de oorzaak is dat het langer duurt om de incidenten op te ruimen. Om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen neerslag en incidentduur is meer en betere informatie over de incidentduur bij de verschillende incidenten nodig.

Een aanbeveling voor het vervolg is om de registratie van de incidentduur voor de incidenten structureel te verbeteren, zodat de bovenstaande analyse over een bredere database tot betrouwbare resultaten kan leiden.

3.6 Zijn er locaties op het netwerk aan te wijzen waar sterke relaties bestaan tussen incidenten en neerslag?

Aanpak 1

De koppeling tussen de verkeersgegevens en incidenten laat zien dat er inderdaad locaties op het netwerk zijn waar relaties lijken te bestaan tussen incidenten en neerslag. Op basis van de data kan echter niet geconcludeerd worden dat de neerslag ook oorzaak is van het incident. Figuur 35 is een voorbeeld van een incident ten tijde van zware neerslag. Dergelijke samenvallende gebeurtenissen zijn in de data veelvuldig terug te vinden.



Figuur 35: Incident bij zware regen

Een relatie tussen neerslag en incidenten kan met wat verbeelding op een aantal manieren worden verklaard:

- Neerslag leidt tot slecht zicht en is daardoor gevaarlijk
- Neerslag leidt tot gladheid c.q. minder grip inclusief de daarbij horende problemen.

De enige manier om vat te krijgen op het probleem is het aflopen van alle hypothesen en nagaan of er bewijzen voor bestaan in de beschikbare data. In deze paragraaf gaan we nader in op de geografische component van de relatie tussen neerslag en incidenten. Bepaalde locaties zijn in meer of mindere maten vatbaar voor de problemen die in de bovenstaande opsomming genoemd zijn. Secties asfalt zonder ZOAB kunnen leiden tot verminderde grip en slechter zicht. Bepaalde wegvakken lopen door gebieden met slechte afwatering en komen potentieel deels onder water te staan. Bij weefvakken zou regen de bestuurderswerklast net over een gevaarlijke grens heen kunnen tillen. Dergelijke informatie over de weg of de bestuurders is helaas niet in onze onderzoeksdatabase beschikbaar. We kunnen echter wel onderzoeken of er een geografische component zit in de geobserveerde incidenten. Dat wil zeggen, kijken of er locaties aanwijsbaar zijn die kwetsbaarder zijn voor incidenten dan anderen.

3.6.1.1 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Extreme winterse neerslag blijft in deze analyse buiten beschouwing.

De gerapporteerde locaties van incidenten kunnen onnauwkeurigheden bevatten. Wij gaan ervan uit dat de gerapporteerde incidentlocatie tot op 500m nauwkeurig is en kennen de ongelukken dus toe aan een grotere sectie van de weg dan strikt genomen het geval is. De 500m stapgrootte is fijn genoeg om effectief locaties in het Nederlandse wegennet te kunnen identificeren.

De onderzochte locatiekenmerken worden overgenomen uit de zogeheten VILD database. De VILD (VerkeersInformatie Locatie Database) is een geodatabase die het hoofdwegennet en onderliggend wegennet van Nederland bevat. Met de VILD worden weglocaties gekoppeld aan locatiekenmerken zoals routes, knooppunten, af- en toeritten, provincies en gemeenten. De VILD-NL bevat alle A- en N-wegen in Nederland. Deze wegen zijn voorzien van hectometer-paalgegevens. Naarmate er meer informatie beschikbaar komt over wegkenmerken zoals de aanwezigheid van ZOAB of de staat van het asfalt, dan is het uiteraard interessant om deze kenmerken naast de incidentdata te houden. Dat valt echter buiten de scope van het huidige onderzoek.

3.6.1.2 Werkwijze

De analyse valt uiteen in de volgende substappen:

- Data-preparatie: alle incidenten en neerslaggegevens samenvoegen tot incidentlocaties en deze voorzien van wegkenmerken uit de VILD database.
- Incidentstatistieken illustreren in kaartmateriaal
- Statistische analyse van de relatie tussen locaties, locatietypes, neerslag en incidenten.

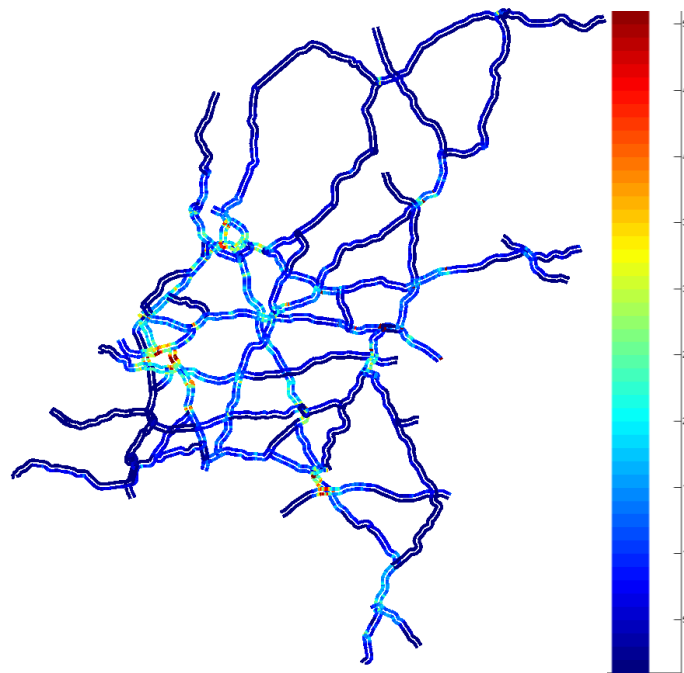
De analyse begint met de database aan incidentgegevens waarmee al eerder gewerkt is. Deze database bevat per incident een set locatiegegevens in de vorm van een wegletter, wegnummer, rijrichting en hectometrering. Al de incidenten worden op deze manier toegekend aan een wegsectie over een afstand van 500m rond de incidenten. Per weglocatie ontstaat zo een overzicht van het aantal en het type incidenten dat er op die wegsectie gebeurd is binnen de studieperiode van 2007-2009. De resultaten van deze analyse zijn verderop in de paragraaf uitgebreid gevisualiseerd.

Om de incidenten te kunnen plaatsen is in Figuur 36 een kaart van het Nederlandse hoofdwegennet inclusief wegnummering opgenomen.



Figuur 36: Nederlandse hoofdwegennet inclusief wegnummering.

In de Figuur 37 is het totale aantal, per locatie geobserveerde, incidenten gedurende de onderzoeksperiode 2007-2009 weergegeven.

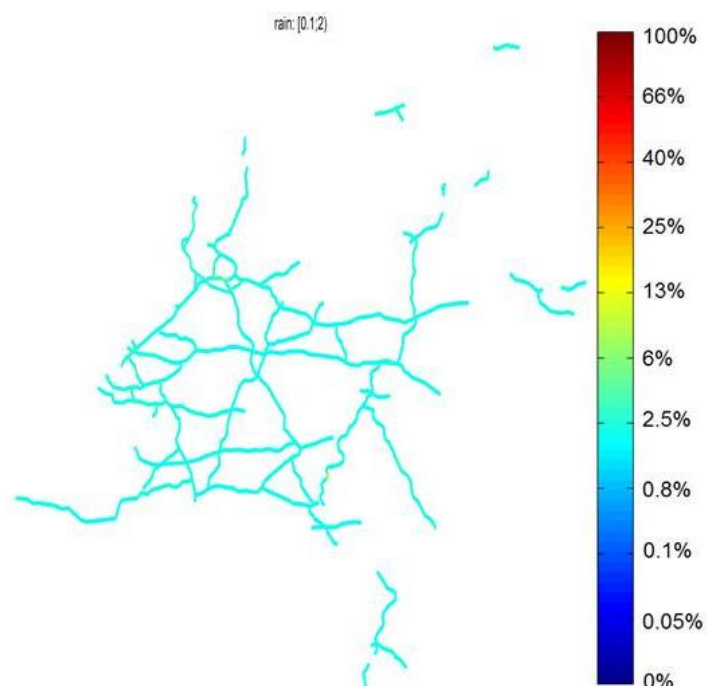


Figuur 37: Aantal incidenten per weglocatie 2007-2009

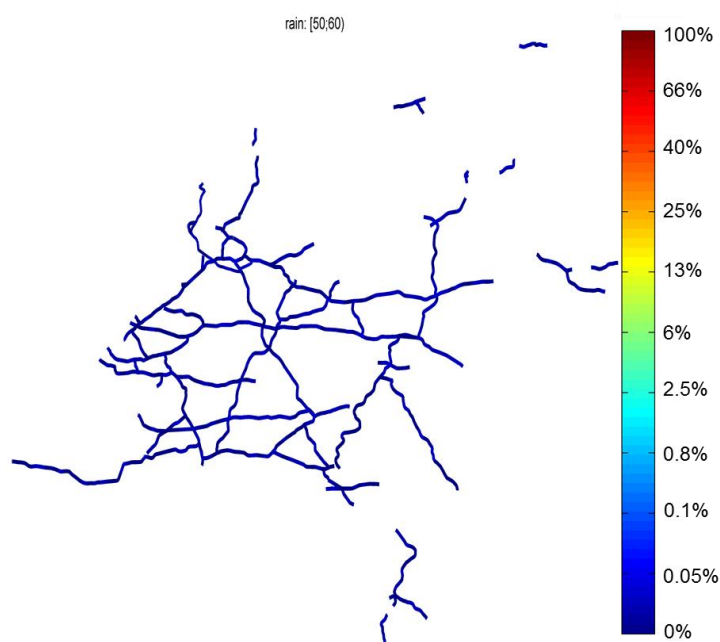
Met name de stadsringen rondom de grote steden zijn kwetsbaar voor incidenten. Dit geldt vooral nabij Rotterdam, Amsterdam en Eindhoven. Stadsringwegen worden gekenmerkt door druk verkeer. Meer voertuigen op de weg bij een gegeven kans dat die voertuigen betrokken raken bij een incident geeft een hogere kans om incidenten te observeren op drukke wegsecties. Ook is er op ringwegen vaak sprake van veel weefbewegingen en files, omstandigheden waaronder de kans op fouten en daaruit voortvloeiend incidenten toeneemt.

Figuur 38 laat zien welk deel van de tijd er 1-2 mm/uur neerslag valt, in Figuur 39 is dit voor de categorie 50-60 mm/uur weergegeven. Voor deze beide figuur zijn de jaren 2007-2008 gebruikt. Het is grotendeels droog in Nederland, in ongeveer 4% van de tijd valt er neerslag. In Bijlage C is voor de verschillende neerslagintensiteitscategorieën weergegeven wat de kans is op die specifieke neerslagintensiteit als het regent.

De interpretatie van onderstaande figuur is als volgt: Als er neerslag is, valt er in ongeveer 2,5% van de tijd 1-2 mm neerslag per uur.



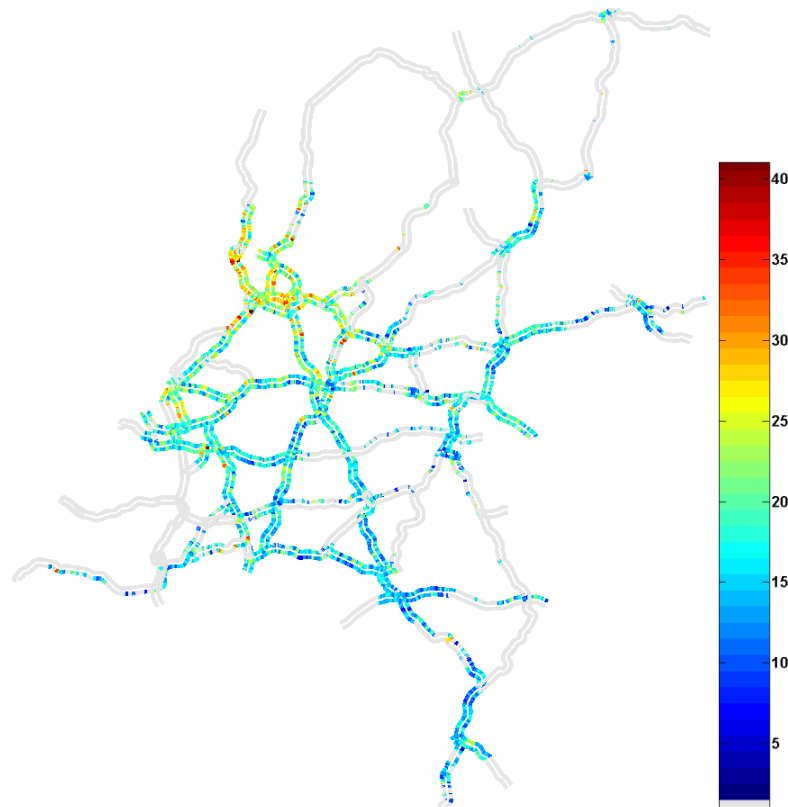
Figuur 38: Percentage van de tijd dat neerslag valt tussen 1 en 2 mm/uur in de jaren 2007-2008 op het wegennet



Figuur 39: Percentage van de tijd dat neerslag valt tussen 50 en 60 mm/uur in de jaren 2007-2008 op het wegennet

In Figuur 40 zijn de incidenten bij neerslag weergegeven als fractie van het totale aantal incidenten (%). Door de situatie met en zonder neerslag per locatie te vergelijken corrigeren we voor de verhoogde kans op incidenten die voor bepaalde locaties geldt. Figuur 40 kan dus gezien worden als een kaart van locaties waar de

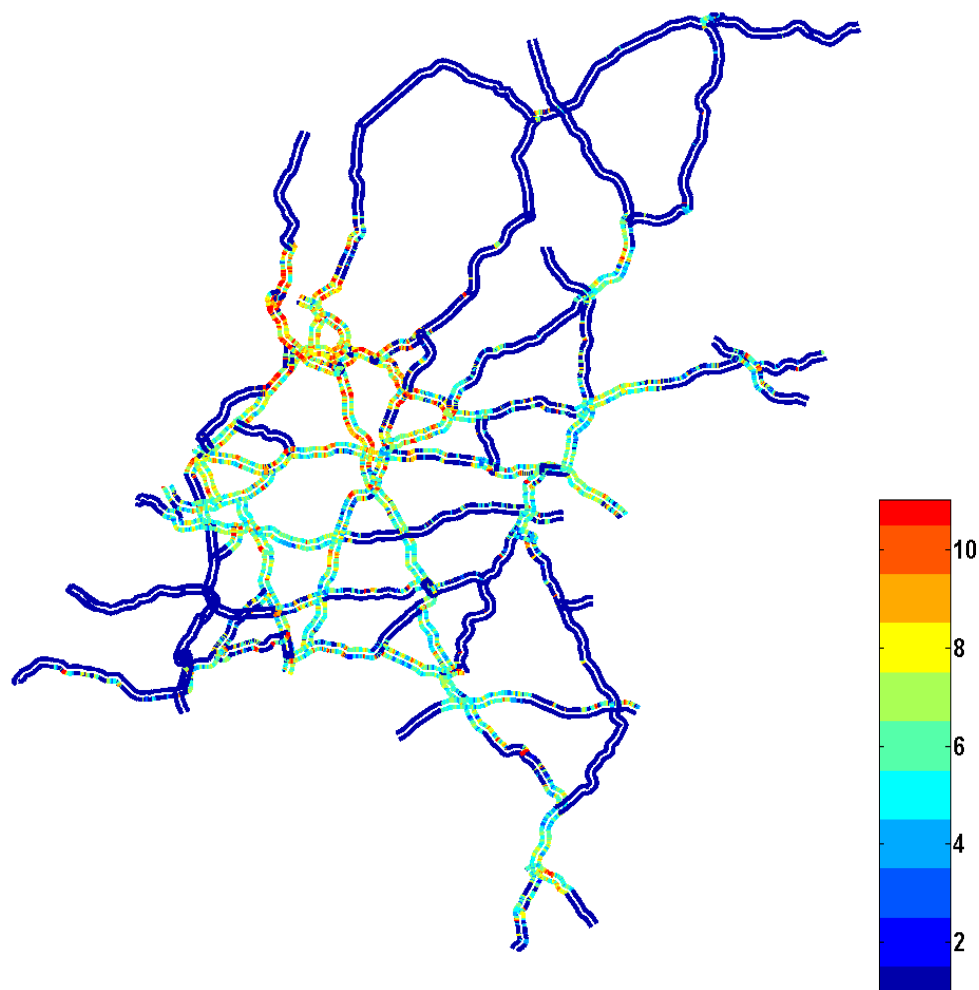
kans op incidenten opvallend hoog is bij neerslag. Locaties met een enkel incident dat toevallig samenviel met neerslag zouden uitschieters richting de 100% veroorzaken. Om hiervoor te corrigeren zijn alleen locaties met meer dan 5 incidenten in de studieperiode weergegeven. Voor de overige locaties kan op geen enkele manier nagegaan worden of sprake is van toeval of een structureel effect. Statistisch gezien geldt dit voor alle locaties, echter door te kijken naar het overall beeld in plaats van afzonderlijke locaties is toch een goede indruk te verkrijgen.



Figuur 40: Incidenten bij neerslag per locatie als fractie [%] van totaal (locaties met minimaal 5 incidenten)

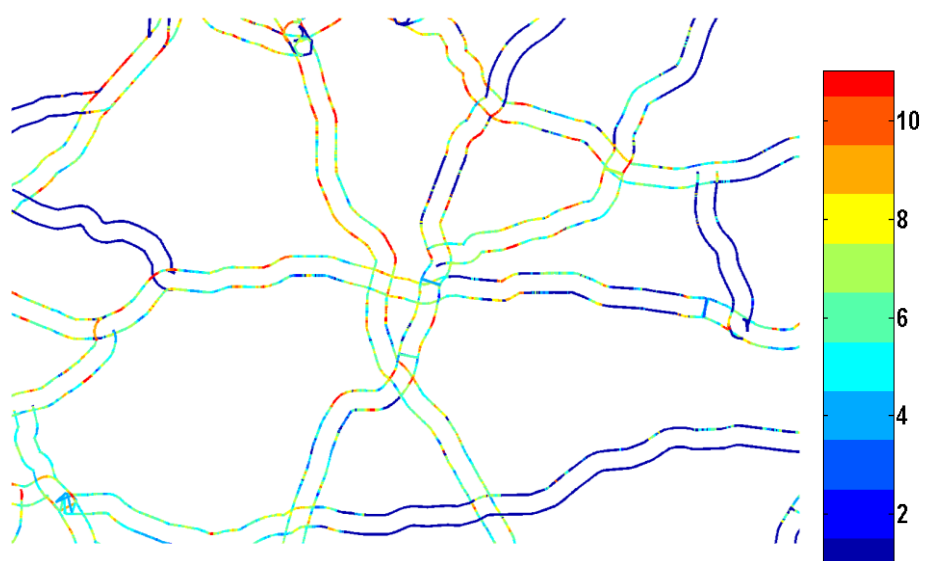
In de kaart zijn de stadsringen nabij Eindhoven en Rotterdam veel minder prominent aanwezig dan in Figuur 37. Qua incidentaantallen doen deze regio's nauwelijks onder voor Amsterdam, maar kennelijk valt slechts een klein deel samen met neerslag. In het westen van het land lijkt de relatie tussen neerslag en incidenten sterker. Het zou kunnen dat het gedurende de onderzoeksperiode veel vaker heeft geregend in Noord /West Holland dan in de overige provincies. Dat zou een groter aantal incidenten bij regen kunnen verklaren.

Om een beeld te krijgen van de kans op incidenten bij regen moeten we eigenlijk kijken naar het verschil in de kans op incidenten bij regen en de kans op incidenten bij droog weer. Deze statistiek kan uitgerekend worden door per locatie te kijken naar het percentage van de tijd dat het regende gedurende de onderzoeksperiode. De resultaten zijn geïllustreerd in Figuur 41, die als volgt moet worden gelezen: als de weg oranje gekleurd is, is de kans op een incident op die locatie bij regen 10 keer zo hoog als bij droog weer.

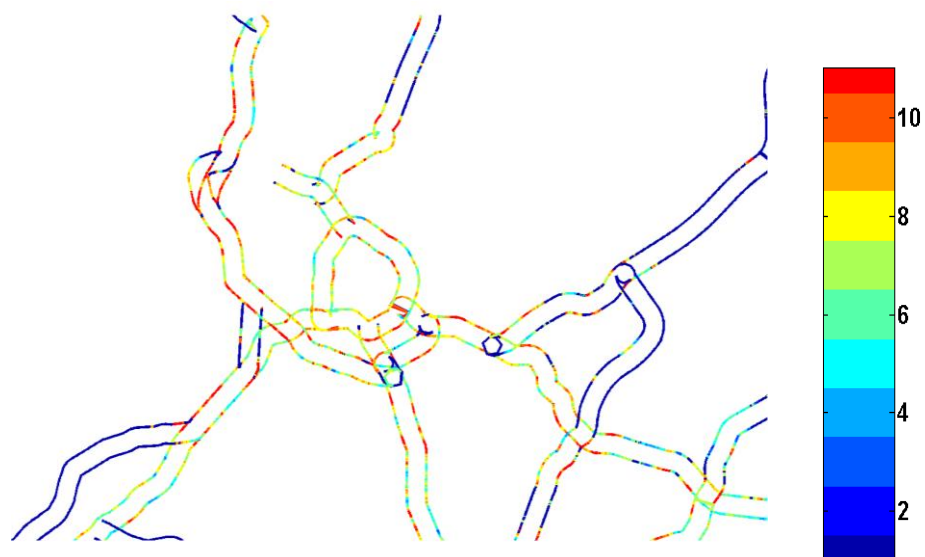


Figuur 41: Verhouding kans op incidenten bij neerslag tov droog weer (indien wegvak geel kleurt is de kans op een incident bij neerslag 8 keer hoger dan de kans bij droog weer)

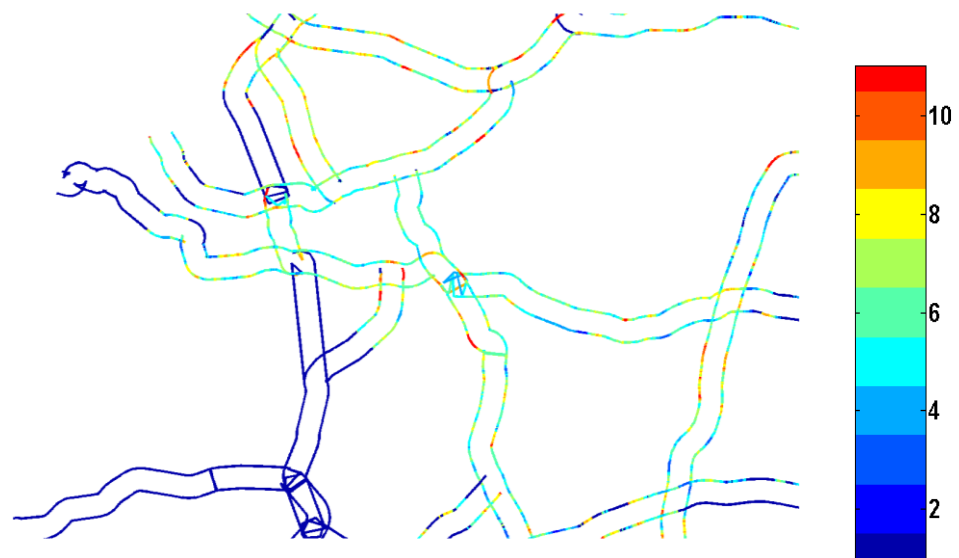
Uit bovenstaande figuur komt nogmaals de opvallende kwetsbaarheid van de regio Noord Holland naar voren. Vooralsnog is hier nog geen duidelijke verklaring voor gevonden. In figuren 42 tot en met 44 zijn details weergegeven uit Figuur 41 waarin de lokale hotspots beter naar voren komen.



Figuur 42: Uitsnede uit figuur 6: detail regio Utrecht



Figuur 43: Uitsnede uit figuur 6: detail Amsterdam-regio Noord Holland



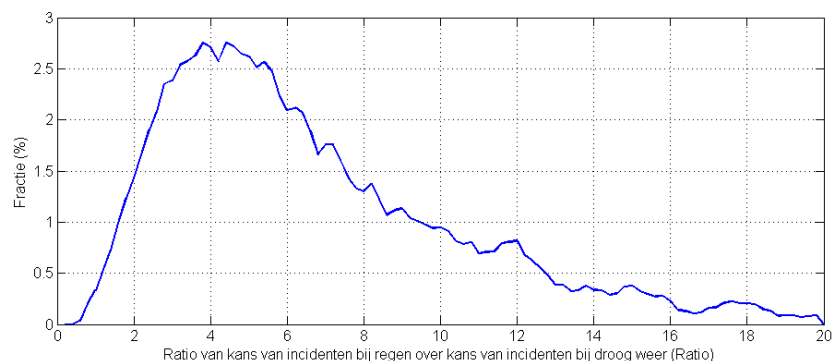
Figuur 44: Uitsnede uit figuur 6: Zuid-Holland

3.7 Invloed van neerslagintensiteit op de kans op incidenten

Aanpak 2

In de vorige paragraaf is gekeken naar de locaties op het wegennet die kwetsbaar zijn voor neerslag. In deze paragraaf wordt gekeken naar de relaties tussen neerslagintensiteit en de kans op incidenten. De extra kans op een incidenten bij neerslag is bepaald door voor elk wegvak de kans op incidenten bij neerslag (Figuur 41) te delen door de kans op neerslag (zie Bijlage C). Hetzelfde kan gedaan worden voor de incidenten bij droog weer. Deze twee kansen kunnen vervolgens vergeleken worden en uitgedrukt in een ratio.

Uit Figuur 45 blijkt dat de piek van de ratio's rond de 4.5% ligt. Kortom, op de meeste plaatsen in Nederland geldt dat er een 4.5x zo grote kans op een incident is, vergeleken met de situatie bij droog weer.



Figuur 45: ratio kans op incidenten bij neerslag tov droog weer

Ook bij deze resultaten moet een kanttekening worden geplaatst dat het aantal beschikbare observaties te klein is om statistisch betrouwbare uitspraken te kunnen doen per locatie.

3.8 Zijn er wegkenmerken (zoals op- en afritten, boogstralen etc.) aan te wijzen waar er een sterke relatie is tussen neerslag en incidenten?

Aanpak 1

In de onderzoeksdatabank zijn alle locaties (en daaruit voortvloeiend ook alle incidenten) voorzien van een wegtypering (locatiekenmerken) uit de VILD databank. Met de VILD worden weglocaties gekoppeld aan locatiekenmerken zoals routes, knooppunten, af- en toeritten, provincies en gemeenten. De VILD-NL bevat alle A- en N-wegen in Nederland. Deze wegen zijn voorzien van hectometer-paalgegevens.

Deze locatiekenmerken zijn onderzocht op relaties met incidenten en neerslag. Niet alle locatietypen zijn even relevant voor de analyse, in de onderstaande tabel is aangegeven welke locatiekenmerken in dit onderzoek zijn meegenomen en welke niet. Vervolgens zijn deze locatietyperingen eveneens met het statistisch analysemodel bekeken op hun relatie met incidenten en neerslag.

Tabel 4: Gebruikte VILD-locatiekenmerken in de analyse naar incidenten en neerslag

<i>Meegenomen in analyse</i>	<i>Niet meegenomen in analyse</i>
Knooppunt	Hectometersprong
Kruising	Grensovergang
Aansluiting	Tol
Verbindingsweg	Veerterminal
Knooppunt (driehoek)	Parkeerplaats (service)
Afrit	Sluis
Verkeersplein	Veer
Tunnel	
Tankstation	
Brug	
Bebouwde kom	
Dam	
Dijk	
Parkeerplaats (rest)	
Spoorwegovergang	
Industriegebied	
Viaduct	
Carpoolpunt	
P&R terrein	

Uit de analyse blijkt dat de wegkenmerken tot op zekere hoogte de congestie en incidentduur verklaren. De wegkenmerken verklaren niet waarom er een incident was, dit is niet geanalyseerd. Er is echter geen significante relatie gevonden tussen de combinatie van wegkenmerken én regenval om incidenten te verklaren.

Onderstaande tabel geeft de uitkomsten van de statistische analyse weer. In deze analyse is het OLS-model gebruikt omdat het juist om de locatiekenmerken gaat. De wegkenmerken zijn onder in de tabel aangegeven. De combinatie van wegkenmerken en regen is weergegeven met de termen “prep-..” (prep staat voor precipitation). Uit de tabel komt naar voren dat er voor de verschillende individuele wegkenmerken een relatie is met de congestie met een redelijk hoge

betrouwbaarheid. Zo is de relatie tussen het kenmerk 'afrit' en congestie – 6,32 met een betrouwbaarheid van 100%, oftewel dit kenmerk reduceert congestie.

Wanneer deze kenmerken gecombineerd worden met de neerslag (de 'prep-variabelen') dan blijkt dat voor geen van de locatiekenmerken een significant verband gevonden kan worden.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de kenmerken vanuit de VILD-database waarschijnlijk niet de juiste kenmerken zijn om naar te kijken. Voor het onderzoek naar de kwetsbaarheid van het wegennet voor klimaatverandering lijken kenmerken als asfalttype, onderhoud van de weg, afwatering mogelijk relevanter om te beschouwen. In hoeverre deze gegevens beschikbaar zijn en gekoppeld zouden kunnen worden aan de gebruikte onderzoeksdatabase van deze studie zou nader bekeken moeten worden.

Tabel 5: Relatie tussen wegkenmerken en incidenten

Source	SS	df	MS	Number of obs = 345663 F(76,345586) = 4758.87 Prob > F = 0.0000 R-squared = 0.5114 Adj R-squared = 0.5113 Root MSE = 262.35		
Model	2.4893e+10	76	327542843			
Residual	2.3786e+10345586	68827	.8486			
Total	4.8679e+10345662	140828	.893			

vvu	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
vvuref	1.841549	.0032239	571.21	0.000	1.835231	1.847868
Temperature	.017999	.0129141	1.39	0.163	-.0073121	.0433102
d_avgrain						
1	14.95928	2.681053	5.58	0.000	9.704492	20.21406
2	46.27719	4.20097	11.02	0.000	38.04341	54.51097
3	22.22927	5.418422	4.10	0.000	11.60932	32.84921
4	16.47228	10.32705	1.60	0.111	-3.768447	36.713
workweek	6.748557	1.273476	5.30	0.000	4.25258	9.244533
d_rain	4.672165	2.897574	1.61	0.107	-1.006996	10.35133
prep_sluis	-42.59708	65.94224	-0.65	0.518	-171.8419	86.64779
prep_parke-t	23.46648	9.801283	2.39	0.017	4.256247	42.67671
prep_parke-e	-3.035046	3.606992	-0.84	0.400	-10.10464	4.034552
prep_brug	.8126391	3.646933	0.22	0.824	-6.335244	7.960522
prep_grens-g	-17.05945	31.98174	-0.53	0.594	-79.74273	45.62384
prep_tanks-n	-2.32208	9.148414	-0.25	0.800	-20.25271	15.60854
prep_hecto-g	5.439421	1.555997	3.50	0.000	2.389712	8.489129
prep_verke-n	-51.39804	150.972	-0.34	0.734	-347.2987	244.5026
prep_afrit	.5925237	1.222802	0.48	0.628	-1.804132	2.989179
prep_knoop-e	4.357252	3.529857	1.23	0.217	-2.561164	11.27567
prep_knoop-t	.1386096	1.843067	0.08	0.940	-3.473749	3.750968
knooppuntt-e	-7.214475	2.401233	-3.00	0.003	-11.92082	-2.508129
afrit	-6.328628	1.01954	-6.21	0.000	-8.326898	-4.330359
verkeerspl-n	-41.20356	56.78204	-0.73	0.468	-152.4947	70.08757
hectometer-g	6.24339	1.167107	5.35	0.000	3.955894	8.530885
tunnel	7.661596	3.332428	2.30	0.021	1.130134	14.19306
tankstation	46.73646	15.52311	3.01	0.003	16.31162	77.16129
grensoverg-g	-49.77853	9.96307	-5.00	0.000	-69.30585	-30.2512
tol	(omitted)					
veerterminal	(omitted)					
brug	20.36146	2.543957	8.00	0.000	15.37538	25.34754
parkeerpla-e	9.04167	2.799222	3.23	0.001	3.555277	14.52806
bebouwdekom	(omitted)					
dam	(omitted)					
dijk	(omitted)					
parkeerpla-t	13.59537	4.869112	2.79	0.005	4.052049	23.13868
sluis	-21.1506	21.67035	-0.98	0.329	-63.62385	21.32264
spoorwegov-g	(omitted)					
veer	(omitted)					
industrialie-d	(omitted)					
viaduct	-1.234931	2.847521	-0.43	0.665	-6.81599	4.346128
carpoolpunt	(omitted)					
prterrein	(omitted)					
_cons	-34.82511	4.255023	-8.18	0.000	-43.16483	-26.48539

3.9 De relatie tussen files (VVU) en neerslag

Aanpak 2

Voertuigverliesuren worden bepaald door voor een bepaalde wegsectie uit te rekenen wat de reistijdvertraging was en deze te vermenigvuldigen met het aantal voertuigen dat zich op dat moment in die wegsectie bevond. Doordat de VVU zowel de vertraging als het aantal reizigers dat last van de vertraging ondervindt meeneemt wordt het als een goede maat voor het file-leed in Nederland beschouwt. Om de inzicht te krijgen in de effecten van neerslag op het verkeer wordt in deze en de volgende paragrafen voornamelijk gekeken naar de neerslaglocaties (aanpak 2).

3.9.1 Bepaling voertuigverliesuren (VVU's)

De berekening van de VVU's wordt uitgevoerd voor de gehele ATOLdatabase met wegverkeersgegevens in Nederland. Voor alle bemeten wegvakken in Nederland (zie Figuur 1) is daardoor informatie beschikbaar over de voertuigverliesuren die gedurende een jaar, per minuut en per 100m wegvak, voor zijn gekomen.

3.9.2 VVU referenties en extra reistijdverlies

Om de invloed van regen op de fileontwikkeling in Nederland netjes uit te rekenen is er meer nodig dan alleen kennis over voertuigverliesuren en regenintensiteiten. Wat we eigenlijk willen weten is tot hoeveel "extra" reistijdvertraging de neerslag heeft geleid. Een file, met bijbehorend reistijdverlies, kan een dagelijks terugkomende situatie zijn; het is in zo'n geval niet zuiver om dit reistijdverlies volledig toe te schrijven aan de neerslag die er toevallig mee samenviel.

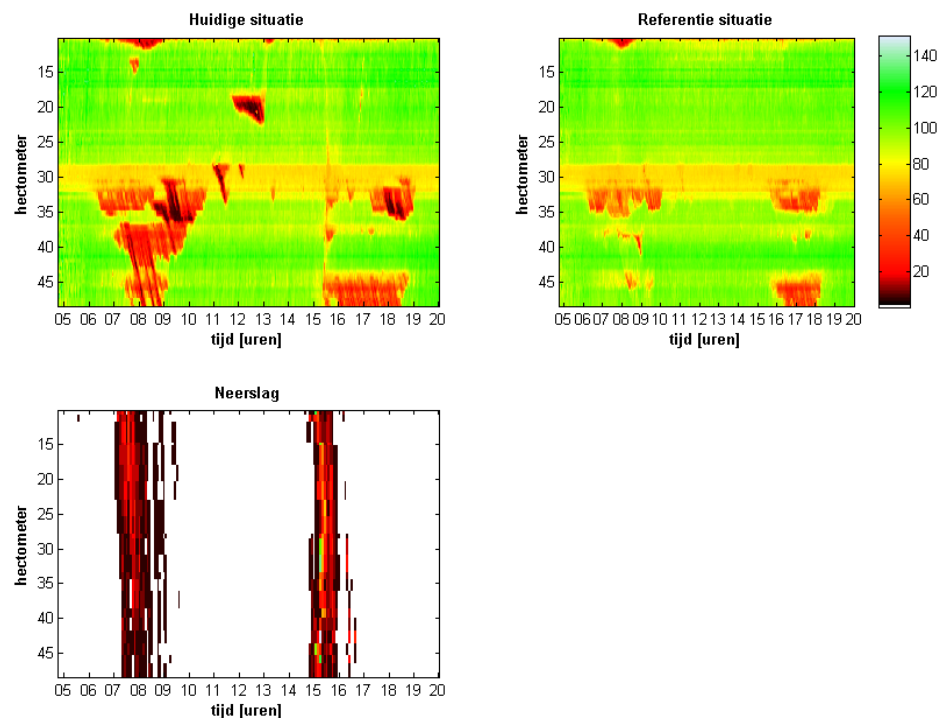
Het is wel nuttig om te onderzoeken of de neerslag heeft geleid tot extra reistijdvertraging; wellicht is de file verergerd door de neerslag of duurde de congestie langer dan gebruikelijk. Om dit in beeld te brengen wordt een referentie gebruikt die de verwachte reistijdvertraging voor iedere minuut en elk 100m wegvak beslaat. De referentie wordt uitgerekend op basis van een methode die sterk lijkt op de methode die omschreven is in paragraaf 3.1.4 van dit rapport. Voor de VVU's wordt echter gewerkt met de historisch gerealiseerde voertuigverliesuren in plaats van de intensiteiten. Zo wordt voor iedere minuut, door een analyse van soortgelijke minuten in de weken eromheen voor dezelfde locatie, in beeld gebracht welke reistijdvertraging wordt verwacht.

3.9.3 Werkwijze bepaling extra reistijdverlies door neerslag

Om te illustreren hoe het extra reistijdverlies door neerslag bepaald wordt, toont deze paragraaf stapsgewijs de handelingen die zijn uitgevoerd. In het voorbeeld zijn snelheden getoond in plaats van voertuigverliesuren, de berekeningen vinden op dezelfde wijze plaats. Snelheden maken het over het algemeen voor de ongeofende lezers gemakkelijker om gevoel te krijgen bij de situatie.

In ons voorbeeld kijken we naar de A20 en zoomen we in op 11 januari 2007. Een deel van de beschikbare gegevens is in Figuur 46 geïllustreerd:

- Linksboven zijn dat de snelheden zoals die op de 11^e door meetlussen zijn geregistreerd.
- Rechtsboven ziet men de snelheden die verwacht waren op basis van de 8 referentieweken om de 11^e heen
- Linksonder ziet men de neerslag zoals die die dag gevallen is.



Figuur 46: Voorbeeld van een VVU analyse

Alle figuren hanteren dezelfde kleurenschaal die rechtsboven weergegeven is. Voor de snelheidskaarten moeten de kleuren geïnterpreteerd worden in termen van snelheden [km/u], voor de neerslagkaart betreft het regenintensiteiten in [mm/u].

De analyse begint met de neerslag-intensiteitkaart. Voor verschillende neerslagcategorieën worden de pixels (in ons geval minuten op een 100m wegvak) waar neerslag van een bepaalde categorie viel geïdentificeerd. Dit kan bijvoorbeeld kunnen dat alle rode pixels in de analyse worden meegenomen omdat zij qua intensiteit binnen de categorie vallen. De analyse wordt vanzelfsprekend over alle categorieën uitgevoerd.

Per categorie worden de geïdentificeerde pixels gebruikt als index om de bijbehorende informatie uit de VVU-kaart en de VVU-referentiekaart te halen. De informatie uit de VVU en VVU-ref kaarten kan vergeleken worden. Deze vergelijking geeft de 'extra' VVUs aan, die *wel* zijn voorgekomen ten tijde van de neerslag, maar *niet* verwacht werden volgens de referentie.

Er zijn verschillen te zien tussen het verwachte (rechts) en gerealiseerde (links) snelheidsbeeld. De files (rood en zwart) blijken gedurende de neerslagperioden ernstiger en langer dan gebruikelijk. Dit leidt tot een toename in het aantal voertuigverliesuren.

In de laatste stap van de verwerking worden de gevonden gegevens weggeschreven in een database. De volgende parameters zijn daarna beschikbaar (alle parameters zijn gegeven per 100m locatie en per onderzoeksjaar):

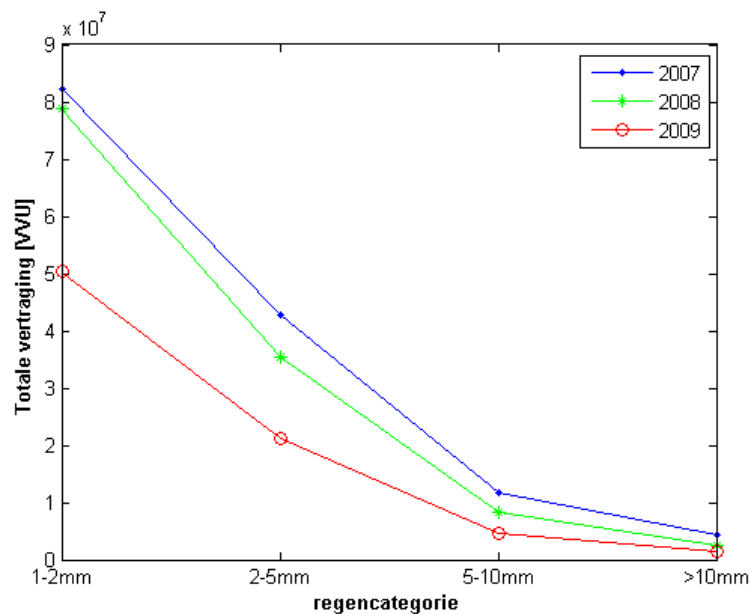
- De extra VVU's per neerslagcategorie
- Het aantal minuten waarover gesommeerd is voor bovenstaande VVU's (totaal aantal minuten met zowel neerslag als extra vertraging).
- Het totale aantal minuten met neerslag van iedere categorie
- Het totale aantal VVU's

- Het totaal aantal minuten met vertraging

Deze resultaten kunnen vervolgens op twee manieren verwerkt worden. Allereerst worden alle resultaten per jaar verzameld en worden de totalen over alle locaties uitgerekend. Dit geeft een indruk van de algemene trends en kentallen. Vervolgens kunnen de resultaten over alle jaren verzameld worden en gerapporteerd per individuele 100m locatie. De resultaten van deze stap worden gevisualiseerd in een kaart waarin kwetsbare wegsecties herkenbaar zijn.

3.9.4 Resultaten neerslag en VVU's

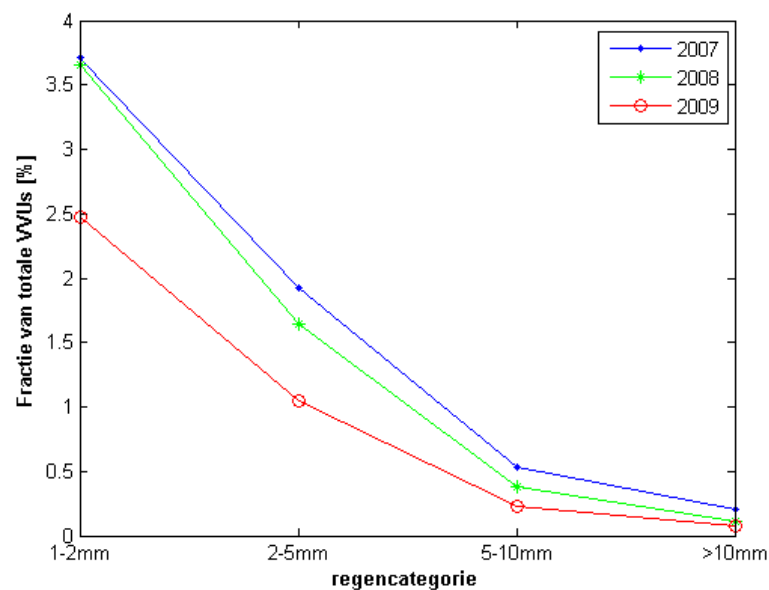
In Figuur 47 zijn per jaar de extra voertuigverliesuren tijdens neerslag uitgezet per neerslagcategorie.



Figuur 47: extra vertragingen per regencategorie en jaar

De extra reistijdvertraging varieert van circa 50 tot ruim 80 miljoen voertuigverliesuren per jaar. Indien men uitgaat van een gemiddelde reistijdwaardering van 9.56€/uur dan correspondeert dat met een economische schade van circa 0.5 tot 0.75 miljard euro. Het is gevaarlijk om dit verlies volledig toe te schrijven op het conto van de neerslag, immers zijn er meerdere bronnen van extra overlast waarvoor in deze studie nog niet gecontroleerd is. De getallen zijn echter een goede bovengrens voor het totale reistijdverlies als gevolg van regen.

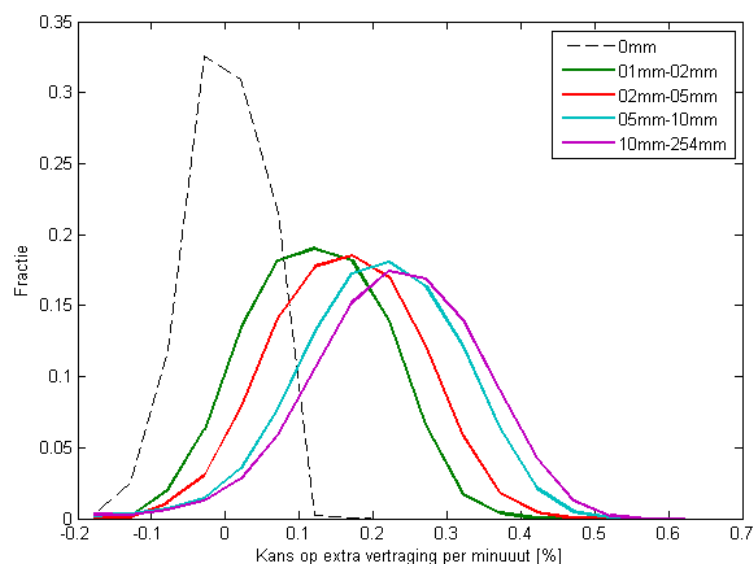
In Figuur 48 is dezelfde figuur nogmaals gegeven, maar ditmaal zijn de extra vertragingen uitgedrukt als percentage van de totale vertraging voor ieder individueel jaar.



Figuur 48: Reistijdverliezen als percentage van het totale reistijdverlies per jaar

De neerslag is verantwoordelijk voor slechts een beperkt deel van het totale reistijdverlies in een jaar. Dat zal geen onverwacht resultaat zijn omdat al bekend was dat het wegnnet slechts een beperkte tijd van het jaar last ondervindt van neerslag.

Om de resultaten in een beter perspectief te plaatsen zijn in Figuur 49 de verhoudingen weergegeven tussen enerzijds het aantal minuten met neerslag van een bepaalde categorie en extra vertragingen, en anderzijds het totale aantal minuten met neerslag van die categorie. Deze fractie is voor ieder wegvak uitgerekend en geïllustreerd in de distributies van Figuur 49.

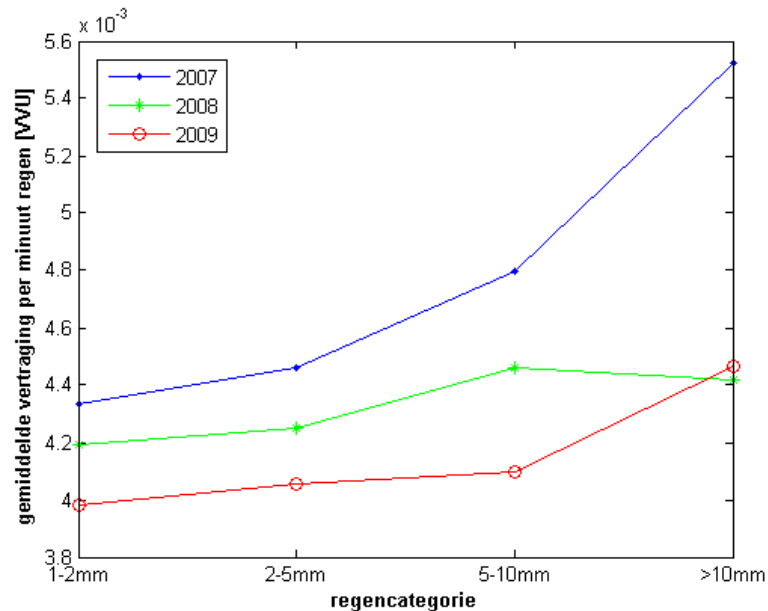


Figuur 49: Kans op vertraging per minuut.

Uit de figuur blijkt dat de kans op extra vertraging toeneemt met toenemende neerslagintensiteiten. Een neerslagintensiteit van 2mm/uur geeft gemiddeld

ongeveer 10% kans op extra vertragingen, dit neemt toe tot ongeveer 25% bij neerslag van meer dan 10mm/uur.

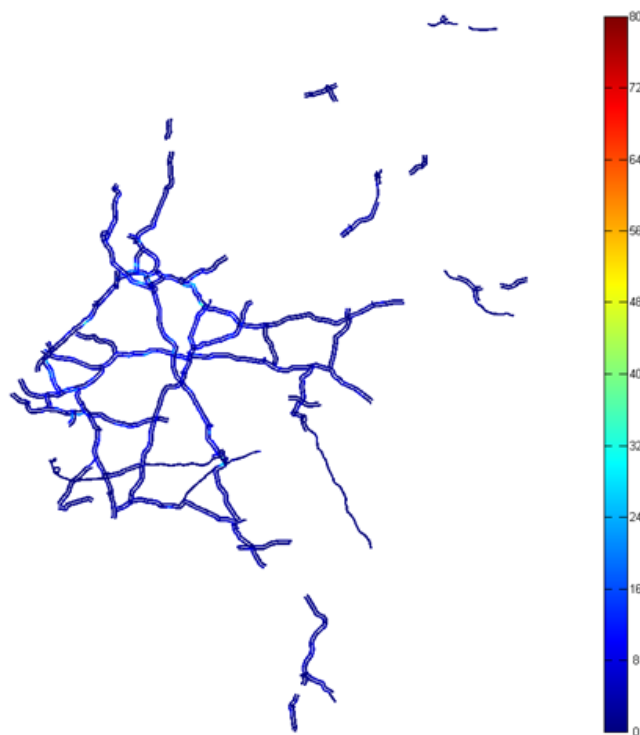
Hoewel Figuur 49 inzicht geeft in de kans op extra reistijdverlies, zegt de figuur niets over hoe groot dat reistijdverlies daadwerkelijk is. De uitkomst kan variëren van een lichte snelheidsvariatie tot ernstige en onverwachte congestie. Om meer inzicht te verschaffen is in Figuur 50 geïllustreerd wat het gemiddelde extra reistijdverlies per minuut neerslag van een bepaalde categorie geweest is.



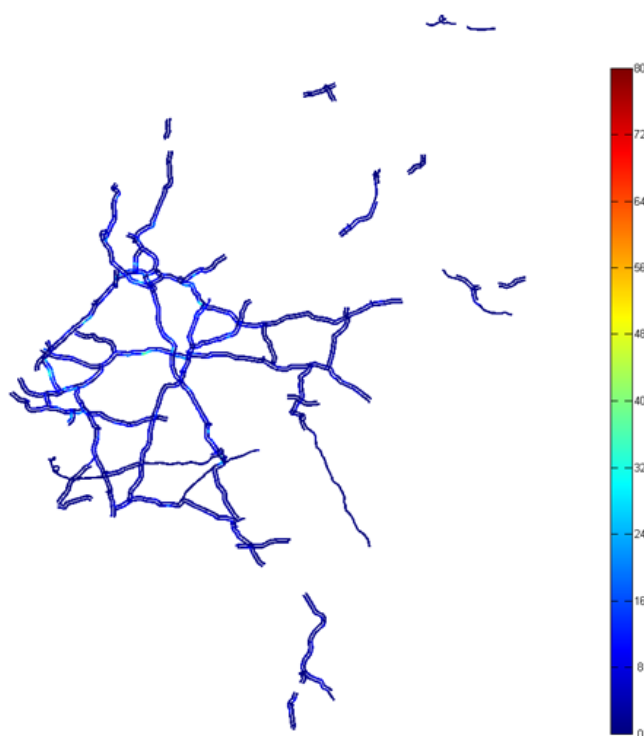
Figuur 50: Gemiddeld extra reistijdverlies per minuut

Het gemiddelde extra reistijdverlies per minuut varieert tussen de $4 \cdot 10^{-3}$ en $5.5 \cdot 10^{-3}$ VWU. De vertraging neemt over het algemeen toe met toenemende regenintensiteit, maar de verminderde gevoeligheid van de jaren 2008 en 2009 t.o.v. 2007 valt op.

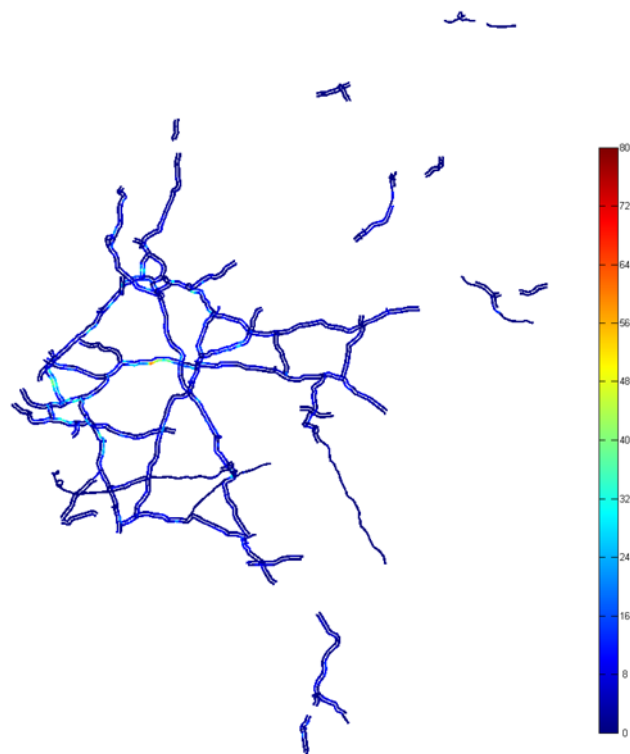
Het gemiddelde reistijdverlies per minuut kan ook per locatie uitgerekend worden en gevisualiseerd worden in een kaart. De figuren 51-54 geven een overzicht voor de verschillende neerslagcategorieën.



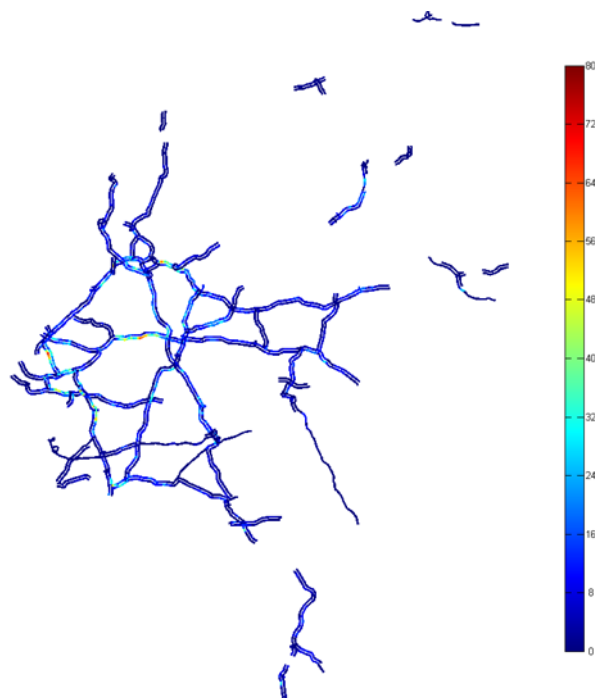
Figuur 51: VVU/ minuut neerslag voor neerslagintensiteit 1-2 mm/uur



Figuur 52: VVU/ minuut neerslag voor neerslagintensiteit 2-5 mm/uur



Figuur 53: VVU/ minuut neerslag voor neerslagintensiteit 5-10 mm/uur

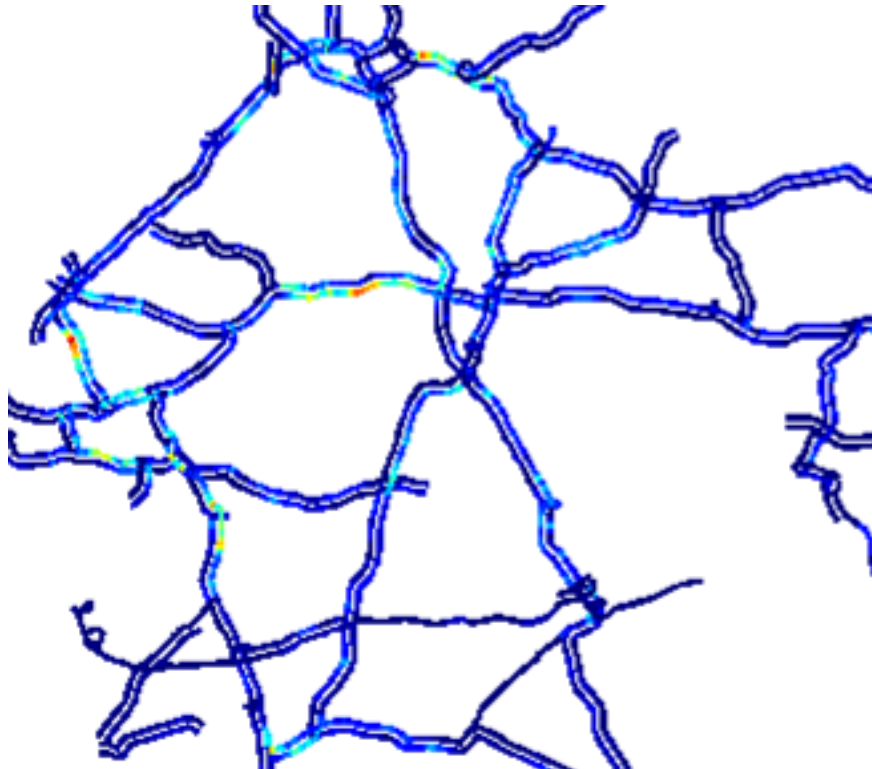


Figuur 54: VVU/ minuut neerslag voor neerslagintensiteit >10 mm/uur

De resultaten in de bovenstaande zijn lastig af te lezen, dat is echter het gevolg van een aantal eigenschappen van het resultaat:

- Er zijn over het algemeen geen grote verschillen in de extra vertragingstijd per minuut neerslag over Nederland
- De extra vertragingstijd per minuut neemt maar beperkt toe met toenemende regenintensiteit
- Een beperkt aantal locaties blijkt gevoelig voor met name neerslagintensiteiten hoger dan 10mm/uur.

De locaties uit het laatste punt (neerslag > 10 mm/uur) zijn in Figuur 55 duidelijker zichtbaar:



Figuur 55: Locaties gevoelig voor neerslag van meer dan 10 mm/uur

3.10 Analyse snelheid en neerslag

Aanpak 2

Het effect van neerslag op het verkeer is onderzocht aan de hand van situaties waar de snelheid nagenoeg free-flow was en opeens sterk daalde (verder in het onderzoek snelheidsval genoemd). Deze snelheidsvallen zijn bekeken voor de volgende neerslagcategorieën:

- 5:10 mm/uur
- 10:15 mm/uur
- 15:20 mm/uur
- 20:50 mm/uur
- 50:200 mm/uur

3.10.1 Methodologie

Voor een gegeven neerslagcategorie is voor alle beschikbare locaties in de database gekeken of deze neerslagintensiteit op de locatie is voorgekomen. Voor

elke observatie met de juiste neerslagintensiteit is een tijdperiode van circa 30 minuten gekozen om de snelheidsval te analyseren. Als er in deze periode al een andere neerslagobservatie was gedaan is deze buiten beschouwing gelaten, zodat er geen dubbeltellingen voorkomen.

Stel dat er neerslag is geobserveerd op locatie X op maandag om 10.30 uur. Uit de dataset van een jaar worden alle maandagen om 10.30 uur op die locatie vergeleken, zodat een jaargemiddelde snelheid (V_{year}) en bijbehorende standaarddeviatie (σ_{year}) bekend zijn. De snelheid op het moment dat de neerslag geobserveerd is wordt vergeleken met de jaargemiddelde snelheid. De neerslag/snelheid observatie wordt alleen meegenomen als deze binnen circa 1,5 x de standaarddeviatie (σ_{year}) valt. Dit wordt gedaan omdat er al een natuurlijke variatie in de verkeersafwikkeling en geobserveerde snelheden is (zowel bij neerslag als droog weer, dit is de dagelijkse 'ruis'). De keuze voor 1,5 keer de standaarddeviatie is gebaseerd op verschillende runs met verschillende afwijkingen van de standaarddeviatie, en is in die zin een expertinschatting. Als de neerslag/snelheid observatie buiten de grens van 1,5 keer de standaarddeviatie valt is er sprake van een verkeerssituatie die al ongebruikelijk is (congestie) en daarmee geen spraken van een snelheidsval.

Voor elke observatie die meegenomen wordt, wordt vervolgens voor een periode van 30 minuten voorafgaand aan de neerslag gekeken wat de gemiddelde snelheid is op die locatie X en welke standaarddeviatie daarbij hoort. Deze waarden worden gebruikt als een referentie voor de snelheidsval.

Vervolgens wordt gekeken welke snelheden zich voordoen in de periode van 30 minuten ná de neerslag. Van deze set aan snelheden wordt de waarde van het (laagste) 10% percentiel genomen als de waarde voor de snelheidsval. Er is niet gewerkt met de laagst voorkomende waarde, maar met het 10% percentiel om te voorkomen dat de snelheidsval wordt gekoppeld aan een toevallige uitschieter.

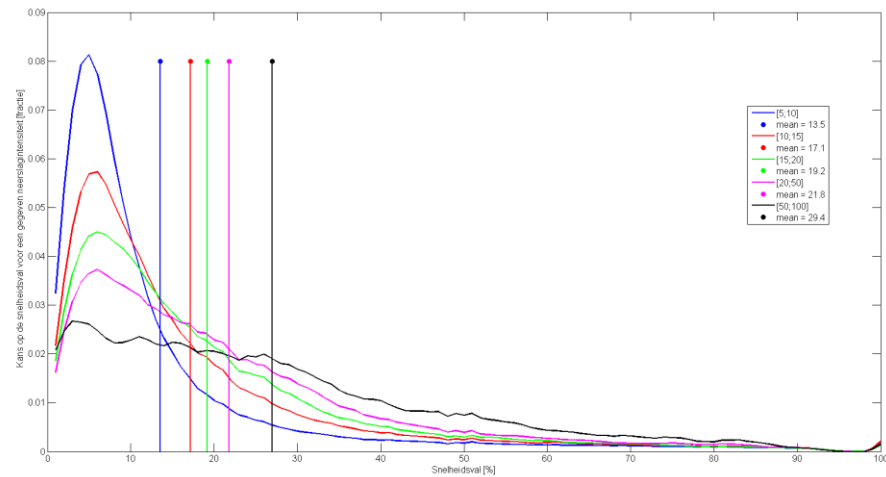
In sommige gevallen zijn in de database zeer sterke fluctuaties in de snelheid op minuutbasis naar voren gekomen. Om ervoor te zorgen dat de geobserveerde snelheidsval geen onderdeel is van een dergelijke ruis wordt de check gedaan of de snelheidsval tenminste 3maal de standaarddeviatie afwijkt van de referentie snelheid.

Als aan alle bovenstaande voorwaarden wordt voldaan is de observatie geaccepteerd en wordt voor deze locatie de relatieve snelheidsval voor de locatie in de database opgeslagen en voor nadere analyse meegenomen.

3.10.2 Resultaten van de analyse van snelheden en neerslag

De methode zoals beschreven in paragraaf 3.10.1 wordt uitgevoerd voor alle aangegeven neerslag categorieën en elke locatie. Na deze modelruns heeft elke locatie een set aan frequentiedistributies van relatieve snelheidsvallen die overeenkomt met het aantal neerslag categorieën die zich op die locatie in de periode 2007-2009 hebben voorgedaan. Voor elke locatie en neerslagcategorie is er zo een kansverdeling voor de relatieve snelheidsval.

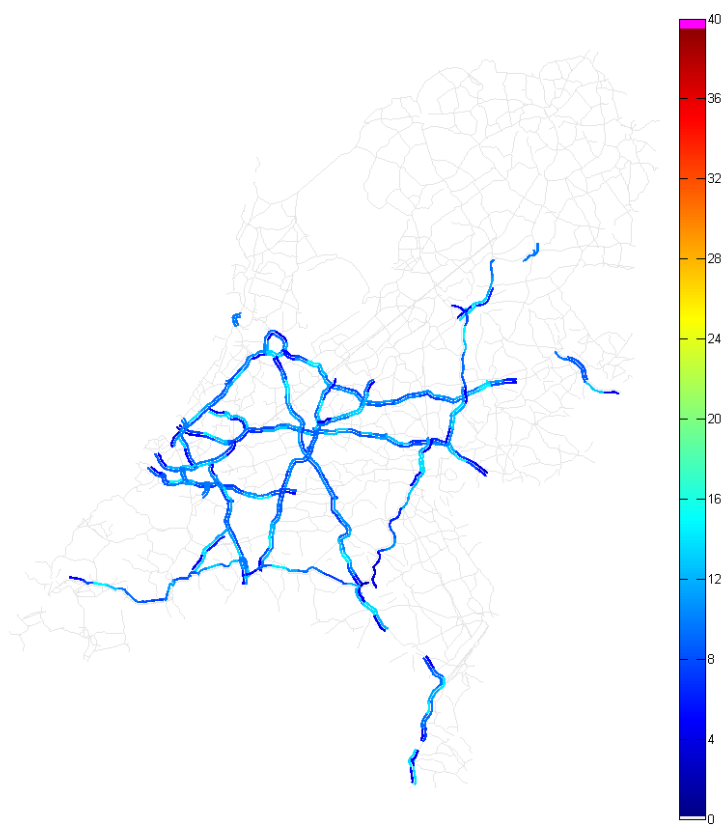
Deze informatie kan gebruikt worden om een verwachte snelheidsval voor een bepaalde locatie en neerslagintensiteit vast te stellen. Een gemiddelde over alle kansverdelingen voor alle locaties is voor elke neerslagcategorie weergegeven in Figuur 56.



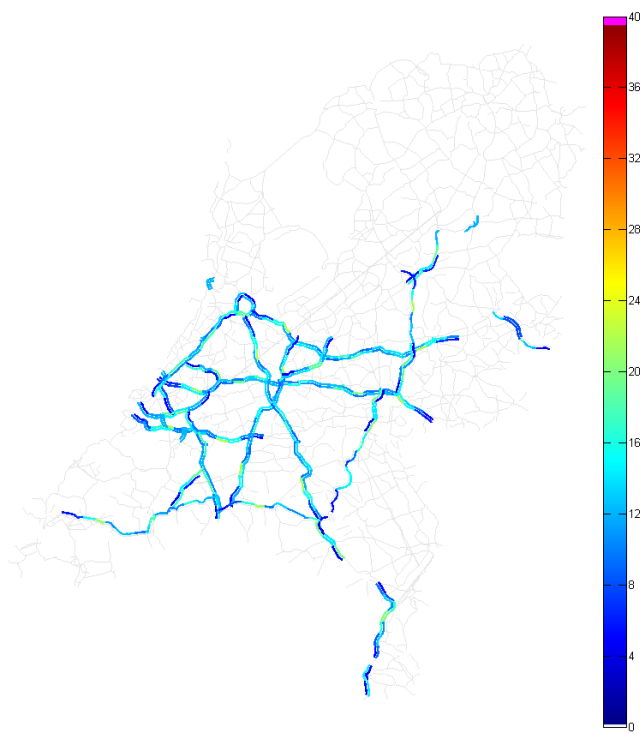
Figuur 56: Snelheidsval naar neerslagintensiteit

De meest geobserveerde reactie op neerslag (met een intensiteit groter dan 5 mm/uur) is een snelheidsval tussen 5% en 10% (met kleine variaties tussen de neerslagcategorieën). De gemiddelde reactie op neerslag varieert sterk tussen de neerslagcategorieën, variërend van 13.5% ([5:10] mm/uur) tot 29.4% ([50:100] mm/uur).

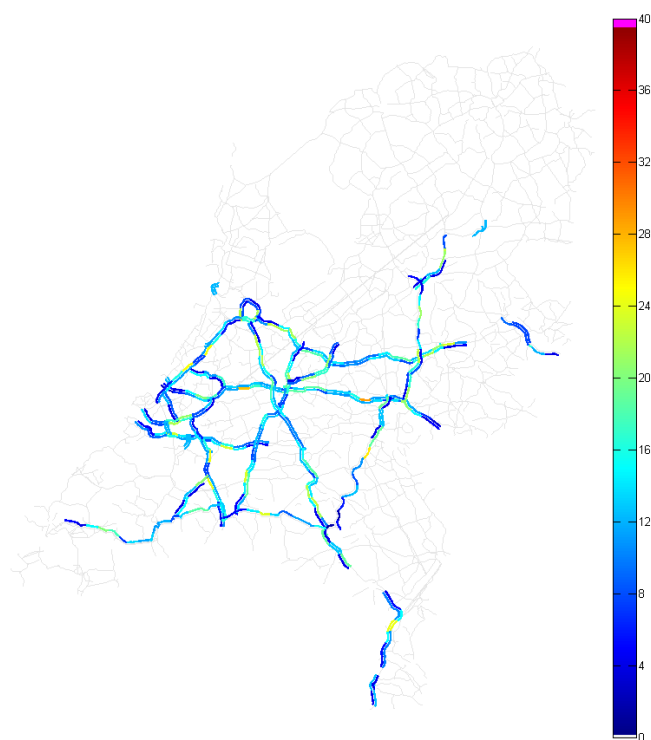
Op basis van deze kansverdelingen kan ook de kans op een gevaarlijke snelheidsval berekend worden. Een gevaarlijke snelheidsval is gedefinieerd als een snelheidsval groter dan 40%, gegeven dat er neerslag is. Hiervoor wordt de kansverdeling op een lokaal niveau gebruikt en worden de resultaten gemiddeld over wegvakken van circa 5 km en over alle neerslagcategorieën. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in de figuren 57-61.



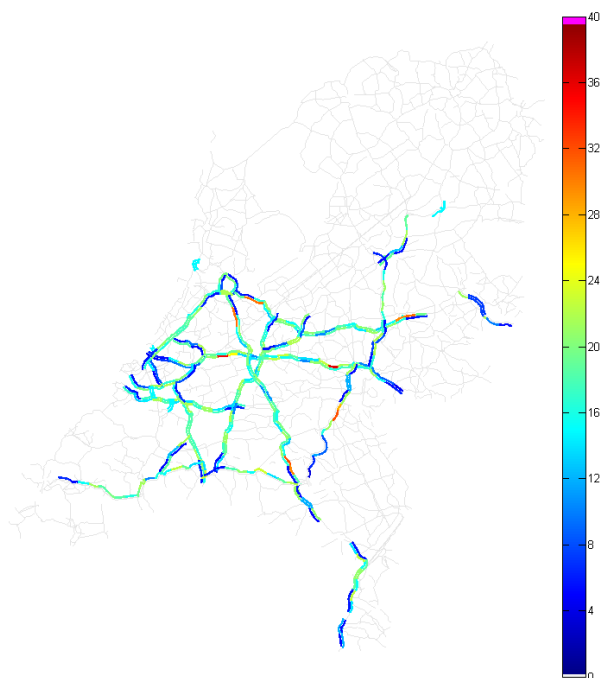
Figuur 57: Kans op een snelheidsval groter dan 40% gegeven neerslag van [5:10] mm/uur.



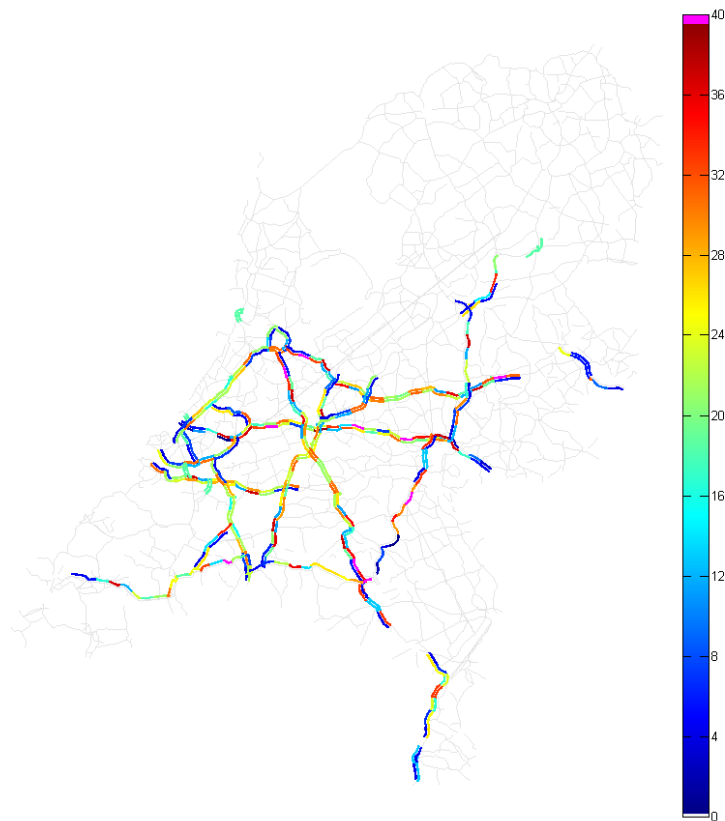
Figuur 58: Kans op een snelheidsval groter dan 40% gegeven neerslag van [10:15] mm/uur.



Figuur 59: Kans op een snelheidsval groter dan 40% gegeven neerslag van [15:20] mm/uur.



Figuur 60: Kans op een snelheidsval groter dan 40% gegeven neerslag van [20:50] mm/uur.



Figuur 61: Kans op een snelheidsval groter dan 40% gegeven neerslag van >50 mm/uur.

Uit de bovenstaande figuren is op te maken dat het verkeer op de gekozen wegvakken van 5 km verschillend reageert op neerslag. Met name bij de hogere neerslagintensiteit neemt de kans op een gevaarlijke snelheidsval toe. Op de locaties waar de kans op een gevaarlijke snelheidsval groot is, is het waarschijnlijk dat ook de kans op incidenten toegenomen is.

Bij deze resultaten moet een kanttekening geplaatst worden. De vorm van de analyse laat het strikt genomen niet toe op absolute uitspraken te doen over de invloed van neerslag op de lokale verkeersdoorstroming. In de analyse zochten we naar reducties in snelheid waarbij het verkeer vooraf niet in congestie verkeerde. Per definitie zal deze omstandigheid zich vaker voordoen op locaties waar gebruikelijk weinig congestie voorkomt. Daar voldoet het verkeer immers vaker aan de eis dat het niet in congestie is. Dit betekent ook dat op deze locaties de kans om een snelheidsval te zien hoger ligt. Bij het interpreteren van bovenstaande resultaten dient men zich dus te beseffen dat het hier strikt genomen alleen om de geobserveerde effecten van neerslag op snelheidsreducties gaat.

3.11 Analyse neerslag en wegcapaciteit

Aanpak 2

De verkeerscapaciteit of gewoon capaciteit van de weg is een verkeerskundig begrip dat het maximale aantal voertuigen aanduidt dat een doorsnede van de weg per tijdseenheid kan passeren. In de verkeerskunde is het gebruikelijk om deze capaciteit te geven in termen van voertuigen per uur per rijstrook. Een vuistregel is

dat een rijstrook een capaciteit heeft van ongeveer 2200 voertuigen per uur met uitschieters naar 2500+ gedurende korte tijd.

De beschikbare capaciteit beïnvloedt de doorstromingsnelheid bij een zekere verkeersvraag en heeft invloed op de verplaatsingskwaliteit die de gebruikers ervaren. Wanneer de verkeersvraag de beschikbare capaciteit overschrijdt ontstaat er congestie.

Neerslag kan invloed hebben op de capaciteit van een wegsectie. Door slecht zicht worden bestuurders (potentieel) gedwongen om meer tussenafstand aan te houden en de snelheid te matigen. Als de capaciteit door neerslag tot onder de verkeersvraag daalt ontstaat er een file. Indien deze capaciteitsval goed voorspeld kan worden, dan kunnen er modellen gegenereerd worden die de verwachte vertraging op basis van toekomstige neerslag voorspellen kunnen.

3.11.1 Randvoorwaarden:

De capaciteit wordt bepaald door de 'zwakste' doorsnede van een weg, dit noemen we meestal een knelpunt. Wanneer de capaciteit van een wegvak in een knelpunt gehaald wordt, dan gebeuren er 2 dingen:

- Stroomafwaarts van het knelpunt arriveren er maximaal zoveel voertuigen als er voorbij het knelpunt kunnen stromen. Aangezien het knelpunt het punt met minimale capaciteit is wordt op deze doorsnedes nimmer de capaciteit benaderd.
- Stroomopwaarts van een knelpunt ontstaat congestie. Er kunnen immers minder voertuigen passeren dan gewenst en deze voertuigen moeten ergens gestald worden. In de congestie daalt de snelheid en daarmee de doorstroming sterk. Ook hier wordt de capaciteitswaarde niet gehaald.

Het zal duidelijk zijn dat de kansen om een capaciteitswaarde te observeren zeer beperkt zijn. Ruimtelijk zien we de capaciteit alleen optreden op typische knelpuntlocaties. In de tijd zijn capaciteiten ook vluchtige entiteiten. Een verkeersstroom die tegen de capaciteit opereert wordt gekenmerkt door een groot aantal voertuigen met geringe tussenafstanden (c.q. volgtijden) en relatief hoge snelheden. Dergelijke verkeersstromen zijn gevoelig voor verstoringen. Een slecht ingeschatte inhaalactie kan voldoende zijn om een kettingreactie te starten die eindigt in congestie. Deze instabiliteit zorgt ervoor dat een piekcapaciteit slechts gedurende een korte periode geobserveerd kan worden.

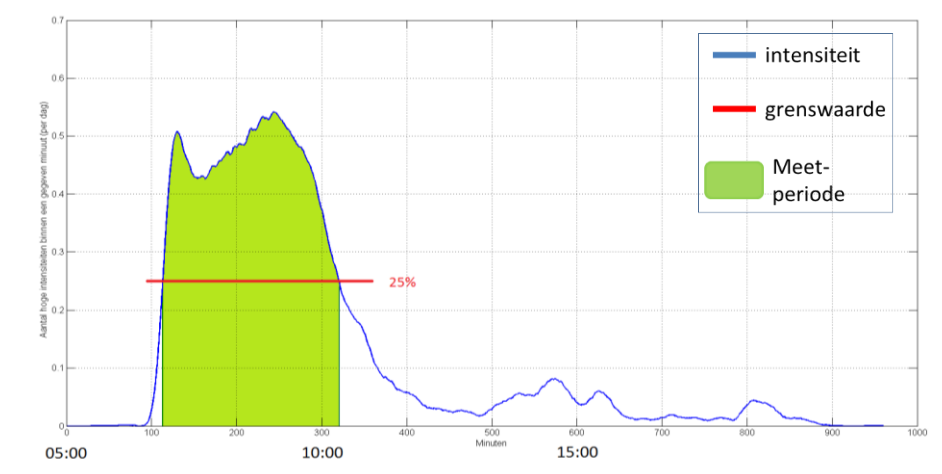
Ook neerslag is een vrij zeldzaam evenement. Gemiddeld regent het 4% van de tijd in Nederland, maar met name voor hoge regenintensiteiten daalt de observatiekans sterk. Voor intensiteiten hoger dan 10 mm/uur ligt de observatiekans ruim onder de 1%. Dit heeft als gevolg dat het ruimtelijk en in tijd samenvallen van neerslag en capaciteitsobservaties in de praktijk geen veelvoorkomende gebeurtenis is.

3.11.2 Methodologie voor het bepalen van de relatie tussen neerslag en capaciteit

De analyse richt zich op het identificeren van locaties op de weg en tijdstippen van de dag met een hoge kans op het behalen van de capaciteit. We zijn dus voornamelijk op zoek naar knelpuntlocaties en de momenten vlak voordat er congestie ontstaat. Deze locaties en momenten worden als volgt geïdentificeerd:

- De analyse loopt over alle beschikbare jaren (2007-2009) en alle beschikbare bemeten wegvakken in Nederland. Er zijn vrijwel geen plaatsen in Nederland waar ook gedurende het weekeinde of de nachtelijke uren (21:00-5:00)

- structureel de capaciteit bereikt wordt. In deze analyse blijven deze dagen en uren buiten beschouwing.
- Vervolgens worden alle 100m wegvakken beschouwd. Knelpunten worden gedefinieerd als wegvakken waar regelmatig intensiteiten (stromen) rond de capaciteitswaarde worden behaald. Dit gegeven is geformaliseerd als zijnde locaties waar gedurende minimaal 100 minuten in een jaar intensiteiten van meer dan 2100 voertuigen per uur worden gemeten.
 - Voor de knelpuntlocaties wordt daarna gezocht naar minuten van de dag waar structureel intensiteiten tegen de capaciteitswaarde gemeten worden. Dit wordt wederom geformaliseerd als minuten waar de intensiteiten gedurende minimaal 25% van het jaar (zonder weekeinden) boven de 2100vtg/uur liggen. Dit is meestal het geval gedurende de pieken van de ochtend- en avondspits. Opvolgende minuten en locaties die voldoen aan dit criterium worden gebundeld in een meetperiode (zie Figuur 62).



Figuur 62: Tijd van de dag (x-as) en het percentage van de tijd dat gedurende een bepaalde minuut intensiteiten boven de 2100vtg/min gemeten worden.

Voor de gevonden individuele meetperiodes worden vervolgens de dagmaximum-intensiteiten opgeslagen in een database. Ook de bijbehorende neerslagintensiteiten worden opgeslagen en in de verdere analyse gecombineerd in de volgende categorieën:

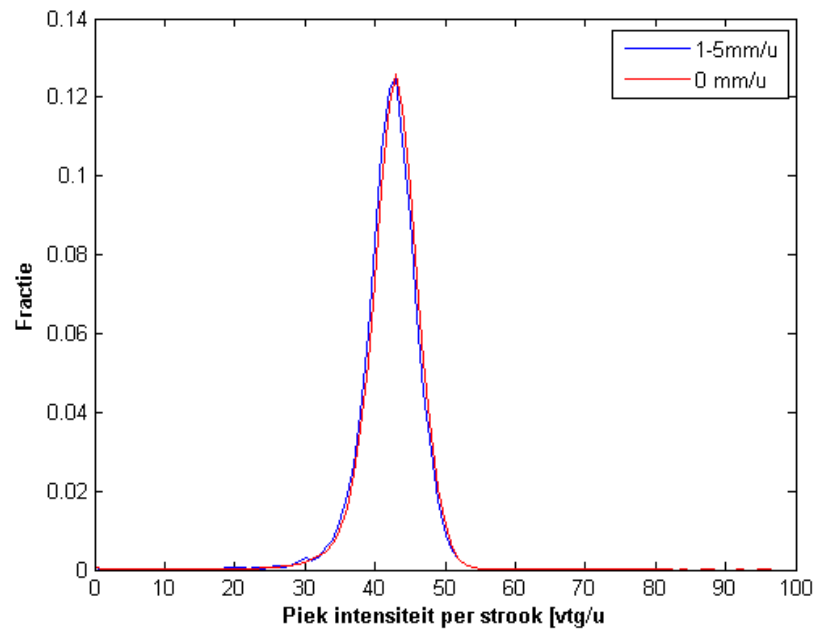
- 1-5 mm/uur
- 5-10 mm/uur
- 10-15 mm/uur
- >15 mm/uur

Op basis van de gevulde databases kunnen twee distributies worden bepaald. Een voor de maxima van de intensiteiten bij droog weer en één voor die bij neerslag. Idealiter zijn de gevonden distributies verschillend en zijn de gevonden capaciteiten tijdens regen lager dan die voor de droge uren.

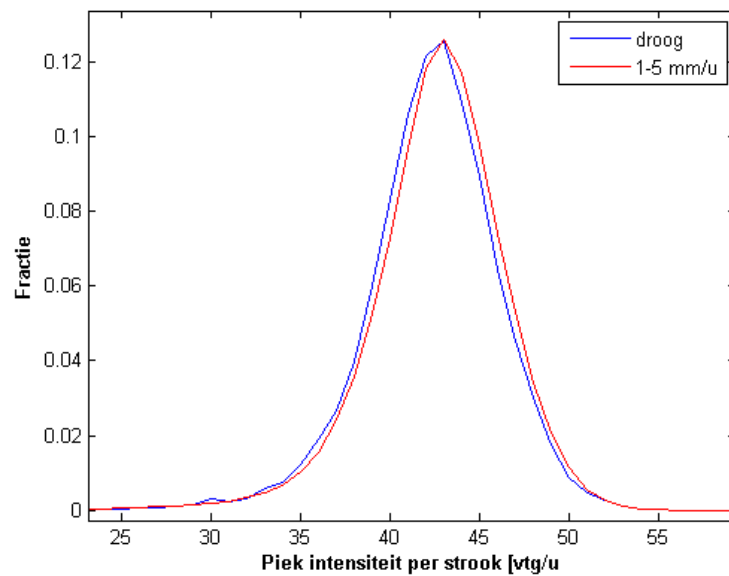
3.11.3 Resultaten capaciteit en neerslag

Helaas bleek, ondanks de studieperiode van 3 jaar, dat voor neerslagcategorieën c (10-15 mm/uur) en d (>15 mm/uur) onvoldoende observaties bestaan om betrouwbare uitspraken te kunnen doen. De distributie voor categorie a is

weergegeven in Figuur 63, en een detail daarvan in Figuur 64. De distributies voor alle categorieën zijn in bijlage A verzameld.



Figuur 63: Distributie van intensiteitsmaxima voor droge observaties en observaties bij 1-5 mm/u neerslag.

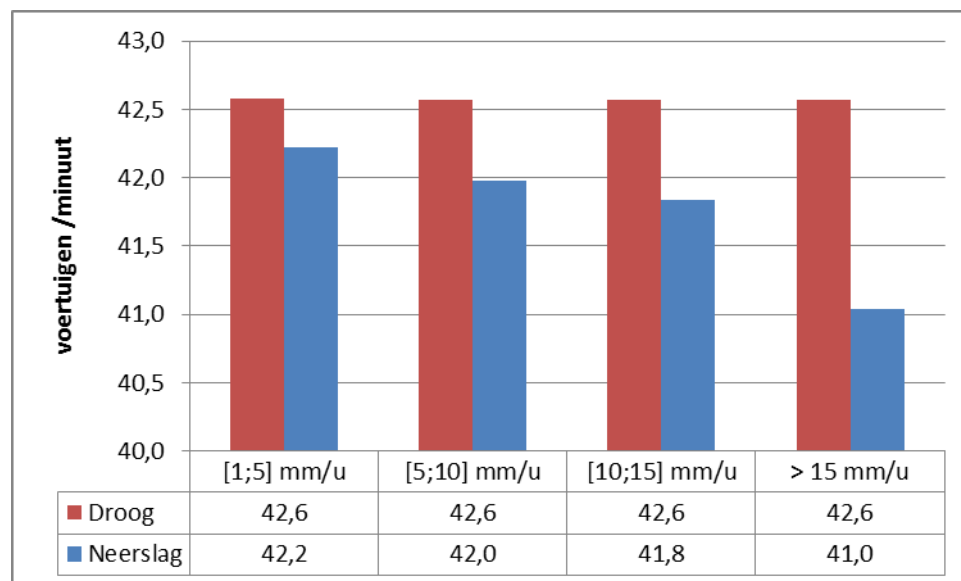


Figuur 64: Detail uit figuur 50, de lichte verschuiving is duidelijk te zien

In Figuur 63 en het nader uitgelichte detail in Figuur 64 is een lichte verschuiving te zien in de distributies van piekintensiteiten. Het lijkt er dus op dat bij neerslag lagere piekintensiteiten geobserveerd worden, wat verklaard wordt door een lagere

wegcapaciteit. Omdat deze wegcapaciteit varieert van situatie tot situatie blijft er wel sprake van een distributie in plaats van een absolute waarde.

De absolute getallen in de piek-distributies zeggen niet veel. De resultaten zeggen echter wel iets over de relatieve verschillen tussen de verschillende categorieën. Daartoe zijn van alle distributies de verwachte waarden uitgerekend (piek van de distributies) en is bekeken hoe deze zich verhouden tot de verdeling bij droog weer. Vervolgens is voor elk van de gegenereerde distributies nagegaan hoe zeker het is dat de gevonden distributie daadwerkelijk verschilt van de distributie bij droog weer. De resultaten zijn gegeven in Figuur 65.



Figuur 65: Verwachting van de piekintensiteiten

De percentuele afnames in capaciteit per neerslagcategorie zijn respectievelijk:

- a) 0.84%
- b) 1.39%
- c) 1.71%
- d) 3.60%

Voor categorie *a* en *b* geldt dat met $P = 95\%$ zekerheid gesteld kan worden dat de gevonden distributies verschillen van die bij droog weer. Voor categorieën *c* en *d* is de onzekerheid te hoog om betrouwbare uitspraken te doen.

3.11.4 Conclusie capaciteit en neerslag

Uit de resultaten lijkt de wegcapaciteit bij neerslag te dalen met tussen de 1 en 4 procent. De daling lijkt afhankelijk van de neerslagintensiteit, maar om hier absoluut zeker van te zijn zou de analyse herhaald moeten worden met meer data van met name hoge regenintensiteiten (ergo over meerdere jaren).

Ook op algoritmegebied zijn er verbeteringen mogelijk. De huidige methode zoekt gericht naar momenten waar de piekcapaciteit gehaald wordt en vergelijkt die bij droog weer en neerslag. Deze piek wordt vaak alleen tijdens de spits kortstondig gehaald zodat het aantal beschikbare meetmomenten beperkt is. Er zou breder gezocht kunnen worden naar alle momenten waar de capaciteit tijdens neerslag

daalt tot onder de op dat moment gehaalde intensiteit. In feite ontstaat er dan momentaan een door neerslag veroorzaakte bottleneck. Een dergelijk algoritme kan gebruik maken van meer data wat de betrouwbaarheid van de resultaten ten goede komt.

4 Samenvatting en conclusies

Het klimaat verandert en laat steeds vaker extreme weersomstandigheden zien. De effecten van deze veranderingen in het weer hebben hun weerslag op het verkeer op het wegennet: een toename van het aandeel heftige buien leidt naar verwachting tot meer incidenten en heeft zo een negatieve impact op de verkeersafwikkeling. De informatie over verkeersafwikkeling, incidenten en de weergegevens zijn allen opgeslagen in databases. Door het koppelen van deze informatiebronnen is het mogelijk om de data te analyseren en te onderzoeken of er een relatie is tussen neerslag, incidenten en het verkeer. In deze verkennende studie is de relatie dus niet onderzocht met behulp van (voorspellende) modellen, maar is gebruik gemaakt van empirische data die in diverse bronnen in de afgelopen jaren is verzameld.

De interesse van DVS in het koppelen van deze weer- en verkeersgegevens is vanuit een klimaatperspectief. Men wil hiermee meer inzicht verkrijgen in hoe en waar het hoofdwegennet kwetsbaar is voor klimaatverandering. Daarnaast zou deze studie ook waardevolle inzichten kunnen bieden voor aspecten als verkeersveiligheid en verkeersmanagement. Het onderzoek zich richt op de wegen van het hoofdwegennet waar verkeersgegevens van voldoende niveau beschikbaar zijn.

De doelstelling van het onderzoek is tweeledig:

- nagaan hoe kwetsbaar het wegverkeer is voor neerslag (en veranderingen daarin als gevolg van klimaatverandering)
- het bepalen van een geografische verdeling van wegvakken die kwetsbaar zijn voor (extreme) regenval

In de studie wordt naar incidenten gekeken en naar de bredere invloed die neerslag heeft op het verkeer. Hiervoor zijn neerslaggegevens uit de Buienradar gecombineerd met de informatie uit het verkeerssysteem van Rijkswaterstaat (Monica-gegevens). De TNO-tool ATOL beschikt over minuutverkeersgegevens van het hoofdwegennet waaruit verkeersgegevens zoals filelocaties, het type file en de filewaarte kunnen worden afgeleid. Hieraan zijn de neerslaggegevens over de periode 2007 t/m 2009 van Buienradar én de incidentgegevens over de periode 2007 t/m 2009 (circa 5000.000 incidenten) gekoppeld. Bij de verwerking van de neerslaggegevens blijft de extreme winterse neerslag buiten beschouwing. Deze omstandigheden komen zo weinig voor dat het niet mogelijk is om hier statistisch correcte uitspraken over te doen.

Voor iedere meetlocatie in het ATOL-netwerk zijn na deze koppeling nu de volgende parameters beschikbaar:

- Tijd,
- Locatie,
- Voorspellingshorizon (tijdsverschil tussen voorspellingstijdstip en tijdstip waarop de voorspelling gegenereerd is).
- Neerslag in mm/uur.
- Snelheid in km/uur.
- Intensiteit in vtg/uur.
- Verkeersmanagementmaatregel

Voor de beantwoording van de onderzoeksvragen is vanuit twee invalshoeken gewerkt:

- 1) redenerend vanuit de incidenten (verder genoemd aanpak 1)
- 2) redenerend vanuit de buien (verder genoemd aanpak 2)

In aanpak 1 worden de incidenten als uitgangspunt genomen en gekeken naar de effecten van neerslag, in aanpak 2 wordt naar de bredere invloed die neerslag heeft op het verkeer gekeken.

Het onderzoek heeft laten zien dat het mogelijk is om de data van incidenten, neerslag en verkeer op een hanteerbare manier aan elkaar te koppelen en te analyseren. De TNO ATOL-tool maakt de data toegankelijk en de output is te koppelen aan de statistische modellen die verdere uitspraken doen over de relaties tussen variabelen. Het is mogelijk om de kwetsbare wegvakken in Nederland op deze wijze in beeld te brengen.

Verkeersvraag

Gevoelsmatig kan iedereen zich vinden in de gedachte dat neerslag invloed kan hebben op onze vervoersbeslissingen. Op regenachtige ochtenden kiezen mensen eerder voor de auto dan voor de fiets, een bezoek aan het winkelcentrum wordt wellicht even uitgesteld. Hoe deze keuzes en afwegingen uiteindelijk tezamen komen in de verkeersvraag, het aantal voertuigen dat gebruik maakt van het wegennet, is onderzocht. In de analyse gaan we er vanuit dat regen de verkeersvraag beïnvloedt op de momenten vóór aanvang van een reis en op de locaties van waaruit de reiziger vertrekt. Eenmaal onderweg zullen maar weinig mensen besluiten de reis niet te vervolgen. Ruimtelijk gezien wordt de verkeersvraag in dit onderzoek gemeten op de opritten die het onderliggend wegennet verbinden met het snelwegennet.

Uit de analyse blijkt dat gemiddeld genomen de verkeersvraag voor de beschouwde opritten daalt bij neerslag: in de periode 2007-2009 varieert de daling van gemiddeld 1.5% tot 5% (statistisch significant). Lokaal kan er echter wel sprake zijn van stijgingen in de vraag. Dit effect is terug te vinden bij specifieke opritten, maar vertoont geen regionale trends. Ook blijkt het effect tijdstip specifiek: met name rond 7:00 's ochtends en 22:00 's avonds is er een kans dat neerslag leidt tot een lichte toename in het verkeersaanbod.

De resultaten zijn gevoelig voor het criterium dat gebruikt wordt om regenachtige dagen aan te merken. Voor toekomstig onderzoek lijkt het verstandig om 2 separate analyses te produceren voor regenintensiteiten lager dan en hoger dan 10mm per uur. De resultaten voor deze sets lijken namelijk twee afzonderlijke distributies te vormen, oftewel de verkeersvraag reageert anders op zwaardere neerslag dan op milde neerslag en motregen.

Neerslag en incidenten

Op basis van de data in de gecombineerde database blijkt dat 345.663 incidenten gekoppeld konden worden aan informatie over het verkeer en neerslag. In 16% van deze observaties was er sprake van neerslag (55.306 incidenten). Neerslag is hierbij gedefinieerd als de cumulatieve neerslag in het uur rond het incident groter is dan 0. Met een fractie van 16% van het totale aantal incidenten is neerslag significant oververtegenwoordigd ten aanzien van wat men zou verwachten op basis van de gemiddelde tijd dat het regent in Nederland (circa 4% in de gebruikte onderzoek database).

Deze incidentgegevens bij neerslag zijn vervolgens gekoppeld aan de weglocaties zoals opgenomen in ATOL en op kaart weergegeven. Figuur 1 geeft de locaties weer waar in de gebruikte dataset de kans op een incident bij neerslag is afgezet tegen de kans op een incident bij droog weer. Een oranje kleur geeft dus aan dat op die locatie de kans 10 keer zo hoog is bij neerslag.

4.1 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

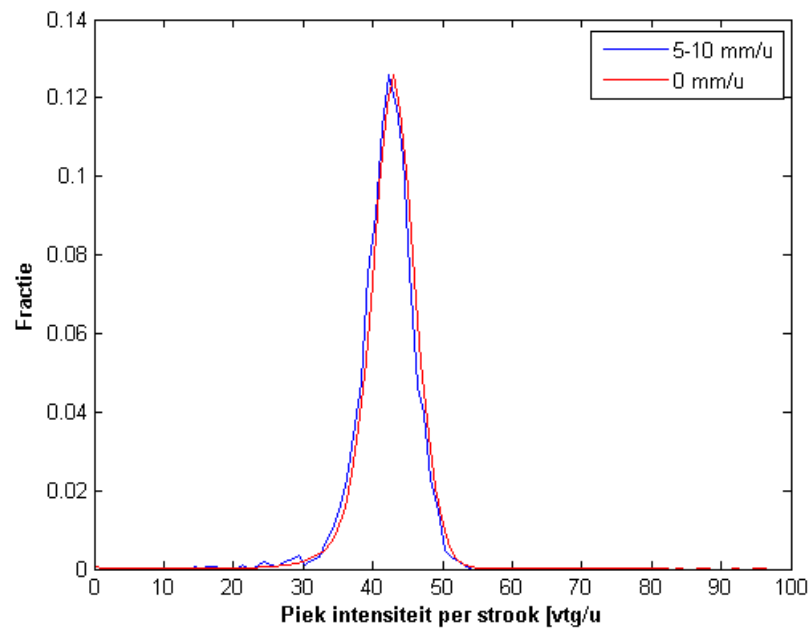
Op basis van de gevonden resultaten zijn de volgende aanbevelingen voor vervolgonderzoek geformuleerd:

- Er zijn weinig extreme buien in de periode 2007-2009, een enkele uitschieter beïnvloedt de resultaten daarmee sterk. In een groot deel van de analyse zijn de winterse buien daarom buiten beschouwing gelaten, terwijl met name de extreme buien voor klimaatbeheersingsvraagstukken relevant zijn. De aanbeveling voor vervolgonderzoek is om de databases van verkeer en neerslagdata uit te breiden, in eerste aanzet met de periode 2010-2012 en indien mogelijk ook met gegevens van voor 2007?.
- De wegkenmerken uit de VIL database zijn in de analyse niet als statistisch significante kenmerken naar voren gekomen. Naar verwachting zullen kenmerken als het type asfalt, de onderhoudsstraat van de weg of de afwatering relevantere voorspellende waarde hebben voor de effecten van (extreme) neerslag. In een vervolgonderzoek kan bepaald worden welke databases beschikbaar zijn en of deze aan het wegennetwerk van ATOL te koppelen zijn. De analyse kan vervolgens met een uitgebreidere dataset opnieuw uitgevoerd worden.
- In de rapportage is aan de hand van een aantal geografische weergaven inzicht gegeven in wegvakken of locaties die kwetsbaar lijken voor neerslag. Deze kaarten kunnen vergeleken worden met de locaties met incidenten zoals deze in de TNO studie naar de Robuustheid van het Nederlands hoofdwegennet 'zijn bepaald. Deze kaarten zijn in bijlage B opgenomen. Ook kunnen de locaties vergeleken worden met de locaties die in de Blue Spot studie zijn weergegeven. De combinatie van deze gegevens kan de inzichten in de kwetsbare wegvakken op het Nederlandse wegennet verder in kaart brengen.

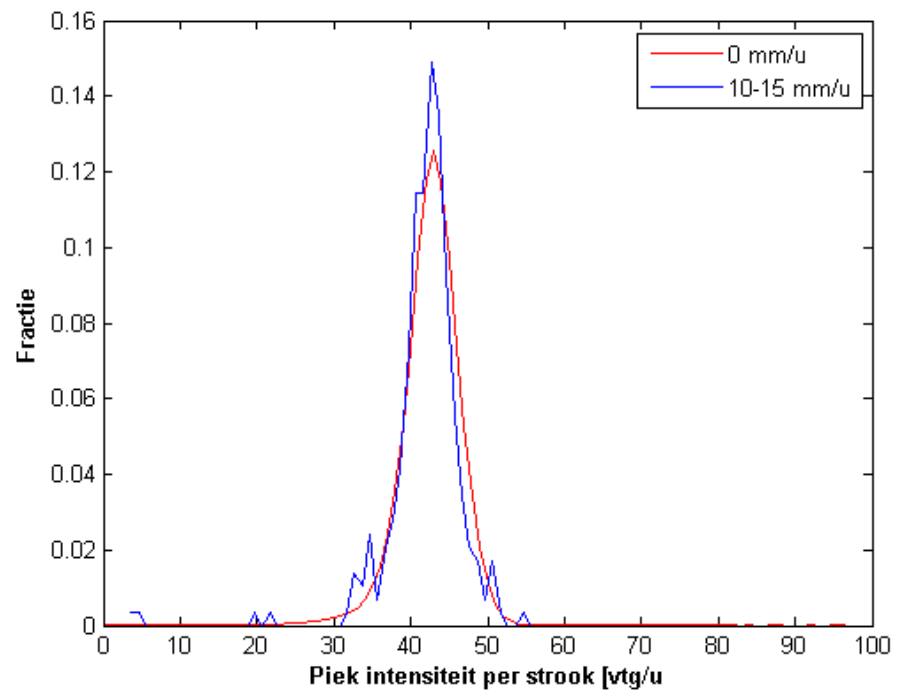
Referenties

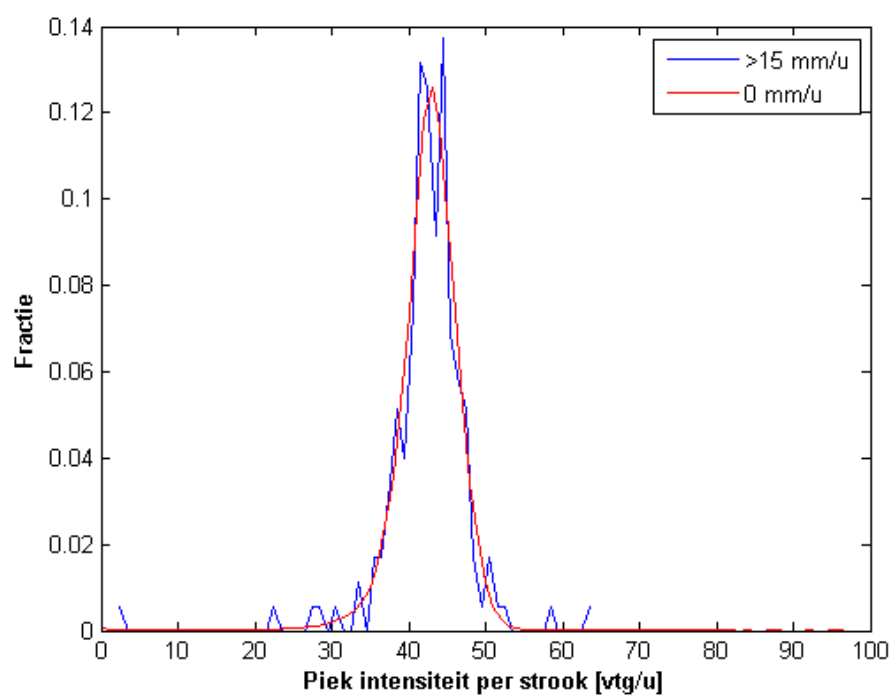
- [1] M. Snelder e.a. *De robuustheid van het Nederlandse hoofdwegennet*, TNO Rapport TNO-060-DTM-2011-04228, Delft, dec 2011
- [2] *Speed of a Falling Raindrop*;
<http://hypertextbook.com/facts/2007/EvanKaplan.shtml>
- [3] M. Snelder e.a., *Naar een klimaatbestendig wegennetwerk, De robuustheid van het wegennetwerk voor verstoringen die door klimaatveranderingen vaker voor zullen komen*, TNO position paper, Delft, oktober 2008
- [4] Corbert, John H. *Physical Geography Manual*. 1974. 5th ed. N.p.: Kendall/Hunt, 2003. 127
- [5] Chung, Edward et al., *Effect of Rain on Travel Demand and Traffic Accidents*, Proceedings of the 8th international IEEE Conference on ITS, Vienna, Austria, September 13-16, 2005
- [6] M.W. Adler e.a. *'Non-recurrent road congestion, accident and incident duration'*, gepland in febr 2013

BIJLAGE A: Piekintensiteiten per neerslag categorie



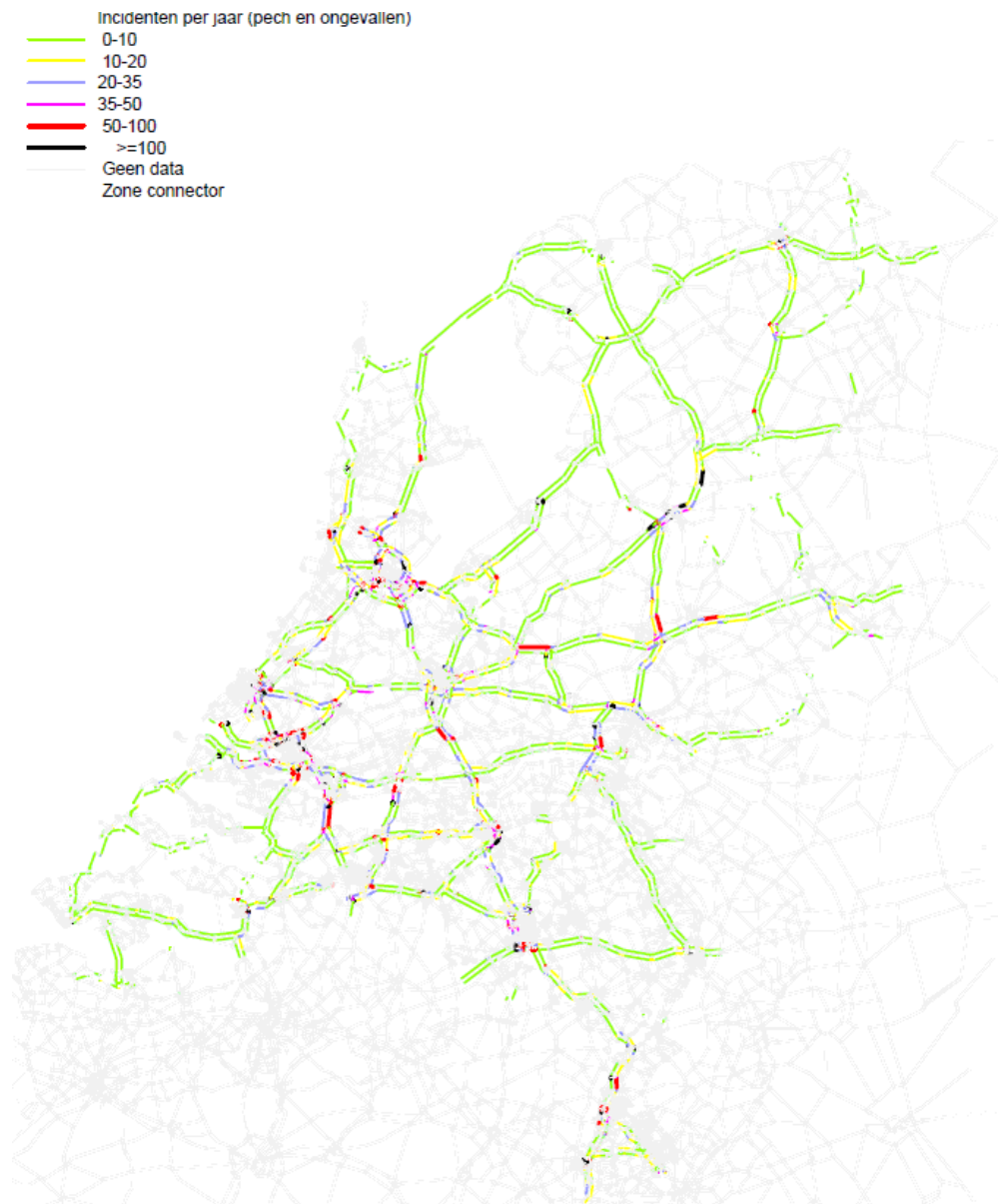
Piekintensiteiten bij neerslag van 5-10 mm/uur



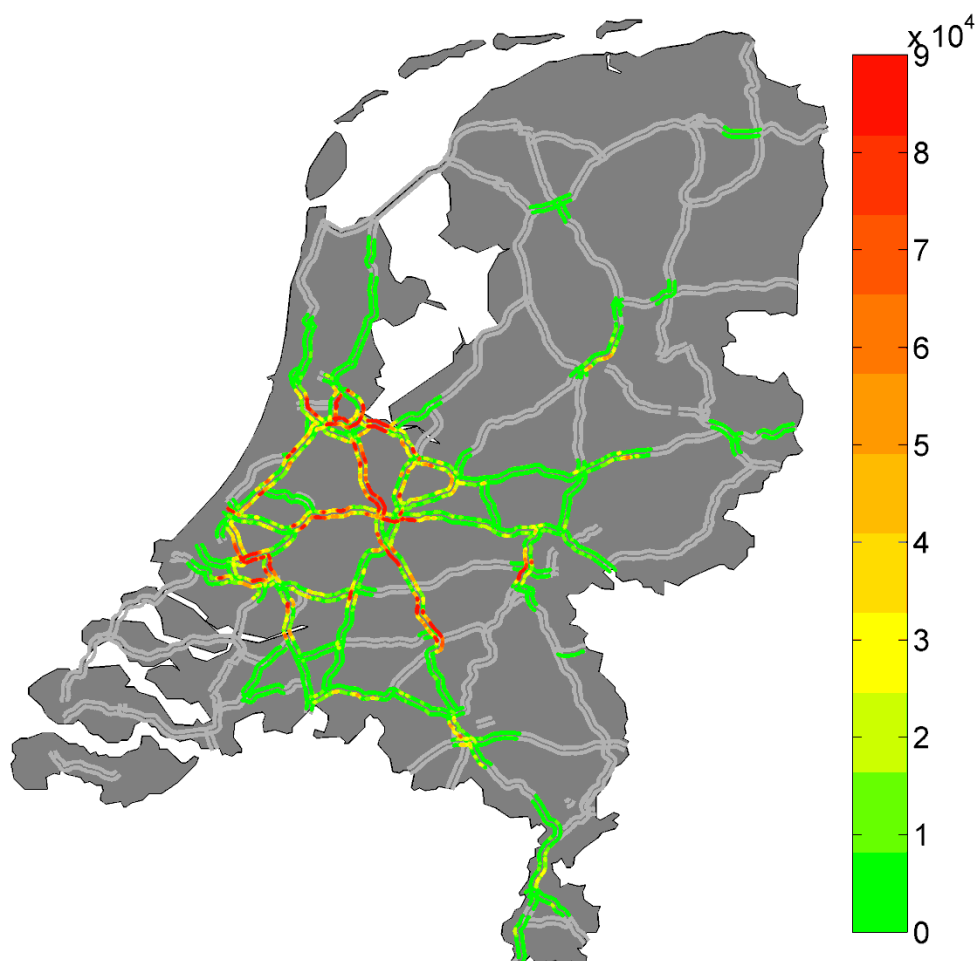


BIJLAGE B: Incidentlocaties

In de onderstaande figuren zijn de locaties weergegeven waar volgens de studie “de Robuustheid van het Nederlands hoofdwegennet” incidenten voorkomen in de periode 2007-2009.



Figuur B1: Aantal incidenten per kilometer in de periode 2007-2009 (op jaarbasis)
Bron: Snelder, Robuustheid van het Nederlandse hoofdwegennet



Figuur B2: Extra reistijdverlies als gevolg van incidenten (uren) toegewezen aan de incidentlocatie, 2007 - 2009 (primair + secundair) (alle incidenten)

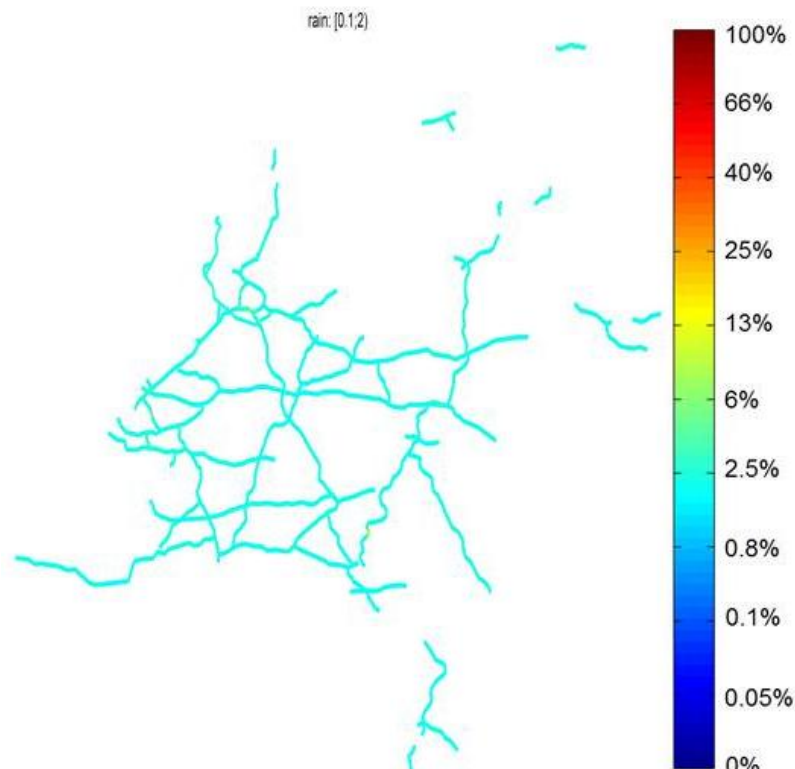
Bron: Snelder e.a. de Robuustheid van het Nederlands hoofdwegennet

BIJLAGE C: kans op neerslag per neerslagintensiteitscategorie

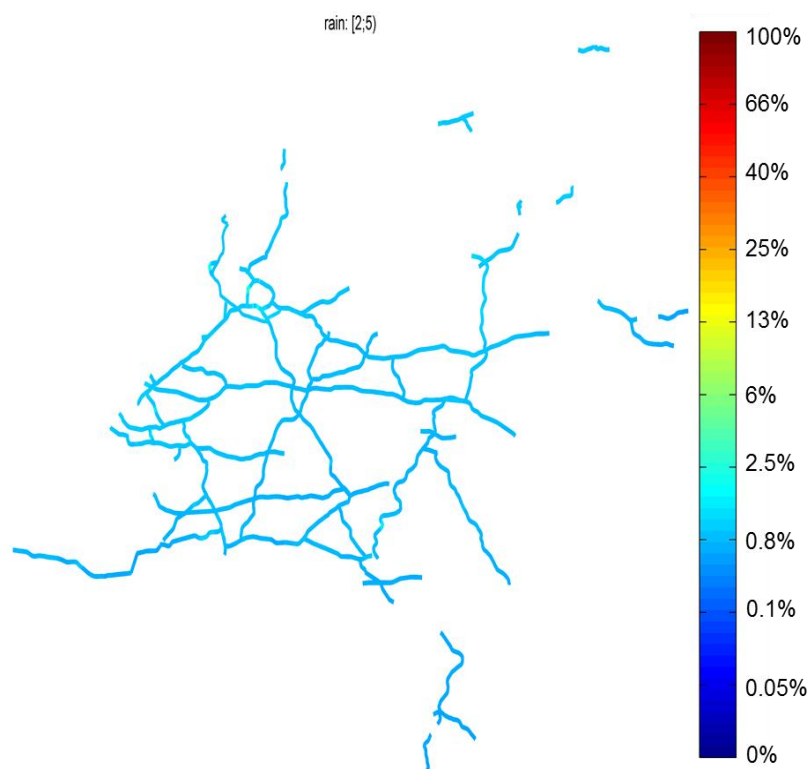
In de onderstaande figuren is voor het wegennet aangegeven hoe groot de kans op neerslag uit een bepaalde neerslagcategorie is, gegeven het feit dat er neerslag is. De percentages in de onderstaande figuren moeten dus worden gelezen als: 'als er neerslag is, is de kans dat de weergegeven intensiteit wordt geobserveerd X%'. Deze gegevens zijn bepaald over de periode 2007-2008 en de kans op regen wordt voor alle wegen gelijk veronderstelt (ongeveer 4%).

De interpretatie van onderstaande figuur is dus als volgt: Als er neerslag is, is de kans dat er tussen 1 en 2 mm neerslag valt ongeveer 2,5%.

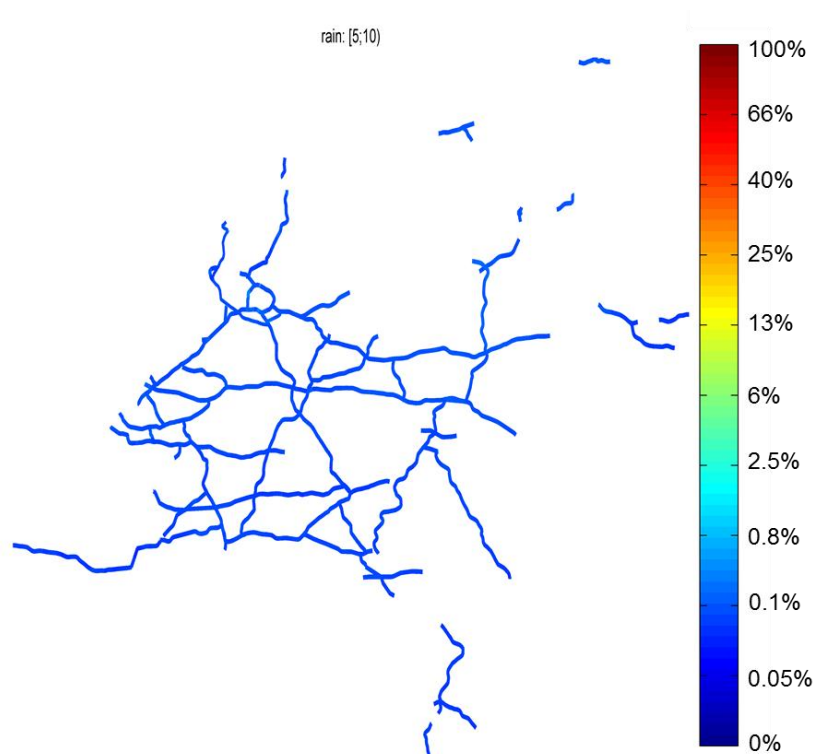
Intensiteitscategorie 1-2 mm



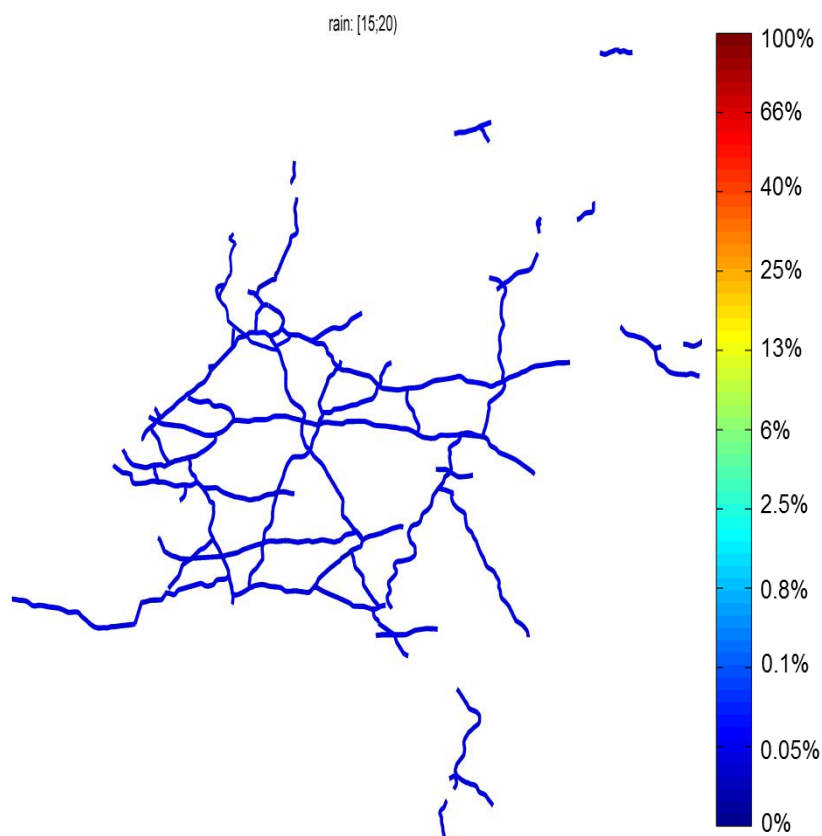
Intensiteitscategorie 2-5 mm



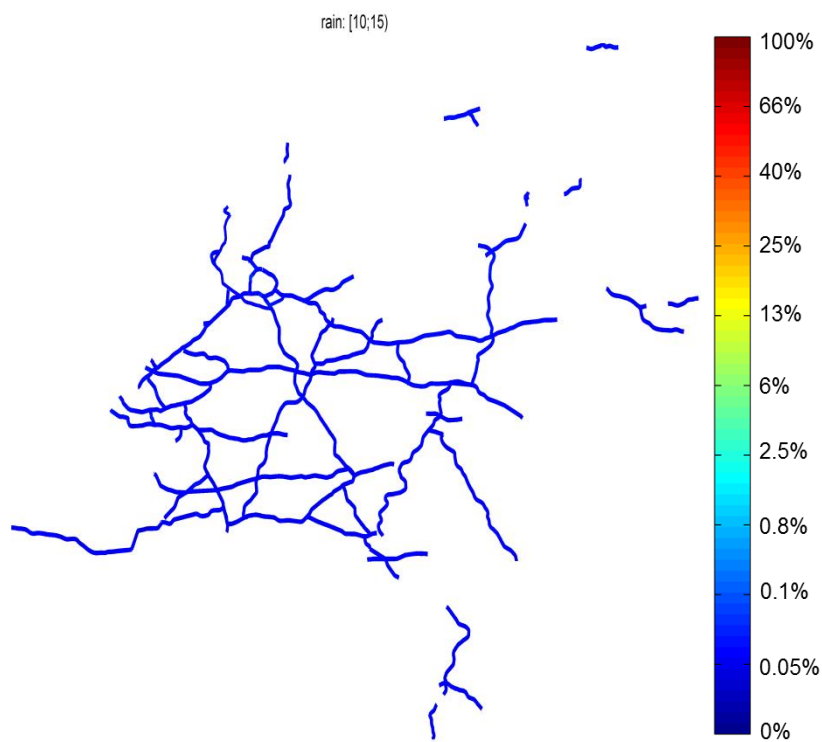
Intensiteitscategorie 5-10 mm



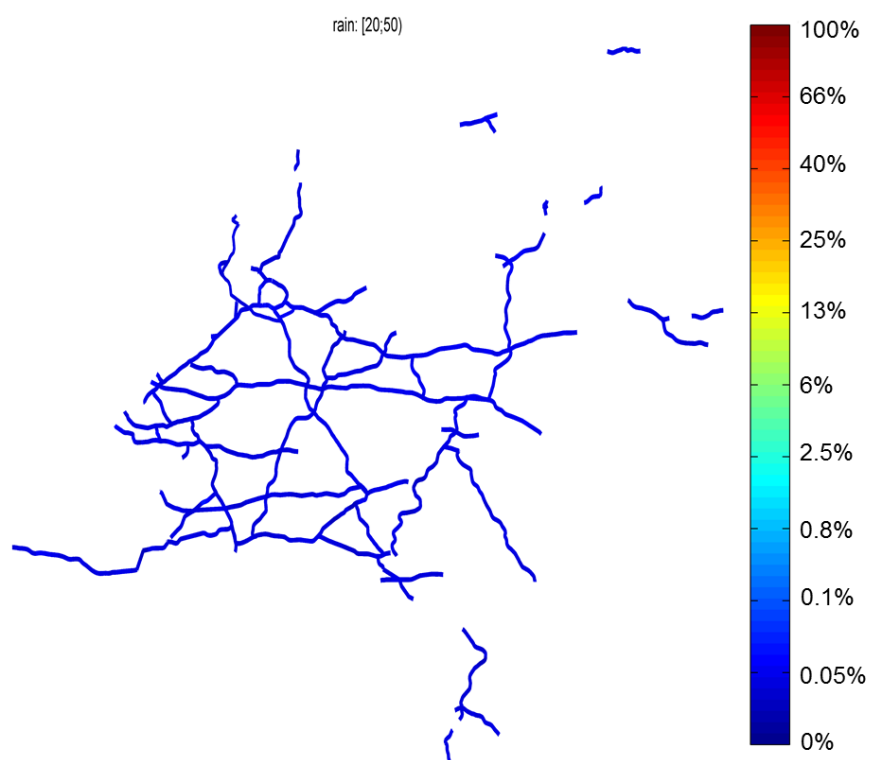
Intensiteitscategorie 10-15 mm



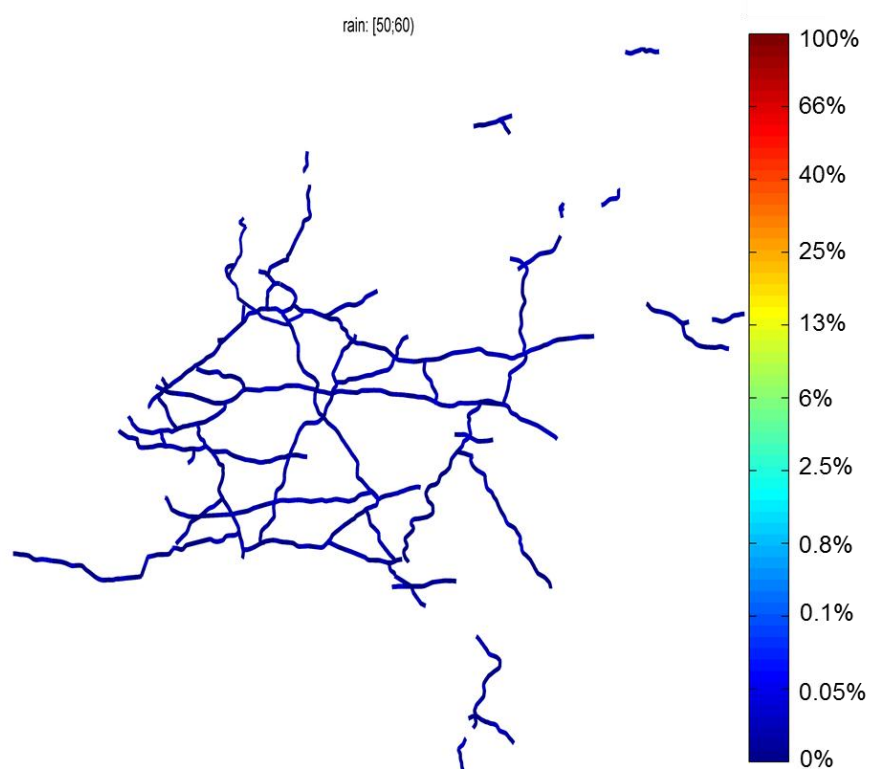
Intensiteitscategorie 15-20 mm



Intensiteitscategorie 20-50 mm



Intensiteitscategorie 50-60 mm



Intensiteitscategorie 0-1 mm (beschouwen we als droog)

