

## **Een oplossing voor onbetrouwbare en onvolledige lusdata op het hoofdwegennet**

Marcel Schoemakers, Bureau Onderweg, [m.schoemakers@bureauonderweg.nl](mailto:m.schoemakers@bureauonderweg.nl)

Bert van Engelenburg, Bureau Onderweg, [g.v.engelenburg@bureauonderweg.nl](mailto:g.v.engelenburg@bureauonderweg.nl)

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2004,

25 en 26 november 2004, Zeist

## **Inhoudsopgave**

Samenvatting - Summary

1. Inleiding	4
2. Achtergrond	5
3. Methode	9
4. Illustratie	13
5. Discussie	16

## **Samenvatting**

Een oplossing voor onbetrouwbare en ontbrekende lusdata op het hoofdwegenet

Op grote delen van het Nederlandse hoofdwegenet wordt de verkeersintensiteit continu gemeten. De betrouwbaarheid van deze gegevens is echter een punt van discussie. Een methode wordt voorgesteld om met eventuele onbetrouwbaarheid om te gaan. De methode gaat uit van de interne consistentie. Er worden restricties aangebracht op de data om de consistentie binnen en tussen verschillende wegvakken te garanderen. Schattingen van de werkelijke intensiteiten worden verkregen door lineaire regressie analyses met enkele aanpassingen. Het doel is tweeledig. Ten eerste worden de bronnen van onbetrouwbaarheid opgespoord, waarna ze nader beschouwd kunnen worden. Ten tweede worden de gegevens gecorrigeerd voor onbetrouwbaarheid om een volledige en consistente dataset te verkrijgen. In enkele praktische toepassingen heeft de methode haar bruikbaarheid bewezen.

## **Summary**

A solution for unreliable and incomplete intensity data of the Dutch main road network

On large parts of the Dutch main road network traffic intensity is continuously measured. However, the reliability of the data is a point of discussion. A method is proposed to handle the unreliability, if any. The method relies on internal consistency. Restrictions are posed on the data to assure consistency within and between different parts of the road. Estimates of real intensities are obtained by linear regression analyses with some modifications. The goal is twofold. First, the sources of unreliability are traced, after which they can be submitted to further inspection. Second, data are corrected for unreliability to obtain a complete and consistent data set. Some practical applications have shown the usefulness of the method.

## 1. Inleiding

Op het hoofdwegennet in Nederland ligt een uitgebreid netwerk van detectielussen. Met deze lussen worden gegevens verzameld over het aantal voertuigen dat passeert en over de snelheid van de voertuigen. Deze gegevens worden, gewoonlijk in geaggregeerde vorm, opgeslagen en bewaard. Hoewel op sommige delen van het hoofdwegennet (nog) geen detectielussen liggen, kan worden gesteld dat er in kwantitatief opzicht een enorme schat aan gegevens over de verkeersafwikkeling op het hoofdwegennet beschikbaar is.

Over de kwaliteit van de lusgegevens bestaat echter verschil van mening. In het algemeen is er wel overeenstemming over het feit dat er tekortkomingen zijn. Daarentegen verschillen de meningen over de mate waarin dit het geval is en, ten gevolge daarvan, over de waarde van de dataset als geheel.

De detectielussen dienen van oorsprong verschillende doelen. Het belangrijkste onderscheid is signalering en monitoring. De specifieke kenmerken van de detectielussen zijn ooit bepaald op basis van het oorspronkelijke doel. Tegenwoordig zien we een toename in het aantal toepassingen en lusgegevens worden steeds vaker ook gebruikt worden voor doelen waarvoor de lussen oorspronkelijk niet zijn aangelegd. De consequentie is wel dat de specifieke kenmerken van de detectielussen niet voor elk doel altijd optimaal zijn.

Huidige en toekomstige toepassingen stellen natuurlijk eisen aan de kwaliteit van de lusdata. Belangrijke toepassingsgebieden zijn onderzoek en dynamisch verkeersmanagement (DVM). Toepassingen op het gebied van DVM worden steeds belangrijker voor de doorstroming en maatregelen kunnen tamelijk ingrijpend zijn. Omdat deze maatregelen worden aangestuurd door lusdata is het wel van belang dat we volledig vertrouwen kunnen hebben in de data, of dat we in elk geval weten welke gegevens we wel kunnen vertrouwen en welke niet. Hetzelfde geldt ook voor diverse onderzoekstoepassingen.

De betrouwbaarheid van de lusdata is een punt van discussie. Wij voorzien dat men zich in de toekomst niet graag baseert op de ruwe data zoals die nu beschikbaar zijn, maar dat daar kwaliteitseisen aan gesteld worden. Een van de mogelijkheden om met eventuele

onbetrouwbaarheid om te gaan, is het doorvoeren van een correctieslag waarbij de onbetrouwbare gegevens gecorrigeerd worden. Daarvoor is een methode wenselijk waarmee systematisch foutenbronnen geïdentificeerd kunnen worden en waarmee automatisch correcties kunnen worden doorgevoerd.

Wij willen een dergelijke methode presenteren. De methode is gebaseerd op de interne consistentie van de intensiteitgegevens. De methode is in staat om lussen te identificeren die structurele of incidentele afwijkingen vertonen. Bovendien is de methode in staat om de werkelijke intensiteiten te schatten op basis van de gemeten intensiteiten. Met deze methode is het mogelijk om een nieuwe dataset te creëren die, in tegenstelling tot de oorspronkelijke dataset consistent en compleet is. Enerzijds bevat de nieuwe dataset dus geen tegenstrijdige gegevens meer, anderzijds kunnen in voorkomende gevallen ontbrekende delen worden aangevuld.

In paragraaf 2 wordt de achtergrond geschetst. De toepassingen van lusdata komen aan de orde en de gevolgen daarvoor bij slechte kwaliteit. In paragraaf 3 wordt de uitgewerkte methode beschreven. Paragraaf 4 geeft een illustratie van een toepassing in de praktijk. Een nadere beschouwing en een vooruitblik worden gepresenteerd in paragraaf 5.

## **2.     Achtergrond**

### *Meetnetten*

Een groot deel van het hoofdwegennet in Nederland is voorzien van detectielussen. De lussen behoren van oudsher tot verschillende meetnetten, die elk voor hun eigen doeleinden zijn aangelegd. Verkeerssignaleringslussen dienden en dienen nog steeds om de matrixborden boven de weg aan te sturen. Lussen in het Monitoringmeetnet en het BG-meetnet zijn aangelegd om verkeersinformatie voor onderzoekdoeleinden te verzamelen. Elk van de meetsystemen heeft zo zijn eigen kenmerken. In de loop der jaren is er echter steeds meer overlap ontstaan in het gebruik van de gegevens. Ook zijn er steeds meer toepassingsmogelijkheden voor de lusgegevens bijgekomen. Signaleringsgegevens worden

tegenwoordig ook veelvuldig gebruikt voor onderzoeksdoeleinden, terwijl monitoringsgegevens meer en meer worden gebruikt om maatregelen aan te sturen.

### *Toepassingsgebieden*

Een belangrijke toepassing van lusdata ligt in de aansturing van DVM-maatregelen. Er zijn allerlei systemen op onze overvolle snelwegen geplaatst om de beschikbare capaciteit zo goed mogelijk te benutten en de doorstroming te optimaliseren. Sommige maatregelen werken normaliter op basis van real-time lusdata. Voorbeelden hiervan zijn toerit-doseerinstallaties (TDI), Dynamische Route-InformatiePanelen (DRIP), Dynamisch Inhaalverbod VrachtVerkeer (DIVV). Afhankelijk van de gemeten situatie op de weg worden de maatregelen dusdanig ingezet dat ze voor die situatie zo effectief mogelijk zijn.

Ook voor onderzoeksdoeleinden wordt dankbaar gebruikgemaakt van lusdata. Veel voorkomende typen onderzoek zijn monitoring- en evaluatieonderzoeken. Bij monitoring willen we ontwikkelingen in beeld brengen. Een voorbeeld hiervan is de jaarlijkse filetop-50. We kunnen daarmee jaarlijks de ontwikkelingen volgen van de congestie op het hoofdwegennet. Evaluatiestudies worden uitgevoerd om te onderzoeken wat het effect is geweest van beleid of maatregelen. Lusgegevens worden daarin bijvoorbeeld gebruikt om het verschil in de doorstroming, snelheden en filevorming te bepalen tussen de situatie voordat een maatregel is geïmplementeerd en de situatie erna.

Een derde toepassing van lusdata is bij de ontwikkeling van verkeersmodellen. Om verkeersmodellen te calibreren en te valideren wordt veelvuldig gebruik gemaakt van lusdata. De modelparameters worden daarbij zodanig ingesteld dat de modeluitkomsten zoveel mogelijk overeenkomen met de meetgegevens. Dit geldt voor het complete scala aan modellen, van macroscopisch statisch tot microscopisch dynamisch.

Aan de hand van bovenstaande greep uit toepassingsmogelijkheden moge het duidelijk zijn dat lusgegevens een zeer belangrijke rol spelen in de wereld van verkeer en vervoer. Aandacht voor de kwaliteit van deze gegevens is dus zeker op zijn plaats.

### *Kwaliteit van lusdata*

Hoewel lusdata veelvuldig worden toegepast is de kwaliteit ervan voortdurend een punt van discussie, en voor sommigen een punt van zorg. Een gebrekkige kwaliteit van lusdata is gewoonlijk te herleiden naar òf de locatie van de detectielus òf het technisch functioneren ervan. Een deel van de lussen ligt in verbindingbogen of vlakbij toe- en afritten. Doordat sommige voertuigen daar niet midden op de rijstrook rijden, worden ze niet gedetecteerd. Andere lussen zijn aangelegd op een locatie op de snelweg direct naast parkeerterreinen en tankstations. Deze locatie is misschien wel het meest geschikt om de signaleringsborden aan te sturen, maar je kunt op deze locaties verwachten dat er gedurende bepaalde perioden van de dag misschien wel eens te weinig verkeer geteld wordt. Ook komt het voor dat de ligging van lussen op tekeningen niet in overeenstemming is met de werkelijke ligging, bijvoorbeeld net vóór in plaats van na een splitsingspunt. Dit alles kan leiden tot moeilijk te interpreteren gegevens.

Ook het technisch functioneren van lussen kan te wensen overlaten. Lussen kunnen te diep liggen waardoor ze verkeer niet goed detecteren. Ook kunnen ze te hoog liggen, waardoor ze beschadigd raken en niet meer goed tellen. Een toenemend gebruik van kunststof in voertuigen leidt misschien ook tot het moeilijker waarnemen van voertuigpassages. Bij slecht weer en plassen op de weg wordt de detectie eveneens slechter. Verder komt het soms voor dat aansluitingen in onderstations verwisseld zijn, waardoor de gegevens verkeerd in de databestanden terechtkomen. Ten slotte zijn onderstations een gewilde huisvestingsplek voor mieren. Het effect daarvan is vooralsnog onbekend.

Hoewel bovengenoemde fysieke en technische onvolkomenheden allemaal wel eens voorkomen, is grotendeels onbekend wat het effect ervan op de kwaliteit van de data is. De meningen hierover lopen sterk uiteen. We kunnen wel waarnemen wanneer een lus wel en niet heeft gewerkt. Het (tijdelijk) niet-functioneren van lussen leidt tot incompleteit van de data of een melding via een statusindicator in de uitvoer. Maar als een lus het wel doet, weten we niet hoe betrouwbaar de geleverde informatie is. In veel gevallen zal er weinig mis mee zijn. Maar in een enkel geval kan er wel eens iets behoorlijk mis zijn. Dat de gegevens niet altijd even betrouwbaar zijn, valt af te leiden uit de inconsistenties in de data. Hiermee wordt bedoeld dat de meetgegevens van lussen niet altijd onderling in overeenstemming zijn. Lussen

die bijvoorbeeld op een en hetzelfde wegvak zonder tussenliggende aansluiting liggen, zouden ongeveer dezelfde hoeveelheid verkeer moeten meten. Dit blijkt lang niet altijd het geval. Incompleteheid en inconsistenties leiden tot problemen bij het gebruiken van de gegevens.

#### *Gevolgen van slechte data*

Voor het uitvoeren van operationeel DVM zijn slecht functionerende lussen erg vervelend. Slechte lusgegevens leiden tot slecht functionerende maatregelen, hoe goed daar van tevoren ook over is nagedacht. Incompleteheid van de data wordt vaak wel ondervangen door een slimigheid in het algoritme, bijvoorbeeld door afvlakking of door gebruik te maken van een reservelus. Lussen die het wel doen, maar die structureel slecht meten zullen we echter niet opmerken. Vervelend, als we juist deze lussen geselecteerd hebben om de maatregel op te baseren. De maatregel zal zo niet optimaal werken.

Ook voor onderzoeksdoeleinden zijn incomplete en inconsistente lusdata zeer storend. Voor incompleteheid kan vaak nog wel redelijk eenvoudig worden gecorrigeerd. Inconsistenties in de data worden minder snel gesignaleerd. Bovendien, als er sprake is van inconsistenties, moet je nog op een of andere manier uitzoeken welke lus je wel kunt vertrouwen en welke niet. Dit uitzoekwerk is zeer tijdrovend en wordt in praktische situaties vaak achterwege gelaten. Wat men zich misschien niet altijd realiseert is dat de aanwezige inconsistenties in de data kunnen leiden tot sterk vertekende resultaten. Effecten en ontwikkelingen die we menen te zien, kunnen schijn zijn en eenvoudigweg worden veroorzaakt door gebrekkige data.

#### *Concluderend*

Door allerlei oorzaken kunnen we te maken hebben met inconsistente en incomplete lusdata. De mate van incompleteheid weten we vaak wel. De mate van inconsistentie weten we vaak niet. We weten niet goed welke lussen goed zijn en welke niet. Zowel voor operationeel DVM als voor onderzoeksdoeleinden en verkeersmodellen is dat buitengewoon onwenselijk. Om onze maatregelen aan te sturen en om de juiste onderzoeksresultaten te kunnen bepalen, willen we graag lusgegevens met een goede kwaliteit.



### 3. Methode

In deze paragraaf presenteren we een methode waarmee het mogelijk is om onbetrouwbare lusgegevens op systematische wijze te identificeren en te corrigeren. Alvorens we ingaan op de methode en de validiteit ervan, worden hieronder eerst de gehanteerde uitgangspunten belicht.

#### *Uitgangspunten*

Bij twee meetlussen die vlak na elkaar liggen, en zodanig dat er geen aansluiting tussen ligt, zullen de *werkelijke* verkeersintensiteiten ongeveer gelijk zijn. Immers, er is geen verkeer bijgekomen of afgegaan. In een bepaalde tijdsperiode zullen op beide locaties dus ongeveer evenveel voertuigen gepasseerd zijn. Bewust wordt gesproken van “ongeveer”, omdat het kan voorkomen dat voor sommige voertuigen de passage van één van beide lussen net buiten de vastgestelde tijdsperiode ligt.

Tussen de *gemeten* verkeersintensiteiten van twee opeenvolgende lussen zonder tussenliggende aansluiting kunnen ook om andere redenen discrepanties bestaan. Het kan zijn dat een lus niet alle verkeer telt, omdat niet alle verkeer (goed) over de lus rijdt. Bijvoorbeeld bij in- en uitvoegers kan een aanzienlijk deel van het verkeer gemist worden, omdat het ter hoogte van de lus niet midden op een rijstrook rijdt. Aangenomen mag worden dat elke lus om deze reden wel eens een voertuig mist. Gewoonlijk is dit aantal beperkt, maar op sommige locaties kan dit aantal aanzienlijk zijn.

Het kan ook zijn dat de tijdsperiode ongeschikt is. In een korte tijdsperiode spelen toevalligheden een rol, zoals clusters van voertuigen en leemtes in de verkeersstroom. Bij langere tijdsperiodes worden dergelijke toevalligheden uitgemiddeld en zal er eerder sprake zijn van gelijke verkeersintensiteiten. Bij een goede doorstroming zullen twee opeenvolgende lussen in een tijdsperiode van een kwartier gewoonlijk door ongeveer evenveel voertuigen gepasseerd worden. Een stagnerende doorstroming kan, met name als de doorstroming bij de ene lus stagneert en bij de andere niet, leiden tot discrepanties in de lusdata. Op een hoger aggregatieniveau, wanneer men bijvoorbeeld tijdsperiodes van een uur of van meerdere uren bekijkt, zullen deze discrepanties vrijwel verdwijnen.

Het is ook mogelijk dat een lus niet goed functioneert, als gevolg van een technisch defect. Als het gevolg is dat de lus in het geheel geen data levert, dan is de situatie duidelijk. Als het gevolg is dat de lus substantieel minder (of misschien in zeldzame gevallen: meer) voertuigen signaleert, dan valt dit misfunctioneren niet zo snel op. Door de intensiteiten van verschillende lussen onderling te vergelijken, kan men lussen opsporen die niet goed functioneren.

De genoemde uitgangspunten leiden naar twee soorten van toepassing van de methode. In de eerste plaats kan men in de meeste gevallen bij grotere inconsistenties slecht functionerende lussen herleiden. Het is dus mogelijk om op basis van dergelijke resultaten lussen aan te wijzen die een mankement vertonen. In de tweede plaats kan men, als men weet welke lussen niet goed functioneren, de data hiervoor corrigeren. Het is dus mogelijk een dataset te creëren waaruit de onvolkomenheden zijn verwijderd en waarin de data onderling consistent zijn.

#### *Uitwerking*

De methode die in dit paper wordt voorgesteld, door ons genoemd de *methode van de interne consistentie van intensiteiten*, staat of valt met de assumptie dat de werkelijke (i.t.t. de gemeten) intensiteiten intern consistent zijn. In werkelijkheid is dit nooit exact het geval. Dat hoeft geen probleem te zijn, want de methode is relatief robuust. Geëist wordt wel dat de assumptie bij benadering juist is. Door een adequate tijdsperiode te kiezen, kan men hiervoor zorgdragen.

Een belangrijk aspect bij deze methode is de schattingsmethode. Benodigd is een schattingsmethode die waarden kan bepalen voor de modelintensiteiten, waarvoor enerzijds geldt dat ze zoveel mogelijk overeenkomen met de gemeten lusintensiteiten en waarvoor anderzijds geldt dat ze onderling consistent zijn. Wij hebben gebruik gemaakt van een aangepaste vorm van een lineair regressiemodel. Hierbij worden de gemeten intensiteiten beschouwd als indicatoren van de (onbekende) werkelijke intensiteiten. De werkelijke intensiteiten worden geschat op basis van de gemeten intensiteiten. De residuen, dit zijn de verschillen tussen de gemeten intensiteiten en de geschatte modelintensiteiten, geven informatie over de kwaliteit van de data van een bepaalde detectielus.

Er zijn enkele aanpassingen aangebracht aan het lineaire regressiemodel. Deze aanpassingen betreffen de wijze waarop met de residuen wordt omgegaan. Af en toe kunnen er erg grote negatieve residuen ontstaan, doordat een lus niet goed functioneert. Daarentegen komen grote positieve residuen eigenlijk niet voor. Het is ongewenst dat de modelintensiteiten te veel worden beïnvloed door niet goed functionerende lussen. Om dit te voorkomen zijn er enkele aanpassingen aan het lineaire regressiemodel aangebracht. Het voert te ver om hierop in detail in te gaan.

De schattingsprocedure vereist dat er restricties worden aangebracht, om inconsistenties te voorkomen. In feite worden inconsistenties voorkomen, doordat de vereiste consistentie wordt vertaald in restricties. Alvorens restricties te belichten willen we twee begrippen introduceren: knoop en wegvak. Onder knoop verstaan we het punt waar twee (of eventueel meer) rijbanen uit elkaar gaan of samenkomen. Op het hoofdwegennet gaat het om invoegers, uitvoegers en weefvakken. Onder wegvak verstaan we een weggedeelte dat wordt begrensd door twee knopen (of door een knoop en de rand van het onderzoeksgebied), maar dat zelf geen knopen bevat.

We onderscheiden drie categorieën van restricties. De eerste categorie omvat restricties *binnen* wegvakken. Omdat er geen knopen binnen één wegvak zijn moeten de modelintensiteiten van alle lussen op hetzelfde wegvak aan elkaar gelijk zijn. De gemeten intensiteiten zijn om allerlei redenen niet exact aan elkaar gelijk, maar voor de theoretische modelintensiteiten geldt dit wel. De schattingsmethode is zodanig dat aan deze restrictie voldaan wordt.

De tweede categorie omvat restricties *tussen* wegvakken. Deze restricties hebben te maken met de knopen: het theoretisch aantal voertuigen stroomopwaarts van een knoop moet gelijk zijn aan het theoretisch aantal voertuigen stroomafwaarts ervan. Alle restricties die op een bepaald netwerk mogelijk zijn, moeten worden aangebracht om inconsistenties in de modelschattingen te voorkomen. Ook aan deze restricties voldoet de schattingsmethode.

De derde categorie van restricties is minder algemeen. Deze restricties hebben te maken met het feit dat er op sommige netwerken routes mogelijk zijn, die zeer onwaarschijnlijk zijn en in de praktijk niet of nauwelijks voorkomen. Zo zou men kunnen aannemen dat er op een gewoon klaverblad geen verkeer is dat een omkerende beweging maakt door twee maal direct achter elkaar een binnenste verbindingsboog te nemen. Met name als er weinig lussen op verbindingsbogen liggen, is deze restrictie zeer waardevol. De schattingsmethode kan ook aan deze restricties voldoen.

De input van de methode zijn de gemeten lusintensiteiten. In principe kunnen de data van allerlei typen van lussen worden gebruikt, mits er rijbaanintensiteiten op het gewenste aggregatieniveau (bijvoorbeeld kwartierniveau) kunnen worden verkregen.

De output bevat onder meer de modelintensiteiten en de residuen per lus. Afhankelijk van het type onderzoek is het één dan wel het ander het meest relevant. Bij een evaluatie- of monitoringonderzoek wenst men zo goed mogelijk geschatte intensiteiten, maar bij een onderzoek naar de betrouwbaarheid van de lussen wenst men te weten welke lussen grote residuen hebben.

### *Validiteit*

De validiteit van de methode is nog niet systematisch onderzocht. Wel weten we dat de resultaten in veel gevallen convergeren met informatie uit andere bronnen. Dergelijke resultaten wekken veel vertrouwen in de gehanteerde methode. De tot dusverre verkregen resultaten zijn steeds goed interpreteerbaar gebleken. Een aantal voorbeelden van resultaten die erop duiden dat de methode voldoet zijn het vermelden waard.

Bij in- en uitvoegers komen vaak meer weefbewegingen voor dan elders. De detectielussen bij in- en uitvoegers missen vanwege de weefbewegingen verhoudingsgewijs veel verkeer. Bij de toepassing van de methode van de interne consistentie worden deze luslocaties regelmatig teruggevonden. We zien dan bij deze lussen dat de gemeten intensiteiten lager zijn dan de modelintensiteiten. In dit geval is er niet zozeer sprake van een (technisch) disfunctioneren van de meetlus, maar van de consequentie van een bepaalde locatie.

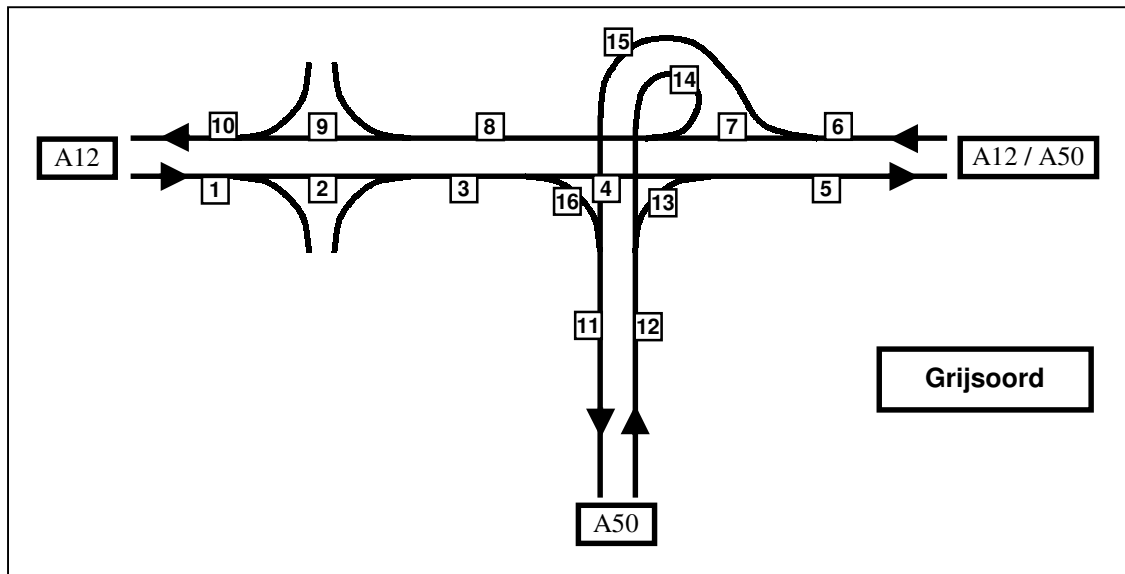
Vergelijkbaar met het voorgaande zijn lussen die naast een parkeerplaats of tankstation liggen. De ligging is zodanig dat het verkeer dat de parkeerplaats of het tankstation aandoet, niet wordt geregistreerd. Aan de resultaten kunnen wij zien dat deze lussen in de ochtendspits tamelijk goede gegevens opleveren, maar dat ze in de dalperiode relatief veel verkeer missen: blijkbaar het verkeer dat gebruik maakt van de parkeerplaats of het tankstation. Misschien kan op deze manier zelfs het verkeer dat gebruik maakt van parkeerplaatsen en tankstations in beeld gebracht worden.

Bij sommige lussen is echt iets mis. Wij hebben enkele voorbeelden van lussen waarbij wij erg grote afwijkingen hebben geconstateerd. Bij een fysieke inspectie zijn bij deze lussen daadwerkelijk gebreken geconstateerd.

#### **4. Illustratie**

In opdracht van de Directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat loopt er op dit moment een onderzoek naar de betrouwbaarheid van de meetlussen in de omgeving Arnhem. Ter illustratie van het voorgaande kunnen enkele gegevens uit deze studie dienen.

In Figuur 1 is het hoofdwegenet in de omgeving van knooppunt Grijsoord afgebeeld, deelgebied Grijsoord uit de genoemde studie. Het gaat om een deel van de A12, ten westen van knooppunt Grijsoord, om een deel van de A12/A50, ten oosten van knooppunt Grijsoord, om een deel van de A50 ten zuiden van knooppunt Grijsoord en om het knooppunt Grijsoord zelf met de verbindingbogen. In de figuur zijn de afzonderlijke wegvakken genummerd. Er zijn op het afgebeelde netwerk 16 wegvakken onderscheiden. Op wegvak 16 liggen geen lussen, op de overige wegvakken wel. Deelgebied Grijsoord heeft in totaal 62 detectielussen.



Figuur 1. Schematische weergave van deelgebied Grijsord

Omdat er de nodige splitsingspunten zijn, kunnen er restricties *tussen* wegvakken worden aangebracht. Tabel 1 geeft de zogenaamde designmatrix weer. Uit deze matrix kan worden afgelezen welke restricties zijn opgelegd tussen de wegvakken. De intensiteiten op de 16 wegvakken (in de rijen) worden gedefinieerd in termen van 10 modelintensiteiten  $I_1$  tot en met  $I_{10}$ . Uit de tabel kan men bijvoorbeeld aflezen dat de intensiteit op wegvak nr. 1 wordt gerepresenteerd door  $I_1$  en de intensiteit op wegvak nr. 15 door  $I_6 - I_7$ . De indices van de modelparameters  $I$  zijn zodanig gekozen dat ze in overeenstemming zijn met de nummers van de wegvakken.

wegvak	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$	$h_8$	$h_9$	$h_{10}$
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	1	-1	0	1	-1	0	0	0
12	0	0	0	-1	1	0	-1	1	0	0
13	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
15	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
16	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0

Tabel 1. Designmatrix voor deelgebied Grijsord

Uit de output van de modelschattingen komen de geschatte waarden  $I_1$  tot en met  $I_{10}$ . Voor de overige wegvakken kunnen ze eenvoudig worden berekend met behulp van de designmatrix. Ook de intensiteit op wegvak 16, waarop geen lussen liggen kan worden berekend, namelijk als  $I_3 - I_4$ . Dit laatste illustreert een kenmerk van een dergelijke methode: ook voor wegvakken zonder lussen zijn soms goede schattingen te verkrijgen.

Soms hebben de restricties geen effect op een bepaalde lus. De wegvakken 2 en 9, bij de afrit Oosterbeek, tellen beide slechts één detectielus. Omdat er maar één lus is, zijn er voor deze wegvakken geen restricties binnen het wegvak mogelijk. Bovendien liggen op de af- en toeritten geen detectielussen. Daardoor zijn er ook geen restricties tussen de genoemde wegvakken en andere wegvakken mogelijk. Met andere woorden, de intensiteit bij deze lussen hoeft niet consistent te zijn met de intensiteit bij andere lussen. Consequentie is dat de gehanteerde methode geen uitspraken kan doen over de kwaliteit van de intensiteitgegevens van beide bedoelde lussen. Dit illustreert een ander kenmerk van de methode: er zijn soms lussen waarvoor de eisen van interne consistentie geen opgeld doen. De betrouwbaarheid van deze lussen kan niet worden vastgesteld. In het deelgebied Grijsoord was dit het geval voor twee van de 62 werkende detectielussen.

Voor deelgebied Grijsoord zijn voorlopige resultaten beschikbaar die betrekking hebben op mei 2004. In de ochtendspits blijken twee lussen (op de wegvakken 10 en 11) te weinig verkeer te tellen, de ene lus mist ongeveer 7%, de andere ongeveer 13% van het verkeer. Bij een inspectie van de locatie van beide lussen blijkt dat beide bij een in- of uitvoeger liggen. Eén andere lus in het gebied (op wegvak 6) mist in de ochtendspits maar liefst 20% van het verkeer. Uit andere analyses blijkt dat deze lus ook een (veel) te hoge gemiddelde snelheid geeft. Het is waarschijnlijk dat er iets mis is met het luspaar op de rechterrijstrook, waardoor veel vrachtverkeer niet wordt geregistreerd. Met deze informatie kan gericht worden gezocht naar het technische mankement.

Het netwerk rond Grijsoord, dat hier ter illustratie is aangevoerd, is relatief klein en eenvoudig. De methode kan echter ook uitstekend worden toegepast op grotere en ingewikkelder netwerken. Het correct aanbrenge van alle restricties wordt dan wat minder

overzichtelijk. Ten behoeve van de overzichtelijkheid kan het de voorkeur verdienen een groot netwerk op te delen in een aantal deelnetwerken, zoals dat is gedaan bij het onderzoek van de Directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat.

## 5. Discussie

In dit paper hebben we een methode gepresenteerd waarmee het mogelijk is om de kwaliteit van intensiteitgegevens op een systematische wijze te onderzoeken. De methode is door ons ontwikkeld en in eerste instantie getest in kleine specifieke toepassingen. Vervolgens hebben we het in de praktijk toegepast op het wegennet rond Arnhem. Op basis van meetgegevens van een gehele maand hebben we onderzocht welke lussen daar wel en niet goed werken. De ervaringen tijdens deze exercities hebben ertoe geleid dat de methodiek op onderdelen is verfijnd en verder uitgewerkt. De resultaten van zowel de tests als de praktijktoepassing wekken veel vertrouwen in de gehanteerde aanpak. De resultaten zijn goed interpreteerbaar en sluiten aan bij wat je logischerwijs zou verwachten. Verder blijkt de methode zeer robuust te zijn.

De geschetste methodiek blijkt zeer bruikbaar en waardevol om de (on)betrouwbaarheid van lusgegevens te bepalen en om te corrigeren voor slechte en ontbrekende metingen. Een paar specifieke eigenschappen van de methodiek die dit ondersteunen:

- Met de methode is het mogelijk om zowel structurele afwijkingen van lussen als ook incidentele afwijkingen te signaleren. Voor een verantwoord gebruik van lusdata in onderzoek en bij de aansturing van DVM-maatregelen zijn beide van belang.
- De methode werkt met de lusdata die standaard verzameld worden. Als het model eenmaal geformuleerd is zijn er geen aanvullende gegevens of andere extra werkzaamheden nodig. Dit maakt het tot een goedkoop instrument.
- Lusdata van verschillende meetsystemen kunnen tegelijk worden meegenomen in de schatting. Van alle soorten detectielussen (en ook van eventuele andere systemen die worden gebruikt om de intensiteit te meten) op het wegennet kan de methode de betrouwbaarheid vaststellen. Desgewenst kunnen we dus ook de kwaliteit van verschillende meetsystemen onderling vergelijken.



- Het is in sommige gevallen mogelijk om betrouwbare intensiteiten te schatten op wegen waar geen detectielussen liggen.
- De benodigde rekentijd is zeer gering.

Naar de toekomst toe zien we mogelijkheden voor nieuwe toepassingen van de methodiek. Tot nu toe zijn er met de methode berekeningen uitgevoerd op historische data. Gezien de beperkte rekentijd die nodig is voor het uitvoeren van de berekeningen lijkt het echter ook mogelijk om de methode in te zetten in real-time toepassingen. Doordat we dan direct onbetrouwbare metingen kunnen herkennen en daarvoor kunnen corrigeren, hebben niet goed functionerende lussen geen nadelige invloed meer op de werking van DVM-maatregelen.

Naast nieuwe toepassingsmogelijkheden zien we ook mogelijkheden voor verdere inhoudelijke ontwikkeling. Momenteel beperkt de methode zich tot schattingen voor intensiteiten. We denken dat het mogelijk is, om met enkele aanpassingen, ook schattingen voor snelheden te kunnen maken. Daarmee wordt het mogelijk om ook de betrouwbaarheid van de snelheidsmetingen van lusdata te kunnen vaststellen.