

**Sturen op verkeershinder op het tracé  
Schiphol - Amsterdam - Almere**

M.A.G. Duijnisveld  
TNO – SMART Mobility  
Marco.duijnisveld@tno.nl

L. Peijs  
Rijkswaterstaat - DNH  
Laurens.peijs@rws.nl

S. C. Calvert  
TNO– SMART Mobility  
Simeon.calvert@tno.nl

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

## **Samenvatting**

### *Sturen op verkeershinder op het tracé Schiphol - Amsterdam - Almere*

In december 2011 start de uitvoering van het eerste traject van het project wegbreiding Schiphol – Amsterdam – Almere (SAA), te weten de verbreding van de A10 oost en de A1 tussen knooppunt Watergraafsmeer en knooppunt Diemen. Bij de aanbesteding van de SAA-wegwerkzaamheden geldt als één van de kritische succesfactoren de mate waarin verkeershinder beperkt kan worden. Verkeershinder is daarom als een zwaarwegend EMVI-criterium gebruikt bij de aanbesteding van het eerste SAA-deeltraject. Een faseringsplan met minimale verkeershinder is beloofd met een fictieve korting van 30,8 miljoen euro op een totale aannemerssom van circa 100 miljoen euro.

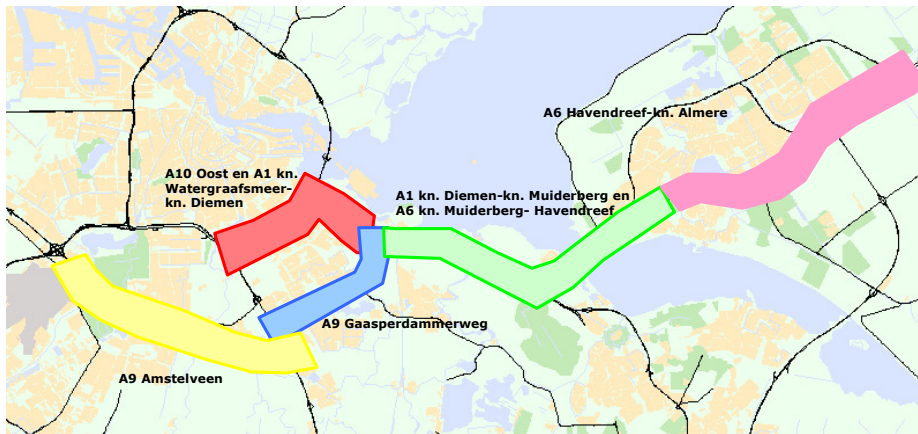
Om inzicht te krijgen in de verkeershinder is een dynamisch verkeersmodel ontwikkeld, dat in de gunning van de wegbreiding A10-Oost/A1 een prominente rol gespeeld heeft. Het scoren van aannemers volgens het EMVI-criterium verkeershinder op basis van een dynamisch verkeersmodel is een innovatieve aanpak die nog zeer beperkt heeft plaatsgevonden. Voordelen van het gebruik van een dynamisch verkeersmodel is de realistische filemodellering en de modellering van het gehele netwerk om zodoende ook de alternatieve routes mee te nemen bij de bepaling van verkeershinder. Hiermee wordt zo realistisch mogelijk de optimale situatie voor de weggebruiker benaderd.

Het verkeersmodel is overhandigd aan de aannemers om zodoende de aannemers de gelegenheid te geven hun verkeersfaseringsplan te optimaliseren vanuit het perspectief van verkeershinder. Het beschikbaar stellen van het verkeersmodel aan de aannemers is mede mogelijk gemaakt door een gebruikersvriendelijke interface voor het verkeersmodel en een toegankelijke opzet van de invoer en uitvoer van het model. Achteraf zijn de verkeersfaseringsplannen van de aannemers gecontroleerd op juistheid. Deze plannen konden volledig gereproduceerd worden.

Grootste succesfactor van de aanbesteding is dat er duidelijk vanuit verkeershinder (of: het behalen van een zo hoog mogelijke EMVI-score) is geredeneerd bij het maken de aanbiedingen door de aannemers. Door het zwaar inzetten op verkeershinder door middel van een fictieve korting, hebben alle aannemers de maximale score betreffende het kwantitatieve deel van het EMVI-criterium verkeershinder behaald. Geconcludeerd wordt dat een grote financiële prikkel voor beperken van verkeershinder effectief is.

## 1. Inleiding

In december 2011 start de uitvoering van het eerste traject van het project wegwitbreiding Schiphol – Amsterdam – Almere (SAA), te weten de verbreding van de A10 oost en de A1 tussen knooppunt Watergraafsmeer en knooppunt Diemen. Op dit traject worden de A10 oost en de A1 aan beide zijden van de weg verbreed en worden er diverse infrastructurele aanpassingen gedaan, zoals bijvoorbeeld reconstructie van knooppunt Watergraafsmeer. Vanaf 2014 wordt ook gestart met de realisatie van de overige deeltrajecten. In de onderstaande figuur staat een overzicht van de SAA-deeltrajecten.



Figuur 1: Overzicht deeltrajecten Schiphol – Amsterdam - Almere

Om het verkeer zo weinig mogelijk te hinderen bij de uitvoering van de werkzaamheden, moeten er verkeersmaatregelen worden getroffen om de doorstroming te garanderen. Voor het SAA-deelproject A10 Oost/A1, dat als eerste start, is een dynamisch verkeersmodel ontwikkeld ten behoeve van de aanbesteding. Inmiddels is de aanbesteding afgerond en het Design & Construct (D&C) contract is gegund aan Combinatie Cadicom (bestaande uit Dura Vermeer Divisie Infra, Besix SA België en Cofely Energy & Infra). Voor de overige deeltrajecten is een 'overall' verkeersmodel in ontwikkeling dat inzicht geeft in de verkeershinder als gevolg van de wegwerkzaamheden op de gehele corridor, maar tevens inzetbaar zal zijn voor diverse andere doeleinden zoals ondersteuning voor de verkeersmanager, communicatie en mobiliteitsmanagement.

In de gunning van de wegwitbreiding A10-Oost/A1 heeft het verkeersmodel een prominente rol gespeeld bij de EMVI-verkeershinder (Economisch Meest Voordelige Inschrijving). Naast de ontwikkeling van het verkeersmodel, is tevens nagedacht over hoe deze EMVI op te zetten en in te bedden in de contracten. Het scoren van aannemers van het EMVI-criterium verkeershinder op basis van een dynamisch verkeersmodel is een innovatieve aanpak die nog zeer beperkt heeft plaatsgevonden. Deze paper beschrijft de ontwikkeling van het verkeersmodel (hoofdstuk 2). De opzet, aanpak en evaluatie van de EMVI- verkeershinder staat verwoord in hoofdstuk 3. Deze paper sluit af met enkele richtingen voor vervolgonderzoek.

## 2. Opbouw verkeersmodel

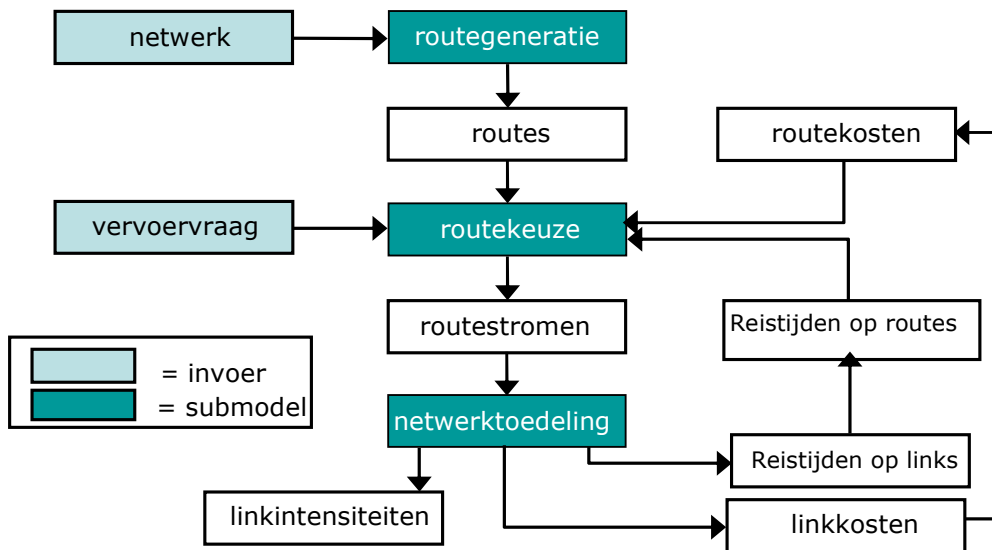
### 2.1 Inleiding

Om inzicht te krijgen in de verkeershinder op de A10 Oost en de A1 tussen knooppunt Watergraafsmeer en knooppunt Diemen is een dynamisch verkeersmodel gebruikt. Dergelijke verkeersmodellen zijn essentieel om een betrouwbaar inzicht te krijgen in files en routekeuze-effecten. Met dit model zijn op het genoemde traject verkeerssimulaties uitgevoerd om de verkeershinder inzichtelijk te maken op netwerkniveau. Het primaire

doel van het model is om verschillende faseringen op de A10-Oost en de A1 onderling te kunnen vergelijken; om deze reden lag de focus van het model op het hoofdwegennet. Het model geeft een goede weergave van de werkelijkheid op het hoofdwegennet. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de ontwikkeling van het verkeersmodel, meer achtergrondinformatie is beschikbaar in (Duijnsveld et al, 2010 en Duijnsveld et al, 2010-2).

## 2.2 Dynamisch verkeersmodel INDY

Om inzicht te krijgen in de verkeershinder als gevolg van de wegwerkzaamheden op de A10 Oost en de A1 tussen knp. Watergraafsmeer en knp. Diemen is het macroscopische dynamische evenwichtstoedelingsmodel INDY gebruikt met NRM-netwerk en bijbehorende HB-relaties als basis. INDY, ontwikkeld door TNO, de Technische Universiteit Delft en de Katholieke Universiteit Leuven, beschrijft het verkeer in de tijd en heeft daarnaast een nauwkeurige vorm van filemodellering die de op- en afbouw van files realistisch voorspelt. De elementen van het model die van belang zijn voor de modellering van wegwerkzaamheden voor de A10-A1 worden hierbij benadrukt. Een uitgebreide toelichting op het model is te vinden in Bliemer (2007) en Yperman (2007). Een visuele weergave van de werking van INDY is hieronder gegeven in figuur 2.



Figuur 2: Stroomdiagram INDY.

De routegeneratie gebeurt in het model via Monte-Carlo sampling: na aanbrengen van perturbaties op de linkkosten wordt telkens de kortste route gezocht; indien deze route voldoende verschilt van de al bekende routes, wordt deze in de routeset opgenomen. De routekeuze gebeurt in elke iteratie vóór de toedeling van verkeer aan het netwerk op basis van een multinomiaal logitmodel. Men geeft als gebruiker de tijdstap op waarbinnen de routekeuze constant blijft. De routekeuze vindt plaats voor een vaste vervoervraag (herkomst-bestemmingsmatrix). De toedeling van verkeer aan het netwerk gebeurt volgens de gekozen routestromen. Tijdens de afwikkeling blijven alle routestromen onderscheiden terwijl ze wel interacties met elkaar vertonen.

De gebruiker stelt een vast aantal uit te voeren iteraties in. Het resultaat wordt bepaald volgens de 'method of successive averages' (MSA). Hierbij wordt voor elk herkomst-bestemmingspaar de routekeuze bepaald aan de hand van een logit model met als input voor de nutsfunctie de routekosten uit de vorige iteratie. Deze routekeuze wordt gewogen met die uit de vorige iteraties, zodat het proces met zekerheid convergeert. In het model voor de A10-A1 is het aantal iteraties vastgesteld op 12. Uit meerdere testruns

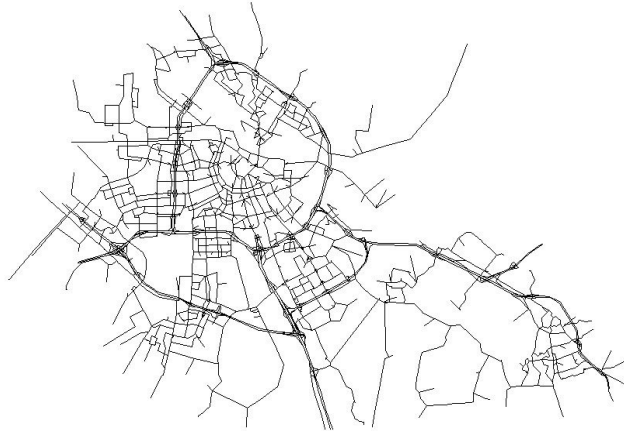
volgde dat het algoritme convergeerde (meestal wordt zelfs al enkele iteraties eerder convergentie bereikt) en altijd dezelfde uitkomsten teruggaf bij identieke invoer. Vooral dit laatste was een belangrijke eis voor de keuze van INDY als verkeersmodel in de aanbesteding.

### 2.3 Opzet model

De basis van het verkeersmodel is het NRM Randstad 2000 van Rijkswaterstaat. Dit model geeft een goede weergave voor een gemiddelde werkdag van het verkeer op het hoofdwegennet (HWN). In het NRM is het onderscheid naar ochtend-, avondspits en de restdag opgenomen. Op basis van (reismotief-afhankelijke) factoren uit het MON<sup>1</sup> en telcijfers heeft een ophoging naar 2005 plaatsgevonden en zijn tevens matrices voor een maatgevend uur in de weekenddagen afgeleid. Hier is gecorrigeerd voor het feit dat de weekenddagen een andere verdeling van de reismotieven kennen dan de werkdagen. Ook voor het vrachtverkeer heeft een aanpassing plaatsgevonden<sup>2</sup>. Dit resulteerde in een RegioRegiemodel voor geheel Noord-Holland, voor diverse dagen en dagdelen. Uit dit model zijn de deelmodellen van RegioRegie afgeleid. Als uitgangspunt voor het deelmodel dat TNO ontwikkeld heeft in INDY, dient het model voor Noord-Holland.

### Netwerk

Als uitgangspunt voor het A10-Oost/A1-verkeersmodel, dat TNO ontwikkeld heeft in INDY, dient het, uit de NRM Randstad afgeleide, RegioRegie model. Uit dit model is een uitsnede gemaakt die vervolgens het studiegebied definieert, waarbinnen de verkeersintensiteiten realistisch worden weergegeven (zie figuur 3). In deze uitsnede zijn de belangrijkste routealternatieven over het onderliggend wegennetwerk voor de A10-Oost en de A1 opgenomen, evenals de volledige Amsterdamse ring (A10), A9 tussen knooppunt Badhoevedorp en knooppunt Diemen en een gedeelte van de A2 en A1.



*Figuur 3: studiegebied A10-Oost/A1*

In het verkeersmodel A10-Oost/A1 worden een drietal periodes onderscheiden voor zowel de zomer(vakantie) als de reguliere situaties. De volgende periodes werden onderscheiden:

- Ochtendspits van 6.00 tot 10.00 uur
- Avondspits van 15.00 tot 19.00 uur
- Weekend van 13.00 tot 17.00 uur

Ten opzichte van het basisnetwerk zijn enkele aanpassingen aangebracht in het netwerk ten behoeve van een accurate modellering met INDY. Hiertoe zijn capaciteitsreducties toegepast op de belangrijkste weefvakken. Voor weefvakken zijn reducties opgelegd tussen de 1000 pae/uur en 2000 pae/uur op de rijbaan capaciteit. De reducties zijn toegepast op basis van expertkennis en met behulp van, door TNO, opgestelde

<sup>1</sup> Het mobiliteitsonderzoek Nederland (MON) is een onderzoek dat zich richt op de mobiliteit van Nederlanders.

<sup>2</sup> Meer informatie over dit proces is beschikbaar in de achtergronddocumentatie van RegioRegie.

weefvakcapaciteiten functies (Calvert, 2010). Naast weefvakken zijn ook spitsstroken en wisselstroken aangeduid als bijzondere wegvakken in het gebied. Voor de spitsstroken is een capaciteit van 1800 pae/uur en voor wisselstroken 1500 pae/uur aangenomen.

Met het model zijn ook simulaties uitgevoerd voor 2012. Voor het netwerk van 2012 zijn infrastructurele aanpassingen gemaakt waar nieuwe infrastructuur gerealiseerd is in het jaar. Dit betreft zowel het HWN als de hoofdwegen op het OWN.

### ***Vervoervraag en vertrekprofiel***

Het RegioRegiemodel heeft als basisjaar het jaar 2005. Het basisjaar voor het dynamische verkeersmodel is het jaar 2008. In de Mobiliteitsbalans 2009 (KiM, 2009) en de Filethermometer 2008 (Transpute, 2008) en in het MON is gekeken in hoeverre een correctieslag gemaakt moet worden in het aantal (a-priori) verplaatsingen. De conclusie hiervan is dat er geen ophoging nodig is van het jaar 2005 naar het jaar 2008. Nadat de a-priori-matrices zijn vastgesteld, is in het kalibratieproces op basis van telcijfers een correctie doorgevoerd in de a-priori matrices. Het kalibratieproces eindigt met de zogenaamde a-posteriori matrices (basismatrices).

Het KiM concludeert in de Mobiliteitsbalans 2009 dat er een beperkte groei van de mobiliteit met de auto tussen 2005 en 2008 heeft plaatsgevonden. In 2005 bedraagt het aantal reizigerskilometers met de auto 148,8 miljard; in 2008 is dit aantal nagenoeg gelijk: 149,5 miljard (een groei van 0,47%). Uit analyses van het MON blijkt tevens dat de groei van 2005 naar 2008 betreffende het aantal verplaatsingen met de auto 1,35% bedraagt in deze periode en de afname van het aantal voertuigkilometers bedraagt 0,37%. De Filethermometer geeft aan dat in 2006, 2007 en 2008 het aantal voertuigkilometers licht gestegen is. Besloten is om richting 2008 geen aanpassing in de HB-matrix door te voeren. Dit is in lijn met de deelmodellen van RegioRegie Noord-Holland-Zuid en 't Gooi waarin eveneens geen aanpassing heeft plaatsgevonden in de HB-matrix.

Aanvullend is gekeken naar het onderscheid tussen lange- en kortereafstandsverplaatsingen. Hier is geen significant onderscheid in gevonden. In de periode 2005 naar 2008 zijn beperkt ingrijpende OV- en weginfrastructuurprojecten gerealiseerd die invloed hebben op het aantal verplaatsingen in het studiegebied. De verwachting dat het aandeel vrachtverkeer in de spits zal stijgen is niet aanwezig. Uit deze factoren wordt daarom geen verdere verkeersstijging verwacht. Voor zowel het onderscheid naar vakantie en de reguliere situatie, als voor weekenddagen, is uitgegaan dat de relatieve verkeersintensiteiten vergelijkbaar blijven. Dit is in de kalibratie bijgesteld, waar nodig, door de matrices aan te passen aan de hand van verschillende telcijfers voor de vakantie- en reguliere periode.

### ***Vervoersvraag 2012***

In de mobiliteitsbalans 2009 (KiM, 2009) wordt beargumenteerd op basis van ramingen van het CPB en cijfers van het CBS dat de verkeersomvang op het hoofdwegennet in 2009 met een half procent tot 2 procent zou kunnen dalen en in 2010 weer licht kan stijgen met een half procent. Het vrachtverkeer zou volgens het KiM een daling laten zien van 2,5 tot 3,5% in 2009 ten opzicht van 2008 en in 2010 verder dalen met 0,3%. Dit beeld wordt tevens bevestigd door berekeningen van het KiM voor 2009 en 2010. Het KiM heeft in een onderzoek in 2008 (zie KiM, 2008) een relatie afgeleid tussen de groei van het autoverkeer en de ontwikkeling van de olieprijs, het bruto binnenlands product (BBP), het aantal inwoners (leeftijdscategorie 20 tot 65) en de capaciteit van de wegen. Dit resulteert in een groei van het verkeer van 9% (laag scenario) tot 12% (hoog scenario) in de periode 2007 – 2012. Uit Tabel 1 kan worden afgeleid dat de ontwikkeling van het BBP, de belangrijkste verklarende variabele is van de groei van het verkeer.

Oorzaak	2002-2007		2007-2012			
	Groei oorzaak	Groei verkeer	Lage-groei-scenario		Hoge-groei-scenario	
			Groei oorzaak	Groei verkeer	Groei oorzaak	Groei verkeer
Inwoners 20-65 jaar	+1%	+1%	0%	0%	0%	0%
Bruto binnenlands product	+11%	+7%	+9%	+6%	+12%	+8%
Brandstofprijzen	+20%	-2%	-4%	0%	-11%	+1%
Capaciteit wegen	+5%	+4%	+4%	+3%	+4%	+3%
Onverklaard		-1%				
Totaal		+9%		+9%		+12%

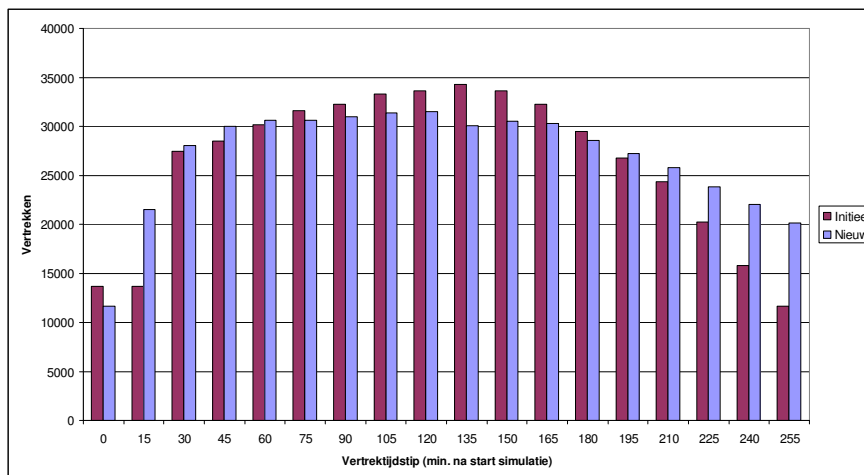
Tabel 1: Oorzaken van de groei van het autoverkeer in Nederland (KiM, 2008)

Naast de bovengenoemde kortetermijnprognose zijn er langetermijnprognoses beschikbaar van het CPB. Dit zijn de vier WLO-scenario's. Deze scenario's gaan in de periode 2002 tot 2020 uit van een BBP-groei van 0,7% in het laagste scenario tot een groei van 2,6% in het hoogste scenario. Gezien deze voorspellingen, lijkt het realistisch om uit te gaan van een groei in 2012 gelijk aan 2011 (dus 2%).

Op basis van de nieuwste inzichten van het CPB komen we uit op een BBP-groei van 1,4% in de periode 2008 – 2012. Als we deze inzichten in de redenering van het KiM doorvoeren, komen we uit op een groei +4% in de periode 2008 naar 2012. Voor de ontwikkeling van de mobiliteit in de periode 2008 naar 2012 wordt dan ook uitgegaan van een groei van het verkeer van 4%. Voor nieuwe infrastructuur is een volume stijging genomen van 3% gedurende de periode tot 2012. De 3% is afgeleid uit een verkeerskundige evaluatie die Rijkswaterstaat in 2009 heeft uitgevoerd naar aanleiding van de opening van het ZSM-project A7.

#### Vertrekprofiel

INDY is een dynamisch model. Dit betekent dat de vervoervraag (HB-matrices) ook dynamisch moet zijn. In het model is voor iedere 15 minuten een HB-matrix opgesteld. Hierbij is uitgegaan van de statische 1-urige matrices uit RegioRegie. De initiële vertrekprofielen zijn overgenomen uit de deelmodellen 't Gooi en Noord-Holland-Zuid. In de onderstaande figuur is het gebruikte profiel uit RegioRegie Gooi-model voor de avondspits weergegeven (initiële profiel). Op de X-as staan de 15-minuten-intervallen. Op de Y-as staat het aantal vertrekken.



Figuur 4: Vertrekprofiel avondspits.

Het vertrekprofiel is in eerste instantie gelijk verondersteld voor alle HB-paren. Bij de kalibratie is deze veronderstelling losgelaten. In praktijk kunnen vertrekprofielen immers ook verschillen per HB-relatie. In de onderstaande figuur staan de geaggregeerde resultaten van de kalibratie weergegeven. Uit de figuur blijkt dat door de kalibratie de matrix iets is afgevlakt (profiel 'Nieuw') en dat in de opwarmperiode en aan het eind van de simulatie de vraag is verhoogd. De eerste 30 minuten is gedefinieerd als de opwarmperiode van het model en vanaf minuut 30 zijn tellingen beschikbaar. De vertrekken in de opwarmperiode moeten echter aangepast kunnen worden om aan de tellingen vanaf minuut 30 te voldoen. Het vertrekprofiel voor 2012 is gelijk verondersteld aan het vertrekprofiel voor 2008.

#### *2.4 Paden- en route-generatie*

In INDY worden vooraf routes en paden gegenereerd. Voor het jaar 2008 en 2012 is zijn uitgebreide routesets gegenereerd via Montecarlo-simulatie. De routeset van 2012 is aangevuld met extra routes die in geval van wegwerkzaamheden kunnen worden gebruikt. Deze extra routes zijn gegenereerd door delen van de A1 en de A10-Oost af te sluiten en opnieuw routes te genereren via Montecarlo-simulatie. Het resultaat van deze aanpak is een zeer uitgebreide routeset voor alle periodes (ochtendspits, avondspits, weekend voor de vakantie en reguliere situatie).

Bij de simulaties is gebleken dat de gegenereerde routeset erg groot is. Voor sommige HB-relaties waren bijvoorbeeld 40 routes beschikbaar. Deze worden uiteraard niet allemaal gebruikt. Ze nemen echter wel geheugen en rekentijd in beslag. Om de rekentijd te verkorten is besloten om de routeset op 'intelligente wijze' te verkleinen. Hiertoe zijn de volgende stappen gezet:

- De routesets van alle periodes en diverse doorgerekende lichte en zware vormen van wegwerkzaamheden zijn verkleind door alle routes die door minder dan vijf voertuigen in de hele simulatieperiode zijn gebruikt te verwijderen. Voorwaarde was wel dat minimaal één route beschikbaar bleef.
- Vervolgens zijn de resterende routes uit de diverse routesets gecombineerd tot één nieuwe routeset (wordt ook wel padenbestand genoemd).

De kwaliteit van dit padenbestand is getoetst door een vergelijking te maken met eerder uitgevoerde modelruns zonder padenbestand. Hieruit bleek dat de verschillen minimaal zijn. Het op deze wijze gegenereerde padenbestand is gebruikt bij het doorrekenen van de wegwerkzaamheden. Het voordeel hiervan is dat de rekentijd 6 uur korter is geworden en dat in alle modelruns dezelfde routeset gebruikt wordt, waarvan gecontroleerd is of de relevante routealternatieven zijn bevat in de routeset.

#### *2.5 Kalibratie en validatie*

Om er voor te zorgen dat de modelresultaten zo goed mogelijk overeen komen met de werkelijkheid (telcijfers en andere bronnen) moet altijd gekalibreerd worden, na de initiële instelling van HB-matrices en het netwerk. In principe kunnen bij de kalibratie drie mogelijke aanpassingen worden gedaan:

- De modelparameters kunnen worden bijgesteld. Een modelparameter met veel invloed is op het congestieniveau is de 'jam density'. Aangezien de verschillen tussen de initiële modelresultaten en de telcijfers niet overal hetzelfde zijn, hebben we er voor gekozen om deze modelparameter niet aan te passen. Deze parameter is gesteld op 150 voertuigen per strookkilometer.
- De netwerkeigenschappen (capaciteiten etc.) kunnen worden bijgesteld. De parameters die naast de 'jam density' van invloed zijn op het congestieniveau zijn de free-flowsnelheid en de capaciteit. Dit zijn eigenschappen van wegvakken. Gezamenlijk bepalen de free-flowsnelheid, de capaciteit en de jam-density de vorm van het fundamenteel diagram. Dit diagram geeft de relatie tussen de dichtheid op de weg, de intensiteit en de snelheid weer. In feite bepaalt het

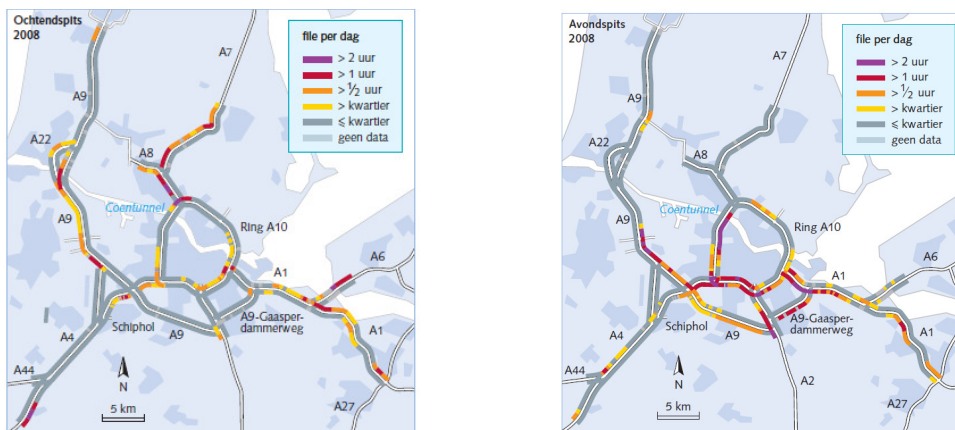


diagram hoe files opbouwen en weer oplossen. Alle netwerkeigenschappen zijn gecontroleerd en waar nodig aangepast. In de kalibratie worden deze niet verder aangepast, omdat dit mogelijk leidt tot een 'onherkenbaar' beeld van capaciteiten.

- De vervoervraag en vertrekprofielen kunnen worden bijgesteld. De vervoervraag is vergeleken bij de netwerkeigenschappen een redelijk onzekere factor. Dit komt doordat een ophoging van 2005 naar 2008 heeft plaatsgevonden die voor alle zones gelijk is verondersteld. Hetzelfde geldt voor het vertrekprofiel. Daarnaast is als uitgangspunt een matrix gebruikt die is gekalibreerd voor een statisch model. Dit is ook al een benadering van de werkelijkheid. We hebben er daarom voor gekozen bij de kalibratie vooral de vervoervraag en het vertrekprofiel aan te passen door gebruik te maken van HB-schattingstechnieken. Bij de aanpassingen is er wel voor gezorgd dat het aantal vertrekken per vertrekperiode in principe niet meer dan een bepaalde factor verandert. Deze factor is ruim gehouden op 2,8. Dit is nodig omdat het initiële vertrekprofiel is toegepast op alle relaties, terwijl een ander profiel voor een individuele HB-relatie dichterbij de werkelijkheid kan liggen. Per relatie kunnen er daarom grote verschillen zijn.

De kalibratie heeft zich in eerste instantie gericht op het in overeenstemming brengen van de met het dynamisch model berekende intensiteiten met telcijfers. Gedetailleerde teldata is beschikbaar voor het Rijkswegennet. Met behulp van MONICA is data verzameld voor de desbetreffende periodes. Aanvullend is gebruik gemaakt van MTR-teldata en data over het provinciale wegennet. Teldata op relevante op- en afritten is tevens meegenomen in de kalibratie. Per telling is een gewicht toegekend dat aangeeft hoe belangrijk het is dat het model de tellingen goed benadert; Voor MONICA telcijfers met een 5-minuten profiel is de maximale factor van 10 gebruikt. MTR-telpunten en provinciale wegtelpunten met een uurprofiel hebben een waardering van 5, omdat de resulterende 5-minuten waarden voor de schatting lineair geïnterpoleerd zijn en daarmee minder nauwkeurig zijn. Voor de op- en afritten van de S-wegen is een weging van 1 toegepast omdat de data zeer beperkt was (1 avondspitsuur) en een grote onzekerheid bevatten. Tot slot is nog een correctie toegepast voor het vrachtverkeer, aangezien INDY gebaseerd is op personen-auto-equivalenten (pae) in tegenstelling tot de telcijfers.

Naast aansluiting bij de telling is aansluiting gezocht bij fileduurkaarten uit de filethermometer ten behoeve van een realistische congestieweergave. In Figuur 5 is een voorbeeld hiervan weergegeven voor de ochtendspits van 2008.



*Figuur 5: Karakteristiek filepatroon ochtendspits (links) en avondspits (rechts) op werkdagen in 2008 (bron: Filethermometer 2008)*

Het kalibratieproces maakt gebruik van REMODE. REMODE is een dynamische HB-schatter. Per periode (ochtend, avond, weekend voor de vakantieperiode en de reguliere situatie) is een kalibratie uitgevoerd. Meer achtergrondinformatie over REMODE is te vinden in (Chen, 2009). Invoer voor REMODE is een HB-matrix per tijdstap, een padenbestand met gekozen routes voor elke tijdstap en een bestand met tellingen. Het padenbestand geeft aan hoeveel voertuigen in welke vertrekperiode gebruik maken van welke route en op welk tijdstip ze op iedere link van het pad in- en uitstromen. Dit bestand is het resultaat van een toedeling met het model. Op basis hiervan wordt een aanpassing gemaakt in de HB-matrix per tijdstap. Dit resulteert in een nieuwe HB-matrix, die vervolgens wordt toegedeeld. Dit proces herhaalt zich totdat een goed eerste beeld wordt verkregen.

Door REMODE toe te passen, wordt een goed eerste beeld verkregen van de verkeerssituatie. In netwerken met ernstige congestie heeft REMODE (net als alle andere HB-schatters) moeite om het gewenste verkeersbeeld goed te representeren. Dit komt doordat tellingen gebaseerd zijn op intensiteiten. Het probleem hiervan is dat lage tellingen zowel op vrije doorstroming als op congestie kunnen duiden. In combinatie met de snelheid is te achterhalen of het om een congestietoestand gaat of niet. Dit is echter niet voldoende, omdat congestie veroorzaakt kan zijn door fileterugslageffecten. De HB-schatters weten hierdoor niet 'in welke richting' matrices moeten worden aangepast. Om dit probleem op te lossen, zijn aanvullende selected link analyses uitgevoerd op de wegvakken waar het congestiebeeld van het model en de filethermometer veel van elkaar verschillen. Het aantal verplaatsingen van de HB-paren die gebruik maken van dat wegvak zijn met een factor verhoogd. De factor is geschat op basis van het verschil in intensiteiten en capaciteiten. Een factor van 1,2 betekent bijvoorbeeld dat al het verkeer dat de 'selected link locatie' passeert, is opgehoogd in de HB-matrix met een factor 1,2. Dit betekent niet automatisch dat bij de toedeling dan ook echt 20% meer verkeer langs die locatie komt, omdat er ook routekeuze-effecten op kunnen treden. Het is ook mogelijk dat als gevolg van de ophoging op andere locaties ongewenste knelpunten ontstaan, waardoor een andere correctiefactor op die locaties moet worden toegevoegd. Dit geeft aan dat het laatste deel van de kalibratie een iteratief proces is.

#### *Validatie*

Ter validatie is gebruik gemaakt van de volgende informatie:

- Vergelijking tussen toedeling en telpuntcijfers. De meeste telpunten zijn meegenomen in de kalibratie om het aantal verplaatsingen zo goed mogelijk in overeenstemming te brengen met de tellingen. Ter validatie is gekeken in hoeverre de toedeling in staat is om aansluiting te vinden bij de tellingen. Hierbij is niet alleen gekeken naar het totaal aantal passages, maar ook naar de verdeling over de dag. Vier tellocaties zijn voor de validatie buiten de kalibratie gehouden om achteraf een validatie hiermee uit te kunnen voeren.
- Ritlengteverdeling. Een grote aanpassing in de ritlengteverdeling kan impliceren dat het aantal korte- dan wel langeafstandsverplaatsingen fors is veranderd, zodat de matrix niet meer een logisch aantal korte- en langeafstandsverplaatsingen bevat. Hier moet op getoetst worden of een dergelijke situatie zich voordoet.
- Verandering in aantal aankomsten en vertrekken per zone. Een forse verandering in het aantal aankomsten en vertrekken in een zone kan erop duiden dat één specifieke herkomst of bestemming in de kalibratie gebruikt is om aansluiting te vinden bij de telcijfers.
- Expert opinion.

### **3. EMVI verkeershinder**

#### *3.1 Inleiding*

Bij de aanbesteding van de SAA-wegwerkzaamheden geldt als één van de kritische succesfactoren de mate waarin verkeershinder beperkt kan worden. Verkeershinder is daarom als een zwaarwegend EMVI-criterium gebruikt bij de aanbesteding van het eerste deeltraject van SAA, namelijk de A10-Oost/A1. Hiertoe is een dynamisch verkeersmodel ontwikkeld (zie hoofdstuk 2), dat gebruikt is om een verkeersfaseringsplan door de aannemers (de offerende partijen) te laten opstellen en toetsen op de hoeveelheid verkeershinder. Het verkeersfaseringsplan van de aannemer is vergeleken met een door Rijkswaterstaat opgestelde referentiefasering. De aannemer die een verkeersfasering aanbiedt met minimale verkeershinder zal op dit onderdeel van de EMVI het beste scoren. Voor de A10-Oost/A1 is in de contracten een EMVI-verkeershinder meegenomen in de vorm van een fictieve bonus prestatie / kwaliteitscriterium. Een faseringsplan met minimale verkeershinder is beloond met een fictieve korting van 30,8 miljoen euro (op een totale aannemerssom van circa 100 miljoen euro). Hiermee kan worden gezegd dat het beperken van dé doelstelling in gehele aanbesteding is geweest.

Het gebruik van een verkeersmodel in een dergelijk traject is relatief nieuw. Veelal wordt niet kwantitatief gestuurd op verkeershinder en dan zeker niet met behulp van een dynamisch verkeersmodel. 'Onbekend maakt onbemind' is een vaak voorkomende uitspraak als gewerkt wordt met (verkeers)modellen. In deze EMVI is dan ook veel energie gestoken in het creëren van vertrouwen binnen de Rijkswaterstaat organisatie. Innovatieve ideeën zijn in de beleving vaak minder goed beheersbaar en hierdoor wordt er in een aanbestedingstraject vaak met enige terughoudendheid naar gekeken door juristen. Dit vraagt veel tijd en energie om vertrouwen te winnen. Terugkijkende op het proces is dit goed geslaagd.

Bij de EMVI verkeershinder is gekozen voor een volledig objectieve aanpak waarbij de aannemer uitgedaagd is tot slim plannen en bouwen. In het verkeersmodel wordt fileterugslag en de routekeuze meegewogen; het fijnmazige netwerk rondom de A10-Oost/A1 vraagt om een dergelijke aanpak. Het verkeersmodel is uitgeleverd aan de aannemers en is zoveel mogelijk geautomatiseerd om (handmatige) fouten te voorkomen. De ingediende aanbiedingen zijn tot slot gecontroleerd om zeker te zijn dat er geldige aanbiedingen ingediend zijn. Voor deze controleslagen is een aantal tools vooraf ontwikkeld om dit proces snel, efficiënt en objectief te laten verlopen.

Het was voor de aanbesteding van essentieel belang dat met dezelfde modelinvoer altijd hetzelfde eindresultaat gehaald zou worden: als immers een aannemer met dezelfde invoer andere resultaten zou genereren, betekent dit dat een aannemer anders beoordeeld zou worden in de gunning van de werkzaamheden. Het instrument INDY voldoet aan deze voorwaarde.

#### *3.2 Impact van de EMVI-verkeershinder*

Grootste succesfactor van de EMVI-verkeershinder is dat er duidelijk vanuit verkeershinder (of: het behalen van een zo hoog mogelijke EMVI-score) is geredeneerd bij het maken de aanbiedingen. Door het zwaar inzetten op verkeershinder door middel van een fictieve korting, hebben alle aannemers de maximale score betreffende het kwantitatieve deel van het EMVI-criterium verkeershinder behaald. Voordeel van het dynamische model was vooral dat hierin het voor gewenst netwerkeffect zit en een realistische filemodellering. Hiermee wordt zo realistisch mogelijk de optimale situatie voor de weggebruiker benaderd.

Alle aannemers hebben de maximale fictieve EMVI-korting verkeershinder gerealiseerd. Beperken van verkeersmodel was hét doel van de aanbesteding en dit is succesvol gebleken. Door de aannemers is beredeneerd vanuit de gedachte tot minimalisatie van de verkeershinder naast de technische uitvoerbaarheid. Hierdoor kiezen aannemers voor

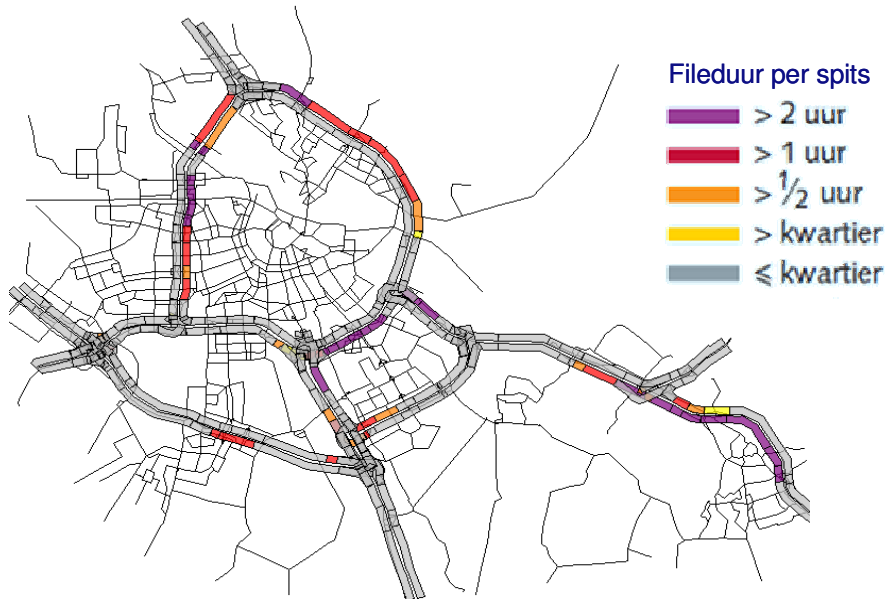
het snel opleveren van extra wegcapaciteit en worden zware werken in de werkbare uren, weekenden en vakanties ingepland.

Aandachtspunt is de opgestelde referentiefasering van Rijkswaterstaat. Deze fasering is mogelijk te conservatief geschat; vooral in de doorlooptijd hebben de aannemers veel meer kunnen optimaliseren, waardoor hun aanbiedingen beter scoren op het voorkomen van verkeershinder dan de referentiefasering. Ook kan de referentiefasering waarschijnlijk verder geoptimaliseerd worden door af te stappen van traditionele denkwijze en ook expliciet rekening te houden met het voorkomen van verkeershinder. Aannemers kunnen veel meer en sneller (zolang er een financiële prikkel tegenover staat).

### 3.3 EMVI-Performance indicator

Als performance indicator is het aantal voertuiguren gedurende de wegwerkzaamheden van de opdrachtnemer modelmatig vergeleken met het aantal voertuiguren gedurende de wegwerkzaamheden op basis van de referentiefasering van Rijkswaterstaat. Het resultaat is het totale reistijdverlies in voertuigverliesuren vanwege de fasering van de aannemer ten opzichte van de fasering van Rijkswaterstaat. De aannemers worden zo geprikkeld om minder verkeershinder te produceren ten opzichte van de referentiefasering en kunnen hierdoor goed scoren op dit EMVI-criterium. Ook in TRANSUMO (zie AT Osborne et al, 2009) is geconcludeerd dat het verschil in voertuiguren de beste performance indicator is.

Naast het aantal voertuigverliesuren waar de beoordeling van de (deel)fasering op gebaseerd is, zijn tevens aanvullende verkeerskundige indicatoren beschikbaar gesteld, evenals een grafisch inzicht in de fileduur (zie figuur 6). Deze informatie kon door de aannemers gebruikt worden om de fasering te optimaliseren en zijn dus slechts hulpmiddelen om meer inzicht te krijgen in de onderbouwing van het totaal aantal voertuigverliesuren. Er zijn indicatoren beschikbaar gesteld voor het gehele netwerk (zoals totaal aantal voertuiguren en het aantal gereden voertuigkilometers) en voor vooraf gedefinieerde trajecten (zoals gemiddelde rijsnelheid en de vrije reistijd).



Figuur 6: fileduurkaart

### 3.4 Vormgeving proces rondom de EMVI

Alvorens de EMVI in het contract is opgenomen in de uitvraag richting de markt, is nagedacht over de vormgeving rondom proces van de EMVI. Uitgangspunt van de EMVI was dat de faseringen van de aannemers met het verkeersmodel doorgerekend worden en op basis van de berekende voertuigverliesuren een afweging gemaakt wordt. Hiertoe zijn twee mogelijkheden:

- 1) De aannemers beschikken over het verkeersmodel.
- 2) De aannemers beschikken niet over het model.

Ook is nagedacht over het leveren van enkele bouwstenen aan de aannemers om een verkeersfasering op te stellen. Hiertoe moest het model vereenvoudigd worden, zodat niet de volledige potentie van het model gebruikt wordt. Ook werd door enkele bouwstenen te leveren, het innoverende vermogen van de aannemer mogelijk beperkt. Hierom is deze optie niet nader uitgewerkt.

Er werd gekozen voor maximale flexibiliteit en transparantie voor de aannemers door het verkeersmodel bij de aannemers te plaatsen. Enkele voordelen van het beschikbaar stellen van het verkeersmodel door middel van enkele vooraf geïnstalleerde computers:

- Rijkswaterstaat richt zich op het bij de markt neerzetten van inhoudelijke werkzaamheden. Aangezien Rijkswaterstaat dit soort werkzaamheden niet zelf in huis haalt, heeft dit mede een rol gespeeld bij de keuze om het verkeersmodel bij de aannemers neer te zetten.
- Als het model aan de aannemer wordt gegeven, is de aannemer flexibeler om met het model te experimenteren. Hierdoor heeft de aannemer de mogelijkheid veel opties in beschouwing te nemen en wordt de aannemer uitgedaagd met innovatieve oplossingen te komen; kortom: maximale flexibiliteit voor de aannemers.
- Een aannemer bedenkt mogelijk veel faseringen, bestaande uit meerdere deelfaseringen. Hierdoor moeten veel modelberekeningen uitgevoerd worden. Door het model aan de aannemer te geven, is hij verantwoordelijk voor de doorlooptijd en de planning.
- Er is mogelijk een interpretatieverschil over hoe de fasering er exact uitziet. De plannen moeten geïnterpreteerd worden en vervolgens in het model gebracht worden. Als dit niet goed gebeurt, is de doorrekening anders dan het idee dat de aannemer had. Risico van het model in eigen beheer houden is dat er mogelijk discussie met de aannemer ontstaat over de precieze modelinvoer van de fasering.

De aannemers hebben de beschikking gekregen over twee computers met bijbehorende software om het verkeersmodel te kunnen toepassen. Voor de aansturing van het verkeersmodel is een gebruikersinterface ontwikkeld, die op basis van de benodigde achtergrondprocessen het verkeersmodel aanstuurt om de verkeershinderberekeningen mogelijk te maken. Deze interface is zodanig opgezet dat deze volledig geautomatiseerd de verkeersberekeningen uitvoert. Voor de invoer en de uitvoer van het verkeersmodel is MS Excel gebruikt, aangezien iedereen bekend is met deze software. Veel systeemdata is afgeschermd voor de gebruiker, aangezien deze data niet relevant was voor de aannemers.

Er is een inlichtingenbijeenkomst georganiseerd voor de aannemers betreffende de werking en toepassing van het verkeersmodel. In de bijgeleverde instructiehandleiding staat in detail beschreven hoe het verkeersmodel bediend moet worden (zie Rijkswaterstaat, 2010). Ook is een helpdesk in het leven geroepen voor eventuele vragen en is achtergrondinformatie (zie Duijnsveld et al, 2010 en Duijnsveld et al, 2010-2) betreffende het verkeersmodel INDY overhandigd. Door deze zaken op te pakken is getracht zo transparant mogelijk te werk te gaan. Door het model voor oplevering veelvuldig te testen is de kans op vastlopen van de software geminimaliseerd. Als extra beheersmaatregel is een aantal reserve computers aangeschaft, die tevens gebruikt konden worden om een eventuele fout bij de aannemers te kunnen reproduceren.

De gebruikersvriendelijke interface van het verkeersmodel heeft bijgedragen aan een goed werkende versie van het verkeersmodel. Door vooraf veelvuldig het model te testen is gegarandeerd dat het model altijd dezelfde uitkomsten genereerde en dat ook de software niet vastloopt. De doelstelling dat het verkeersmodel 'idiot proof' en 'huffer proof' moest zijn, is ruimschoots gehaald. Ook had elke aannemer dezelfde mogelijkheden tot invullen type afzettingen en waren de uitkomsten altijd volledig te reproduceren en identiek bij dezelfde invoer.

#### **4. Vervolgonderzoek**

##### *4.1 Verkeershinder 'over de deeltrajecten heen'*

Het eerste deeltraject van SAA, de A10-Oost/A1 is inmiddels gegund aan de aannemerscombinatie Cadicom. Vanaf 2014 wordt ook gestart met de realisatie van de overige SAA-deeltrajecten en deze trajecten worden per traject aanbesteed. Dit vraagt niet alleen om methodes en technieken om de hinder binnen een traject te beperken, maar ook om inzicht in de onderlinge samenhang van de keuzes die gemaakt worden binnen de deeltrajecten. Om hierop vooruit te lopen, wordt momenteel een verkeersmodel voor de gehele SAA-corridor ontwikkeld. Met dit model wordt inzicht gegeven in de te verwachte verkeershinder binnen een traject als ook de onderlinge samenhang voor de gehele SAA-corridor. Waarschijnlijk gaat het verkeersmodel ook een rol spelen rondom de EMVI-verkeersmodel. Hiernaast wordt het verkeersmodel gebruikt voor de interne communicatie bij Rijkswaterstaat maar ook voor de communicatie naar regionale partijen, aangrenzende wegbeheerders en de weggebruiker. Ook kan de verkeersmanager (of het district) aan de hand van de uitkomsten van het model beslissingen nemen of bepaalde combinaties van afzettingen (binnen één deeltraject of bij meerdere trajecten) wel of niet worden toegestaan.

##### *4.2 Mobiliteitsmanagement en verkeersmanagement*

Mobiliteitsmanagement en verkeersmanagement zijn instrumenten om de verkeershinder te reduceren. Vooral voor grote werkzaamheden (hinderklasse 4 en veel gehinderde weggebruikers) wordt aanbevolen mobiliteitsmanagement toe te passen in aanvulling op verkeersmanagement. Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat zij mobiliteitsmanagement en verkeersmanagementmaatregelen in eigen beheer wil houden en dit dus buiten de aanbesteding van de A10-Oost/A1 gehouden. Dergelijke maatregelen met bijbehorende impact kunnen ook geïnitieerd worden door de aannemers, omdat dit (uiteeraard) ook impact heeft op de te verwachte verkeershinder. Het verkeersmodel heeft hier wel toegevoegde waarde om de effecten van mobiliteitsmanagement en / of verkeersmanagement inzichtelijk te maken of om keuzes te maken hoe dit in te richten. Denk hierbij bijvoorbeeld aan selected link analyses, die behulpzaam zijn bij het opstellen van kansrijke relaties voor mobiliteitsmanagement.

##### *4.3 Robuustheid van het wegennet*

Het onderwerp robuustheid van het wegennet is niet meegenomen als gunningscriterium van de A10-Oost/A1. Robuustheid wordt gekwantificeerd door een inschatting te maken van het aantal voertuigverliesuren onder niet-reguliere omstandigheden. Hier kunnen de aannemers ook op gescoord worden. Het meenemen van robuustheid in beleidsstudies en infrastructuurprojecten is relatief nieuw binnen Rijkswaterstaat, zeker in combinatie met een dynamisch verkeersmodel om de effecten van wegwerkzaamheden inzichtelijk te maken. Er zijn echter zeker mogelijkheden om dit aspect ook mee te nemen.

##### *4.4 Monitoring tijdens werkzaamheden*

Tijdens de realisatiefase van de A10-Oost/A1 worden eventuele afwijkingen van het faseringsplan doorgerekend met het verkeersmodel en dit leidt mogelijk tot een andere hoeveelheid verkeershinder. Tijdens de realisatiefase kan de hoeveelheid verkeershinder ook gemonitord worden. Instrumenten zoals RAMON en ATOL, ontwikkeld door TNO, geven inzicht in de hoeveelheid verkeershinder en kunnen tevens de verkeershinder

classificeren naar type files (bijvoorbeeld naar incidenten en schokgolven) om zodoende de verkeershinder als gevolg van de wegwerkzaamheden te isoleren. Hiermee kan een aannemer tijdens de wegwerkzaamheden geconfronteerd worden met de werkelijke hoeveelheid verkeershinder en hierop afgerekend (of beloond) worden. Hier ligt echter nog wel een uitdaging hoe dit goed meegenomen kan worden in de contracten. Hoe wordt bijvoorbeeld omgegaan met het feit dat de gerealiseerde verkeershinder afwijkt van de modelmatige verkeershinder?

#### 4.5 Rekening

Een van de aandachtspunten bij het opstellen van de faseringsplannen was de relatief lange rekening van ongeveer 10 uur voor een dynamische verkeersmodellering. Door de inzet van meerder computers en het mogelijk maken van simultane berekeningen is de lange wachttijd op modeluitkomsten enigszins beperkt. Momenteel wordt echter gewerkt aan het versnellen van het verkeersmodel INDY door de inzet van een GPGPU- implementatie. De verwachting is dat een versnelling van een factor 50 haalbaar is.

### Literatuurlijst

AT Osborne et al, 2009

Gunnen op Doorstroming, Een werkdocument voor het beoordelen van doorstroming binnen EMVI, AT Osborne, Bouwend Nederland, CROW, Gemeentewerken Rotterdam, Rijkswaterstaat, TNO Bouw en Ondergrond, 2009

Bliemer, 2007

Bliemer M.C.J. (2007) Dynamic Queuing and Spillback in an Analytical Multiclass Dynamic Network Loading Model, in: TRB: Journal of the Transportation Research Board, No. 2029, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.

Calvert, 2010

Onderzoek naar Weefvakcapaciteiten met microsimulatie, Simeon Calvert, TNO, Delft, augustus 2010.

Chen, 2009

Dynamic OD Estimator / REMODE V710, Yusen Chen, CYStone, May 2009 and REMODE Dynamic OD Estimator /V8.13 , Yusen Chen, CYStone, September 2009

Duijnisveld et al, 2010

Achtergronddocumentatie dynamische verkeersmodel INDY, Marco Duijnisveld, Maaïke Snelder, Michiel Minderhoud, TNO, Delft, oktober 2010, TNO-034-DTM-2010-04004.

Duijnisveld et al, 2010-2

Ontwikkeling Verkeersmodel in INDY voor A10-oost – A1, Marco Duijnisveld, Maaïke Snelder, Michiel Minderhoud, Simeon Calvert, TNO, Delft, december 2010, TNO-060-DTM-2011-00279

KiM, 2008

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), Verkenning autoverkeer 2012, oktober 2008, Den Haag

KiM, 2009

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), Mobiliteitsbalans 2009, juni 2009, Den Haag

Rijkswaterstaat, 2010

Instructiehandleiding verkeersmodel, behorende bij bijlage F, Prestatiecriterium verkeershinder, Rijkswaterstaat, november 2010

Transpute, 2008

Filethermometer 2008, Amersfoort.

Yperman, 2007

Yperman I. (2007) The Link Transmission Model for Dynamic Network Loading, Catholic University of Leuven, Leuven.