

Realtime en pro-actief verkeersmanagement voor verduurzaming van mobiliteit

Lieuwe Krol – Goudappel – lkrol@goudappel.nl
Edwin Papjes – Groningen Bereikbaar – e.papjes@groningenbereikbaar.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
13 en 14 oktober 2022, Utrecht**

Samenvatting

Verkeersmanagement is de kunst van balanceren tussen bereikbaarheid en leefbaarheid. In de afgelopen jaren heeft Goudappel een continu, realtime verkeersmodel ontwikkeld met een prognosehorizon tot een half uur vooruit. Het modelsysteem is een hybride vorm van een modelgedreven en datagedreven aanpak. In dit model worden zowel meetgegevens van snelwegen als data van verkeerslichten en floating car data verwerkt en gefuseerd. De verkeersvraag in het verkeersmodel wordt vervolgens gekalibreerd op de telgegevens. Gelijktijdig wordt ook het beschikbare wegennet aangepast op basis van de informatie uit brugopeningen en wegwerkzaamheden. Op deze manier is een digital twin gecreëerd, die gebruikt kan worden voor een prognose van de verkeersstoestand over een half uur. In het model worden eveneens de actuele posities van bussen inclusief hun vertraging of voorsprong op de dienstregeling integraal met de (verwachte) verkeersdrukke getoond.

Het modelsysteem wordt toegepast in Groningen onder de naam Multimodaal voorspellend verkeerssysteem (MVVS). De aanleiding is de grootschalige ombouw van de snelweg A7 bij Groningen, waarbij meermalig grote delen van het wegennet zijn afgesloten. Om Groningen bereikbaar te houden, heeft het samenwerkingsverband Groningen Bereikbaar behoefte aan een model om de huidige situatie in beeld te brengen en het verkeer bij te kunnen sturen. Het modelsysteem biedt hier een goede oplossing voor, omdat Groningen Bereikbaar hiermee een instrument in handen heeft dat geschikt is om maatregelen voor de korte termijn door te rekenen en de resultaten te kwantificeren.

Bij het ontwikkelen van het model is rekentijd een belangrijk aandachtspunt. Elke 5 minuten wordt een nieuwe berekening gemaakt. Daardoor moeten sommige aspecten vereenvoudigd worden. Een voorbeeld hiervan is dat de routeset nu een keer per dag wordt bepaald. Ook de matrix wordt nu op een beperkt aantal telpunten gekalibreerd, terwijl meer data beschikbaar is. Een frequentere en uitgebreidere routesetbepaling en matrixkalibratie vergroot de nauwkeurigheid van het model. Momenteel wordt onderzocht hoe dit binnen de beschikbare rekentijd te realiseren is.

1. Inleiding

Balanceren tussen bereikbaarheid en leefbaarheid, terwijl de omstandigheden continu wijzigen. Geen dag is hetzelfde en actie is reactie: hoeveel kan je bufferen aan de rand van de stad om de leefbaarheid te vergroten, zonder dat dit tot onbereikbaarheid of ongewenst sluipverkeer leidt?

De afgelopen jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest rondom verkeersmanagement. Zowel de databeschikbaarheid als de technische mogelijkheden om verkeer te sturen zijn sterk toegenomen. Tegelijk is ook een verschuiving te zien in de beleidsfocus van verkeersmanagement. Waar het in het verleden vaak, of zelfs alleen, draaide om gemotoriseerd verkeer, ligt nu steeds vaker de focus op multimodaliteit en een breed spectrum aan beleidsdoelen, zoals leefbaarheid en veiligheid.

Om invulling te geven aan deze vragen, heeft Goudappel de afgelopen jaren een continu, realtime multimodaal verkeersmodel met een prognosehorizon tot een half uur vooruit. Door de integratie van een verkeersmodel met realtime meetdata en de koppeling met een verkeersmanagementsysteem, heeft de wegbeheerder een volledig overzicht van de verwachte verkeersdrukke op het netwerk en kan hij actief (bij)sturen op zijn eigen beleidsdoelen. Zo draagt pro-actief verkeersmanagement bij aan verduurzaming van mobiliteit.

In dit paper beschrijven we de opzet van het verkeersmodel (hoofdstuk 2), de toepassing er van in Groningen (hoofdstuk 3), de behaalde resultaten (hoofdstuk 4) en de conclusies en verder onderzoek met betrekking tot het model (hoofdstuk 5).

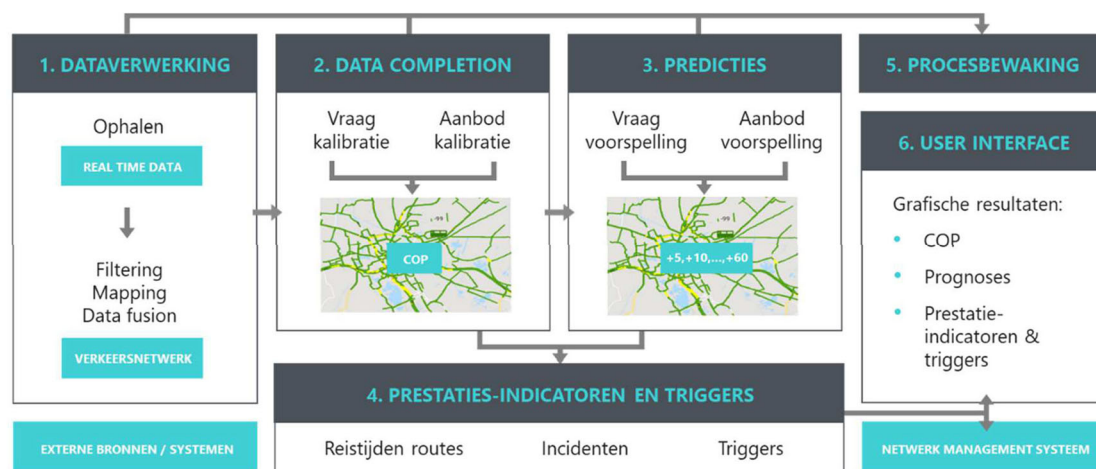
2. Modelsysteem

Een continu, datagedreven verkeersmodel combineert de actuele meetgegevens van snelheden en intensiteiten met de bekende principes van een verkeersmodel, zoals matrixkalibratie en verkeerspropagatie. Elke 5 minuten wordt het proces van dataverzameling, bijschatting en propagatie doorlopen, zodat er een continu, volledig dekkend, beeld is van de verkeersstoestand inclusief een voorspelling van een half uur vooruit.

Het modelsysteem is een hybride vorm van een modelgedreven en datagedreven aanpak. In dit model worden zowel meetgegevens van snelwegen als data van verkeerslichten en floating car data verwerkt en gefuseerd. De verkeersvraag wordt vervolgens gekalibreerd op de telgegevens. De verkeersafwikkeling op wegvakken en geregelde kruispunten wordt gekalibreerd op basis van de snelheidsgegevens. Gelijktijdig wordt ook het beschikbare wegennet aangepast op basis van de informatie uit brugopeningen en wegwerkzaamheden. Op deze manier is een digital twin gecreëerd, die gebruikt kan worden voor een prognose van de verkeersstoestand over een half uur. Het gebruikte verkeersmodel is een macroscopisch dynamisch model, waardoor het mogelijk is om een tijdsafhankelijke toedeling te doen, rekening houdend met de beschikbare capaciteit op het wegennet. Bottlenecks en file-opbouw worden hierdoor op realistische wijze gemodelleerd. Behalve voorspellend is het modelsysteem ook multimodaal. Informatie over het busverkeer, namelijk de actuele posities van bussen inclusief hun vertraging of voorsprong op de dienstregeling, wordt integraal met de (verwachte) verkeersdrukke getoond.

2.1 Opbouw modelsysteem

De globale opbouw van het modelsysteem is grafisch weergegeven in figuur 1. De hoofdcomponenten zijn in de navolgende paragrafen toegelicht.



Figuur 1: Opbouw van realtime verkeersmodellen

2.2 Dataverzameling en -verwerking

Om het verkeersmodel te voeden, worden realtime zes verschillende databronnen ingelezen: FCD, NDW, VLOG, KV1, Melvin en brugopeningen. In de navolgende paragrafen is beschreven wat er met de data wordt gedaan.

FCD

FCD wordt ingewonnen via BeMobile en beschikbaar gesteld via het NDW. Per wegsegment van ongeveer 50-100 meter wordt per minuut een snelheid opgevraagd in het studiegebied. De data wordt opgeslagen en, samen met de intensiteiten uit het NDW, gebruikt voor de kalibratie van de fundamentele diagrammen op de wegvakken. Daarbij wordt, als de gemeten snelheid groter is dan de gemodelleerde snelheid, de capaciteit van een wegvak vergroot om een betere fit te krijgen tussen de gemeten waarde en de gemodelleerde waarde.

Lusdata

Via het NDW wordt op alle bemeten wegvakken in het studiegebied de intensiteit- en snelheidsdata opgevraagd en opgeslagen. Het betreft puntlocaties, dus de dekking is niet volledig. De data wordt zowel gebruikt voor de actuele bijstelling van de fundamentele diagrammen, als voor het bepalen van de historische profielen. De trend die uit de historische profielen wordt bepaald, wordt als een schaalfactor toegepast op de basismatrices van de prognoseperiode. De data uit het NDW wordt daarnaast gebruikt voor de ex-ante kalibratie van de basismatrices.

VLOG

Uit de VLOG data worden intensiteiten en groentijden bepaald. De intensiteiten worden, net als de intensiteiten uit het NDW gebruikt voor het bepalen van de historische profielen en voor de ex-ante kalibratie van de basismatrices. De groentijden worden toegepast om de afwikkeling op de kruispunten in lijn te brengen met de werkelijke verkeersafwikkeling. Hiervoor wordt de groentijd omgerekend naar een groenfractie. De capaciteit wordt vervolgens vermenigvuldigd met de groenfractie.

KV1 en KV6

Vanuit KV1 en KV6 (Koppelvlak 1 en 6) wordt de data van het openbaar vervoer opgevraagd. De data van KV1 bevat de dienstregeling, de data van KV6 de actuele posities van het OV. De data wordt weergegeven op de kaart inclusief de prognose of bussen in- of uitlopen op de dienstregeling.

Melvin

De data van Melvin bevat informatie over geplande wegwerkzaamheden. De actuele werkzaamheden die van invloed zijn op de verkeersafwikkeling, zoals snelheidsbeperkingen en (gedeeltelijke) afsluitingen, worden toegepast op de capaciteit en snelheid in het verkeersmodel. Door deze aanpassingen wordt het verkeer (gedeeltelijk) via andere routes afgewikkeld.

Brugopeningen

Actuele informatie over brugopeningen wordt via het NDW ingewonnen. Net als de wegwerkzaamheden worden de brugopeningen in het verkeersmodel toegepast. Door de

brugopening is een weg in het verkeersmodel tijdelijk niet beschikbaar. Als gevolg hiervan wordt verkeer gedeeltelijk via andere routes afgewikkeld en ontstaat in drukke situaties enige filevorming bij de brug.

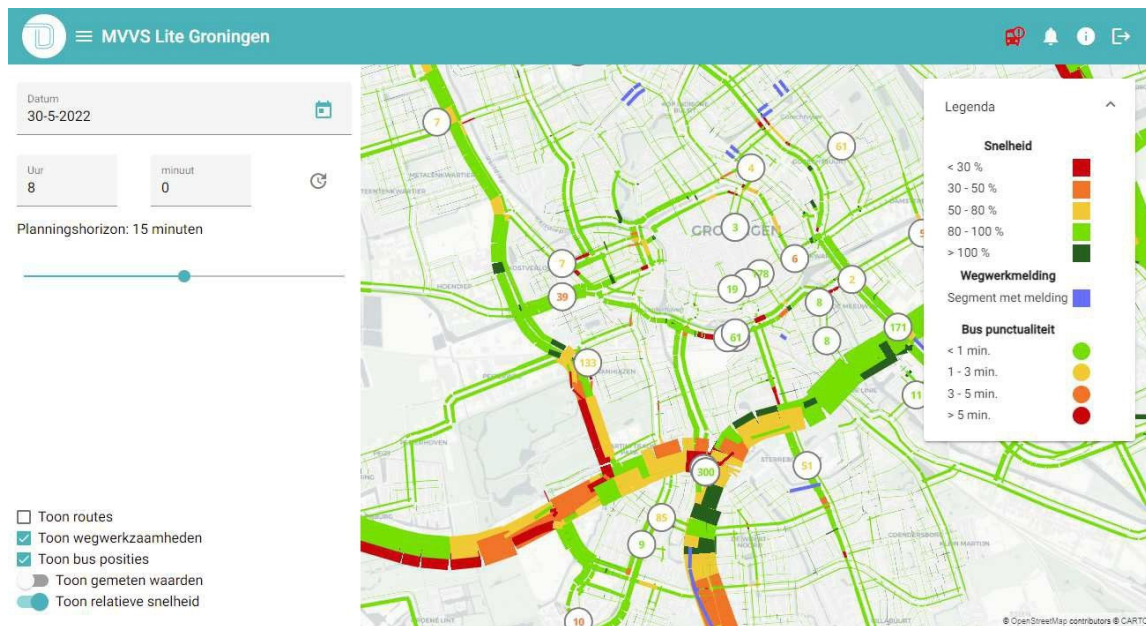
2.3 Modelberekeningen

Na het verzamelen, fuseren en projecteren van de meetgegevens op het modelnetwerk worden de data vergeleken met de basismatrices en de resultaten van de modelrun van de vorige iteratie. Op basis van deze vergelijking wordt de matrix bijgeschaald naar het niveau van de gemeten verkeersintensiteiten. In het netwerk worden de groentijden en capaciteiten aangepast op basis van de gemeten wachtrijlengte en de gemodelleerde wachtrijlengte in de vorige iteratie. Als de gemeten wachtrij langer is dan de gemodelleerde wachtrij, wordt de capaciteit naar beneden bijgesteld en omgekeerd. Met deze aanpassingen wordt een nieuwe dynamische modelrun opgestart. Het startpunt voor de simulatie is de verkeersstoestand, zoals deze in de vorige iteratie is bepaald voor $t+5$ minuten. De modelrun heeft een prognoseperiode van 30 minuten. De modelberekeningen worden uitgevoerd in OmniTRANS met de dynamische toedeelmethodiek MaDAM.

Omdat de rekentijd een belangrijke limitatie is, moet een aantal concessies gedaan worden. Voor de toedeling wordt de routegeneratie a priori bepaald en wordt gebruikt gemaakt van een single shot assignment. In combinatie met een snelle rekencomputer (i9-processor, 32gb ram), is het mogelijk om binnen de vereiste grens van 5 minuten te blijven.

2.4 Uitvoer

Nadat de berekeningen zijn uitgevoerd wordt de data opgeslagen en beschikbaar gesteld voor een web-interface. Een visualisatie van de web-interface is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Visualisatie van web-interface

Daarnaast worden op basis van de berekeningen reistijden berekend op trajecten die door de wegbeheerder kunnen worden gedefinieerd. Bij de reistijden is het mogelijk om grenswaarden in te stellen, waarmee de wegbeheerder getriggerd kan worden als op een traject de reistijd de ingestelde norm overschrijdt. Voor de beoordeling van de kwaliteit van de prognose wordt een aantal netwerkindicatoren bepaald, zoals het aantal wegvakken waarop congestie goed is voorspeld. Alle uitvoer is, in stappen van 5 minuten, voor het komende half uur op te vragen.

De resultaten van de huidige doorrekening worden daarnaast weer als input gebruikt voor de nieuwe modelrun. Het gemodelleerde resultaat van $t+5$ in de huidige run, is de basis voor de run van de volgende iteratie.

3. Toepassing

3.1 Online-module

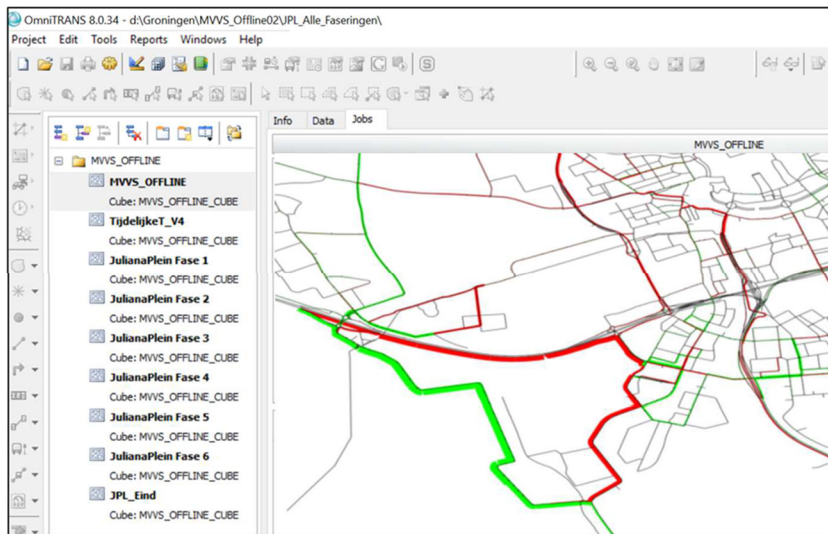
De theoretische ontwikkeling van het modelsysteem is hand in hand gegaan met de toepassing in verschillende projecten. Dit versnelt de ontwikkeling en door de implementatie van nieuwe wensen, is het modelsysteem steeds breder inzetbaar. Het modelsysteem is inmiddels vijf keer geïmplementeerd. Momenteel wordt het modelsysteem toegepast in Groningen, ter ondersteuning van de werkzaamheden bij de ombouw van de zuidelijke ringweg. Het model is ingezet voor zes kortere bouwfaseringsen en recent is de eindversie opgeleverd voor een langdurige fasering. Het model wordt ingezet ter ondersteuning van verkeersmanagement, onder andere bij de wegwerkzaamheden in de komende jaren.

Het modelsysteem wordt toegepast in Groningen onder de naam Multimodaal voorspellend verkeerssysteem (MVVS). De aanleiding is de grootschalige ombouw van de snelweg A7 bij Groningen. De ombouw van de snelweg duurt meerdere jaren, waarbij meermalig grote delen van het wegennet zijn afgesloten. De informatie die het model levert, bestaat onder andere uit een verkeerstoedeling, reistijden over trajecten en vertragingstijden van openbaar vervoer.

Om grip te houden op de verkeersafwikkeling en Groningen bereikbaar te houden, heeft het samenwerkingsverband Groningen Bereikbaar enerzijds behoefte aan een model waarmee de huidige situatie in beeld gebracht wordt en anderzijds behoefte aan een instrument om het verkeer bij te kunnen sturen. Voor het model in Groningen zijn twee nieuwe mogelijkheden toegevoegd: de offline-module en de koppeling met het verkeersmanagementsysteem van Groningen.

3.2 Offline-module

Met de offline-module kan op een moment in de tijd een snapshot van de actuele toestand worden vastgelegd. Deze snapshot kan vervolgens in een offline omgeving worden gebruikt om nadere analyses uit te voeren en meer inzicht te verschaffen in bijvoorbeeld herkomsten en bestemmingen. Het functioneert daarmee als een soort tactisch verkeersmodel. In Groningen wordt de module toegepast om ex-ante het effect van aanvullende maatregelen op bijvoorbeeld sluipverkeer in beeld te brengen. De snapshot wordt in een offline versie van OmniTRANS geladen. In OmniTRANS kunnen vervolgens de gewenste wijzigingen doorgevoerd worden en vergeleken worden met een run op het basisnetwerk. In figuur 3 is een screenshot weergegeven van de mogelijkheden van de module.



Figuur 3: Screenshot van de offline-module onder OmniTRANS

3.3 Koppeling verkeersmanagementsysteem

Door de koppeling aan het verkeersmanagementsysteem van Groningen, is het enerzijds mogelijk om toekomstige wijzigingen mee te nemen in de berekeningen en anderzijds de kwaliteit van de prognoses te verbeteren. De koppeling stelt Groningen in staat om pro-actief maatregelen te nemen, waarbij de modelberekeningen met actuele verkeersmanagementinformatie gevoed worden. De koppeling werkt daarvoor in twee richtingen: vanuit het realtime model naar het verkeersmanagementsysteem worden de berekende resultaten doorgegeven, zowel van de huidige situatie als van de prognoses. De informatie is zowel op wegvakniveau als op niveau van reistijdtrajecten beschikbaar. Vanuit het verkeersmanagementsysteem worden de maatregelen die binnen de prognosehorizon geactiveerd of gedeactiveerd worden aan het realtime verkeersmodel teruggegeven. Een concrete uitwerking hiervan zijn wijzigingen in de groentijden van de verkeersregelingen: als de groentijden, als gevolg van een scenario, in het komende half uur gewijzigd worden, dan wordt dit doorgegeven aan het verkeersmodel. Het verkeersmodel handhaaft de vigerende groentijden tot het geplande moment van de wijzigingen en stelt vanaf dat moment de door het scenario opgegeven groentijd in. De koppeling wordt momenteel geïmplementeerd.

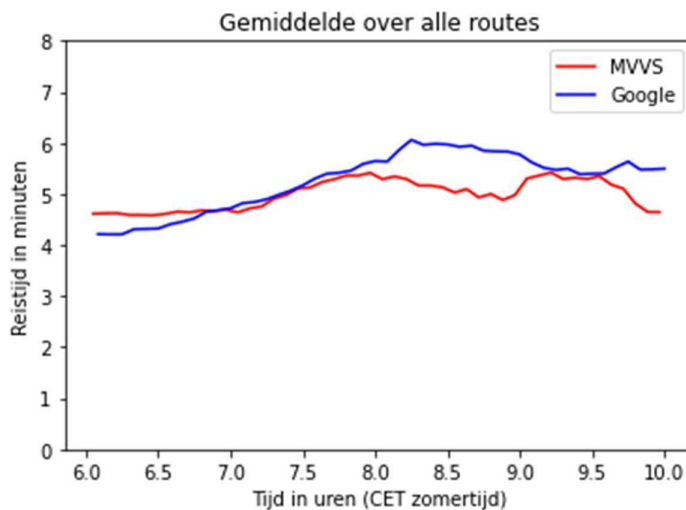
Op de roadmap staat onderzoek naar de mogelijkheid om parallel verschillende scenario's te analyseren. Dit heeft als voordeel dat een kwantitatief onderbouwde afweging gemaakt kan worden over de inzet van de scenario's. De grootste uitdaging daarbij is om deze afweging binnen de beschikbare rekentijd gereed te kunnen hebben.

4. Resultaten

Het verkeersmodel is goed in staat om de huidige situatie en de korte-termijn goed in beeld te brengen. De visualisatie van zowel de snelheid als de intensiteit op het volledige netwerk biedt een grote meerwaarde voor de wegbeheerder om de verkeerstoestand te kunnen beoordelen en visueel te zien waar knelpunten ontstaan. Daarnaast is het van meerwaarde zat zowel het autoverkeer als het openbaar vervoer in een beeld weergegeven wordt. In een aparte lijst zijn de OV-ritten weergegeven die sterk vertraagd zijn.

Tijdens de spitsuren is het model in staat om op circa 70-75% van de bemeten wegvakken de congestie goed te voorspellen, ook in situaties met grote afsluitingen. Met name op de korte wegvakken vlak voor de kruispunten ontstaan verschillen tussen de gemeten afwikkeling en de gemodelleerde afwikkeling. Het model is flexibel om, in geval van grote afsluitingen, het verkeersvolume naar het juiste niveau bij te schalen en via nieuwe routes toe te delen.

Naast de score op netwerkniveau, zijn ook de gemodelleerde reistijden vergeleken met reistijden die door Google worden berekend. Via de API zijn gedurende meerdere dagen de reistijden opgeslagen. Vergelijking van de reistijden laat zien dat de trend goed overeenkomt tussen het verkeersmodel en de werkelijke reistijden. In figuur 4 is een vergelijking tussen de door Google gemeten reistijden en de door het model berekende reistijden weergegeven voor de ochtendspits op 18 mei 2022. Het betreft een (plat) gemiddelde over 20 verschillende trajecten. Op individuele trajecten zijn de verschillen soms groter of kleiner, doordat de vertraging net te vroeg of te laat worden gemodelleerd.



Figuur 4: Vergelijking reistijden 18 mei 2022 (20 trajecten)

De offline-module biedt Groningen Bereikbaar een waardevol instrument om snel inzicht te krijgen in voorgenomen wijzigingen in het netwerk of nieuwe knelpunten uit de praktijk waar snel een analyse op kan worden gedaan en oplossingsrichtingen kunnen

worden verkend. Daarmee is Groningen Bereikbaar geholpen, omdat ze hiermee een instrument in handen hebben dat geschikt is om maatregelen voor de korte termijn door te rekenen en de resultaten te kwantificeren.

Het model is robuust om de verschillende bouwfaserings goed op te kunnen vangen. Het project levert veel ervaringen op hoe omgegaan moet worden met het proces om het model werkend te krijgen en te houden. Het proces vergt bijvoorbeeld dat het verkeersmodel en de datastromen goed voorbereid zijn op deze overgang tussen de faseringen. Ook de verschillende datakoppelingen en de interacties tussen het model en de verschillende datastromen is een belangrijk punt van aandacht: hoe ga je om met uitval van datastromen en welke zijn kritisch voor het model.

5. Conclusies en doorontwikkeling

5.1 Conclusies

De ontwikkeling van het realtime verkeersmodel biedt nieuwe mogelijkheden op het vlak van verkeersmanagement. In de toepassing van het model in Groningen wordt elke 5 minuten een nieuwe berekening gemaakt van de verwachte verkeertoestand, zowel intensiteit als snelheid, van het komende half uur. Dit biedt de mogelijkheid om tot pro-actief verkeersmanagement. In het verkeersmodel worden op reistijdtrajecten triggers afgegeven, waarmee de wegbeheerder geattendeerd wordt op knelpunten. Het model voorziet daarmee in de behoefte van Groningen Bereikbaar.

Door de koppeling tussen het model en het verkeersmanagementsysteem is het mogelijk om automatische triggers af te geven voor de (de-)activatie van verkeersmanagementmaatregelen.

Het model is in staat om binnen 5 minuten een nieuwe rekenslag te maken, waardoor het mogelijk is om een continu model te realiseren. Het vereist momenteel een snelle, dedicated pc om dit te mogelijk te maken.

5.2 Doorontwikkeling

Parallel aan de toepassing wordt gekeken naar meerdere mogelijkheden om het model verder te ontwikkelen. De ontwikkelingen richten zich op verschillende doelen: de technische stabiliteit en beschikbaarheid, kwaliteitsverbetering van bestaande methodes en uitbreiding van de functionaliteiten.

Stabiliteit en beschikbaarheid

Bij een realtime-model wordt elke loop een keten van data-inwinning, verwerking, modelberekening en uitvoer doorlopen. Om de beschikbaarheid van de uitvoer hoog te houden, is stabiliteit van de keten belangrijk. Doorlopend wordt onderzocht hoe elke stap in de keten robuust ontworpen kan worden om de stabiliteit hoog te houden. Ook worden bestaande rekenprocessen tegen het licht gehouden om te onderzoeken of tijd te winnen is door de berekeningen efficiënter uit te voeren.

Kwaliteitsverbeteringen

Bij het ontwikkelen van het model is rekentijd een belangrijk aandachtspunt. Elke 5 minuten wordt een nieuwe berekening gemaakt. Daardoor moeten sommige aspecten vereenvoudigd worden. Een voorbeeld hiervan is dat de routeset nu een keer per dag wordt bepaald. Een alternatieve aanpak is om elke iteratie de kortste route aan de set toe te voegen en niet gebruikte routes uit de routeset te halen. Een ander punt van onderzoek betreft de kalibratie van de verkeersvraag. Hiervoor wordt nu gebruik gemaakt van een beperkt aantal telpunten, terwijl veel meer data beschikbaar is. Een frequentere en uitgebreidere kalibratie vergroot de nauwkeurigheid van verkeersvraag in het model. Hierdoor worden de resultaten van de verkeerstoedeling realistischer en sluit het model beter aan bij de werkelijkheid.

Uitbreidingen

Een van de wensen van Groningen is verdere verbreding van het model met nieuwe modaliteiten, zoals fietsers en voetgangers. Een andere wens is om verschillende verkeersmanagementscenario's parallel door te rekenen en te beoordelen. Dit biedt de verkeersmanager de mogelijkheid om een afweging te maken of en wanneer maatregelen worden ingezet.

Daarnaast wordt ook onderzocht hoe het framework breder ingezet kan worden voor bijvoorbeeld dashboarding van verkeerslichten. Hierbij kan op basis van VLOG continu beoordeeld worden hoe de verkeerslichten functioneel presteren. Ook andere indicatoren uit andere databronnen kunnen worden gemonitord, zoals reistijden.

Een andere verbreding is hoe het model aangepast kan worden naar een volledig datagedreven of juist naar een tactisch verkeersmodel zonder simulatie van de realtime situatie. Bij een volledig datagedreven model wordt het model gevoed met meetgegevens en worden onbemeten wegvakken bijgeschat. Een tactisch verkeersmodel kan ingezet worden voor het doorrekenen van kortetermijn-maatregelen, waarvoor een actueel model nodig is.