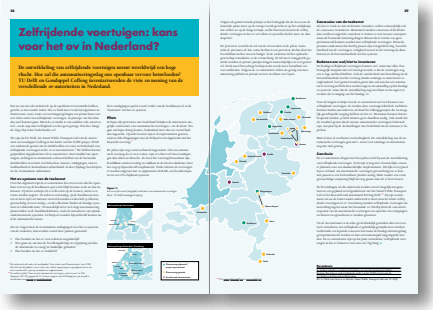
nm magazine

Hét vakblad voor netwerkmanagement in verkeer en vervoer

20e Jaargang
Nr. 3, 2025
nm-magazine.nl

Ook verkeer en vervoer moet weerbaar worden

AL TWINTIG JAAR UW FAVORIETE VAKBLAD



MAAR HEEFT U ZICH OOIT AFGEVRAAGD HOE WE DAT DOEN?

U een gratis journalistiek vakblad sturen? Zonder verkooppraatjes maar met uitsluitend hoogwaardige en diepgaande content? Dat lukt alleen dankzij de partners die u op pagina 3 genoemd ziet. Zij dragen alle kosten om ook deze uitgave op uw mat te laten belanden. Hun doel is prima in lijn met het doel van het magazine: het vakgebied steeds een stapje verder brengen, zodat ons mobiliteitssysteem steeds een beetje beter wordt.

Daar worden we uiteindelijk allemaal – maatschappij en markt – beter van.

Ook partner worden van NM Magazine?
Bel 070 361 76 85 of mail naar redactie@nm-magazine.nl.

nm magazine

MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR:

citg.tudelft.nl | +31 15 278 3179

tmleuven.be | +32 16 317 730

ndw.nu | +31 88 797 3435

tno.nl | +31 88 866 0866

aimtt.nl

goudappel.nl | +31 570 666 222

haskoning.nl | +31 88 348 2000

swarco.com | +31 20 430 3040

technolution.nl | +31 182 594 000

vialis.nl | +31 30 694 3500

4cast.nl | +31 71 513 9122

arane.nl | +31 182 555 030

essencia.nl | +31 70 361 7685

muconsult.nl | +31 33 465 5054

bijstelling.nl | +31 6 489 565 16

ewegh.nl | +31 575 512 341

Colofon

NM Magazine verschijnt drie tot vier keer per jaar. Jaargang 20 (2025), nr. 3.

Formule
NM Magazine is een vakblad over multimodaal netwerkmanagement en slimme mobiliteit. Doel is een onafhankelijk platform te bieden voor de verdere ontwikkeling van het vakgebied, door het informeren over nieuwe ontwikkelingen, het aan de orde stellen van impasses en het faciliteren van discussies. Opvattingen van geïnterviewden en (externe) auteurs zijn derhalve niet per se die van de uitgever.

Uitgever
Stichting NM Magazine
Postbus 61639
2506 AP Den Haag

Bestuur
Prof. dr. ir. Serge Hoogendoorn (*TU Delft*)
Drs. Robert Glebbeek (*Goudappel*)
Edwin Kruiniger (*Essencia*)

Redactie
Prof. dr. ir. Serge Hoogendoorn (*TU Delft*)
Ing. Paul van Koningsbruggen (*Technolution*)
Edwin Kruiniger (*Essencia*)
Prof. dr. Henk Meurs (*Radboud Universiteit, MuConsult*)

Productie
Essencia Communicatie, Den Haag

Medewerkers
Arjan Doeleman (*vormgeving*)
Ropp Schouten (*vormgeving*)

Abonnementen
NM Magazine wordt in Nederland en België kosteloos verspreid onder de doelgroep. Aanvragen voor of wijzigingen van een 'papieren' abonnement kunt u doorgeven via abonnementen@nm-magazine.nl, onder vermelding van NAW-gegevens en functie/werkveld.

Advertenties
Reserveringen: tel. +31 70 361 7685.

Copyright
© 2025 NM Magazine. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Disclaimer
Hoewel de gegevens in dit magazine met grote zorgvuldigheid zijn bijeengebracht, aanvaardt de uitgever geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolledigheden.

ISSN 1875-2179

Save the date

CONGRES AANPAK SLUIPVERKEER MET INRIJVERBODEN

Worstelt uw gemeente met overlast door sluipverkeer? Staan uw wegen vast en klagen uw bewoners over hun leefbaarheid en is de bereikbaarheid in het geding? Vijfheerenlanden heeft dit sluipverkeer weten te weren.

Wij tonen bestuurders en beleidsadviseurs graag onze aanpak met inrijverboden en camerahandhaving. In een gevarieerd middagprogramma behandelen we verschillende thema's die een rol spelen bij een succesvolle aanpak.

DATUM	**Woensdag 21 januari 2026**
TIJD	**13.30 – 17.30 uur**
LOCATIE	**Theaterzaal Helsdingen Sport en Cultuur, Westelijke Parallelweg 1 Vianen**

AANMELDEN?
Stuur een mail naar sluipverkeer@vijfheerenlanden.nl met de naam van uw organisatie, uw functie en eventuele dieetwensen (i.v.m. borrel). Graag elke persoon apart aanmelden. Na aanmelding ontvangt u meer informatie over het programma.

Nieuwsgierig naar onze aanpak? Kijk alvast op vijfheerenlanden.nl/inrijverboden.

REDACTIONEEL

In deze uitgave veel aandacht voor weerbaarheid. Het waarom hoeven we niet uit te leggen: ons mobiliteitssysteem is een 'essentiële dienst' die bescherming verdient. En ook steeds meer bescherming nódig heeft. Alleen al de klimaatverandering kan zorgen voor stevige problemen, zoals overstromingen en bosbranden. Denk ook aan de dreiging van hybride oorlogvoering. Kort geleden werd er een stuk spoor in Polen opgeblazen en boven onze vliegvelden wemelt het inmiddels van de drones. Dat soort incidenten hebben we lang niet voor mogelijk gehouden.

Vandaar dus een mooie serie artikelen, van pagina 8 tot en met 22. Plus nog twee min of meer gerelateerde artikelen: over klimaatrechtvaardigheid en over een nieuw evacuatiemodel. Maar zoals bij het lezen ervan snel duidelijk zal worden, zal er nog heel wat water door de Rijn vloeien, eer we ook maar op de helft zijn van wat er nodig is. Dan mogen we wel een stok achter de deur hebben in de vorm van Europese en nationale wetgeving, maar hoe moet dat in een tijd waarin er vooral bezuinigd wordt?

Het zal er vooral om spannen of we de 'ervaren' noodzaak op peil kunnen houden. Met een oorlog op ons continent en het boekje *Bereid je voor op een noodsituatie* op de deurmat moet dat wel even lukken, maar voor hoelang? Als het voor zoveel mensen al lastig is om te geloven dat het klimaat écht verandert, hoe moet het dan met de gedachte dat we weerbaar moeten zijn?

Aan ons vakgebied de schone taak om weerbaarheid voortvarend op te pakken. Uiteindelijk zal het vooral neerkomen op een omslag in denken: niet langer puur op kostenefficiëntie mikken, maar (ook) op weerbaarheid. En net zoals we bij het bouwen van onze intelligente vervoerssystemen al werken met *privacy by design* en *security by design*, zo zullen we – voor ITS én de fysieke infrastructuur – moeten werken met *resiliency by design*.

Voor specifiek verkeers- en netwerkmanagement biedt dat ook kansen: we kunnen verder bouwen op onze al mooie basis van gebiedsgericht ingrijpen.

Werk aan de winkel dus!

De redactie — redactie@nm-magazine.nl

in dit nummer

8
Ook verkeer en vervoer moet weerbaar worden

12
Hoe meten en modelleren we weerbaarheid?

14
Hoe houden we ons wegennetwerk weerbaar?

17
Reactie Serge Hoogendoorn, TU Delft

18
Weerbaarheid van het ov: de metro in Amsterdam

20
Ook ITS moet weerbaar(der) worden

26
Iedereen mee – juist nu het klimaat verandert

28
Evacueren in 3D: verkeerskunde toegepast voor veiligheid

29
De impact van het automatische voertuig

30
Mobiliteit door andere ogen

32
Beter voorspellen met Long Short-Term Memory

en verder

6 **Kort nieuws/Agenda**
25 **Column Raymond Jansen**
35 **Projectnieuws**

Robobus op openbare weg in Leuven

Sinds 11 september 2025 rijdt in Leuven een zelfrijdende bus door het gewone verkeer. Het is het eerste proefproject in België met automatische voertuigen op de openbare weg.

De bus van het Chinese WeRide rijdt over een acht kilometer lang traject tussen de stations van Leuven en Heverlee. De robobus rijdt tussen het overige verkeer en moet dus interacteren met auto's, fietsers en voetgangers. Hiertoe is het voertuig uitgerust met twintig sensoren en slimme, voorspellende software.

Om de veiligheid te waarborgen rijdt tijdens de proef nog een chauffeur mee. Passagiers zijn nog even niet welkom. Afhankelijk van de resultaten van de proef mogen die waarschijnlijk vanaf januari 2026 instappen.

Negentien overheden tekenen vernieuwde samenwerkingsovereenkomst NDW

Negentien overheden hebben donderdag 30 oktober 2025 in Amersfoort de vernieuwde samenwerkingsovereenkomst met het Nationaal Dataportaal Wegverkeer, NDW, feestelijk ondertekend. Daarmee is de toekomst voor de gemeenschappelijke inwinning en ontsluiting van mobiliteitsdata voor de komende jaren geborgd.

Het NDW zet zich al zeventien jaar in om informatie van en over het wegverkeer bij de eindgebruikers te krijgen – overheden, publieke en private dienstverleners en uiteindelijk de reiziger.

De symbolische ondertekening op een tekenbord markeerde een volgende fase in de samenwerking van de wegbeheerders van rijk, provincies, de vier grote gemeenten, Metropoolregio Rotterdam Den Haag en de Vervoerregio Amsterdam.

Noord-Holland test inzet drones bij incidenten

Provincie Noord-Holland wil op termijn drones inzetten bij een pech- of ongeval. Die kunnen snel ter plaatse zijn en livebeelden delen met de meldkamer en verkeerscentrale. Een eerste test vond afgelopen 21 november 2025 plaats.

Die dag werd voor het eerst buiten het zicht van de dronepiloot gevlogen tijdens een proef rond de Kooybrug in Den Helder. De komende maanden vinden er opnieuw proefvluchten plaats rondom de Kooybrug, de N9, N99, N250 en het Noordhollandsch Kanaal in Den Helder.

Tijdens die vluchten bedienen gecertificeerde dronepiloten de drone via een computer. Het idee is dat met goede beelden vanuit de lucht de wegbeheerder sneller en beter kan inschatten wat nodig is om het incident vlot en veilig af te handelen. Denk aan het oproepen van een bergingsauto of het inschakelen van een wegdekreiniger als er bijvoorbeeld olie op de weg ligt.

De proef duurt tot april 2026 en wordt uitgevoerd door de provincie, Rijkswaterstaat en NDW.

AGENDA

21 januari 2026
Congres Aanpak Sluipverkeer
▸ Vianen
Congres georganiseerd door gemeente Vijfheerenland over hun succesvolle aanpak van sluipverkeer met inrijverboden.
sluipverkeer@vijfheerenlanden.nl

10-13 maart 2026
Intertraffic Amsterdam
▸ Amsterdam
Internationale beurs over mobiliteit, infrastructuur, verkeersmanagement, verkeersveiligheid en parkeren.
intertraffic.com/amsterdam

11 maart 2026
PLATOS Colloquium
▸ Zeist
De alweer 25e conferentie over verkeers- en vervoermodellen: een jubileum. Een mooie gelegenheid om terug te blikken en vooruit te kijken.
platos-colloquium.org

TrafficQuest komt met nieuwe *Verkeer in Nederland*

TrafficQuest, een samenwerkingsverband van Rijkswaterstaat, TU Delft en TNO, heeft voor de twaalfde keer z'n *Verkeer in Nederland* gepubliceerd.

Deze jaarlijkse uitgave geeft een bondig overzicht van de verkeerscijfers, -thema's, -onderzoeken en -congressen van het afgelopen jaar. Dit keer is er onder meer aandacht voor de impact van het automatische voertuig op autoafhankelijkheid, de veerkracht van het mobiliteitssysteem en 'zilveren mobiliteit'.

Abonnees van NM Magazine in Nederland hebben het 100 pagina's tellende boekje gratis bij hun magazine ontvangen. Andere lezers kunnen de uitgave als pdf downloaden op www.traffic-quest.nl of www.nm-magazine.nl/download.

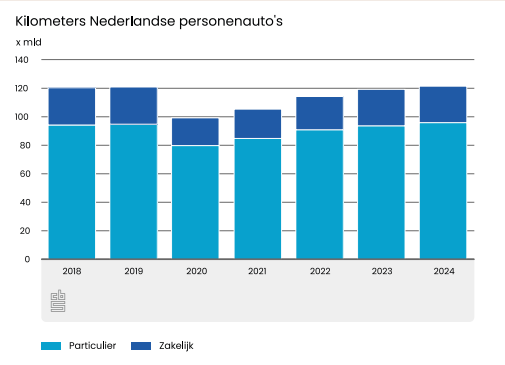
EU ondersteunt upgrade verkeersinformatie-diensten met TISGRADE

In november is het project TISGRADE van start gegaan: *Traffic Management Information Services Upgrade Europe*. Het doel van dit door de EU gesubsidieerde project is om de verkeersinformatiediensten in Europa beter op elkaar af te stemmen en verder te verbeteren.

TISGRADE heeft een totaalbudget van 27,5 miljoen euro. De coördinatie ligt bij het Nationaal Dataportaal Wegverkeer (NDW). In totaal nemen 54 partners uit twintig EU-lidstaten en Noorwegen deel, waaronder nationale, regionale en lokale wegbeheerders (ook diverse Nederlandse), *National Access Points* (NAP's) en toonaangevende Europese serviceproviders.

Om te zorgen voor een brede beschikbaarheid van betrouwbare en hoogwaardige real-time verkeersdata, richt TISGRADE zich op de grootschalige implementatie van systemen voor dataverzameling, de digitalisering van verkeerscirculatieplannen en tijdelijke verkeersmaatregelen, en de inzet van hulpmiddelen en processen voor datakwaliteitscontrole.

Voor het eerst meer auto-kilometers dan voor corona



In 2024 reden Nederlandse personenauto's bijna 122 miljard kilometer in binnen- en buitenland. Dat is 2,3 procent meer dan een jaar eerder, en voor het eerst meer dan in 2019, vóór de coronapandemie. Dit meldt het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) op basis van extra onderzoek bij nieuwe cijfers over voertuigkilometers.

Nederlandse personenauto's reden in 2024 samen 726 miljoen kilometer meer dan voor de pandemie (+0,6 procent). Gemiddeld per auto werd er juist 5,7 procent minder gereden dan voor de pandemie. Dat de totale kilometers toch toenemen, komt doordat er meer auto's zijn. Er waren in 2024 9,9 miljoen auto's in gebruik, tegenover 9,3 miljoen in 2019.

AGENDA

12 maart 2026
Vakbeurs Openbare Ruimte
▸ Brussel
Alles over ontwerp, inrichting, onderhoud en beheer van openbare ruimte. Inclusief mobiliteit, bouw en infra.
openbareruimte.be

9 april 2026
Nationaal Verkeersveiligheidscongres
▸ Hilversum
Tweejaarlijkse evenement voor iedereen die zich actief inzet voor de verkeersveiligheid, van wegbeheerders tot onderzoeker en adviseur.
nvvc-congres.nl

3-4 juni 2026
Nationaal Fietscongres
▸ Zwolle
Al sinds 2012 hét congres voor fietsprofessionals uit Nederland en België.
nationaalfietscongres.nl

Foto: Patricia Hofmeester

Ook verkeer en vervoer moet weerbaar worden

Overvolle stroomnetten, klimaatverandering, toenemende internationale dreigingen – en dat in combinatie met een mobiliteitssysteem dat qua capaciteit redelijk aan z'n maximum zit. Onder deze omstandigheden is het wachten op problemen. Wat hieraan te doen? De dreigingen wegnemen gaat onze verkeerspet te boven, maar het systeem *weerbaar en veerkrachtig* maken is wel een taak voor wegbeheerders en verkeersmanagers. Dat móét ook, leren we in deze uitgave van NM Magazine.

Bosbrand Veluwe, 12 augustus 1995. Vrachtauto's en personenwagens rijden bij Kootwijk ineens een dikke mist van rook in. Al snel slaan de vlammen over het asfalt. Auto's maken rechtsomkeert en rijden tegen de verkeersrichting in terug. De A1 tussen Hoevelaken en Beekbergen wordt tot laat in de avond afgesloten voor verkeer.

Terroristische dreiging, 27 september 2001. Het leger en de politie sluiten vanwege mogelijke aanslagen de Coen- en Zeeburgertunnel in Amsterdam en de Benelux- en Botlektunnel in Rotterdam af.

Hoog water Limburg, 13 juli 2021. Door hevige regenval ondervinden verschillende dorpen en steden wateroverlast. Honderden mensen worden geëvacueerd, de A79 staat blank. Enkele dagen later moet ook de A2 urenlang op slot.

Stroomstoring, 29 september 2025. Wegkantsystemen in Midden-Nederland vallen uit. Spitsstroken op de A12, A27 en A28 kunnen niet open. Rond half negen staat er op de A28 van Zwolle naar Utrecht meer dan 22 kilometer file.

Drones, november 2025. Het regent meldingen van drones in België en Nederland. Ze worden waargenomen in het havengebied Antwerpen, bij militaire bases, de kerncentrale Doel en boven de vliegvelden van Brussel, Luik en Eindhoven. Het wegverkeer ondervindt er nog weinig hinder van, maar het vliegverkeer des te meer.

Maatregelen

Deze kleine bloemlezing maakt goed duidelijk dat ons vervoerssysteem veel meer onregelmatigheden te verstouwen kan krijgen dan alleen ongevallen en wegwerkzaamheden. Overstromingen, brand, stroomuitval, terroristische dreigingen en zelfs acties door vreemde mogendheden – ze kunnen de doorstroming op onze wegen uren en soms wel dagen ernstig verstoren.

Natuurlijk volgen na elk groot incident rapporten en worden maatregelen genomen om de put te dempen. Na de brand langs de A1 bijvoorbeeld zijn langs verschillende trajecten brede stroken boomvrij gemaakt, zodat bij een nieuwe brand de vlammen niet meer zo makkelijk de weg bereiken. En na zeer hoge waterstanden en (bijna-) overstromingen in Nederland in 1993 en 1995 – die verstoringen waren nog wat erger dan de overlast in Limburg die we hierboven noemden – is *Ruimte voor de Rivier* opgezet om hoog water in onze rivieren beter op te kunnen vangen.

Die oplossingen hebben absoluut hun nut. De vraag is alleen of het genoeg is. Door overvolle stroomnetten, klimaatverandering en internationale dreigingen is de kans op (zeer) ernstige problemen alleen maar toegenomen. Dus nee, we zijn er nog niet.

Dat was in de jaren 2020 reden voor de Nederlandse overheid om de zaken grootser, breder, samenhangender en vooral ook proactiever aan te pakken. Daarvoor werd *De Veiligheidsstrategie voor het Koninkrijk der Nederlanden* 2023-2029 uitgewerkt en in april 2023 aan de Tweede Kamer aangeboden.[1] Het bijbehorende rapport bevat een opsomming van alle dreigingen – van terrorisme tot infectieziekten en alles daartussen – en beveelt acties aan als 'Intensiveren klimaatmitigatie en -adaptatie' en 'Beter beschermen van de vitale infrastructuur', waaronder ook ons wegennet.

Europese richtlijn

Dat klinkt goed, maar een 'strategie' wil nog wel eens stranden in goede voornemens. Gelukkig hebben we Europa nog: die kwam min of meer tegelijk, in 2022, met de EU 2022/2557, de *Critical Entities Resilience Directive*, kortweg CER-richtlijn. De lidstaten van de EU moeten deze richtlijn 'vertalen' naar nationale wetgeving en vanaf 2026 laten ingaan.

1 Zie www.rijksoverheid.nl/veiligheidsstrategie.

Foto: Eric Gevaert

In Nederland krijgt de richtlijn vorm als de *Wet weerbaarheid kritieke entiteiten*, Wwke. Deze is op 4 september 2025 besproken in een commissievergadering van de Tweede Kamer. Het streven is om de wet in de eerste helft van 2026 in te laten aan. Naast de Wwke komt er ook het Bwke: het *Besluit weerbaarheid kritieke entiteiten*. Die is meer gericht op de praktische uitvoering van de Wwke.

België is iets minder ver, maar heeft al wel een eerste wetsontwerp voor omzetting van de CER-richtlijn in Belgische wetgeving goedgekeurd.

Met de CER-richtlijn en de nationale 'vertalingen' is er nu dus ook een juridisch – lees: dwingend – kader voor het uitvoeren van bijvoorbeeld die *Veiligheidsstrategie*.

Opzet CER-richtlijn

Hoe steekt de CER-richtlijn in elkaar en, meer specifiek, hoe raakt dat ons vakgebied? De EU onderscheidt elf sectoren die verdere bescherming behoeven – zie de figuur op de bladzijde hiernaast. De sectoren Energie en Vervoer zijn dermate divers, dat die in deelsectoren zijn verdeeld. Voor Vervoer zijn dat Lucht, Spoor, Water, Weg en Openbaar vervoer.

Voor elk van die (deel)sectoren benoemt de richtlijn een of meer *kritieke entiteiten*: de partijen die verantwoordelijk zijn voor de weerbaarheid van de betreffende sector. Zij moeten toezien op de *essentiële diensten*, gedefinieerd als 'diensten die van cruciaal belang zijn voor de instandhouding van vitale maatschappelijke functies, economische activiteiten, de volksgezondheid en openbare veiligheid of het milieu'. De kritieke entiteiten moeten deze diensten beschermen tegen uitval door ze bestand te maken tegen bijvoorbeeld hevige regenval (= voorkomen). Ook moeten ze de diensten zo opzetten dat als een dienst toch geraakt worden, de schade beperkt blijft (= robuust maken) en de dienst zo snel mogelijk weer 'als vanouds' kan functioneren (= veerkrachtig maken).

Wegvervoer

Voor ons vakgebied is de deelsector Weg van de sector Vervoer natuurlijk interessant. Hiervoor zijn twee kritieke entiteiten aangewezen: de wegenautoriteiten verantwoordelijk voor het ***verkeersbeheer*** (in het Engels *traffic management control*) en de exploitanten van ***intelligente vervoerssystemen*** (*intelligent traffic systems*, ITS).

Dat is een interessant gegeven. Met deze twee entiteiten erkent de CER-richtlijn dat niet slechts het fysiek beschermen en berijdbaar houden van wegen, bruggen, tunnels enzovoort belangrijk is, maar dat ook alle services eromheen bescherming verdienen. Dat is niet meer dan terecht: die services zorgen er immers voor dat het verkeer ordelijk, veilig en vlot kan stromen. Verkeersmanagement en ITS zijn zelfs prima instrumenten om de fysieke infrastructuur (extra) weerbaar te maken: ze kunnen ons helpen een eventuele uitval van wegen, tunnels enzovoort beter op te vangen.

Opvallend is ook dat de richtlijn bij het verdelen van de verantwoordelijkheden niet kijkt naar eigendom ('van wie is de weg?'), zoals in Nederland de Wegenwet doet. De CER-richtlijn gaat juist uit van de *functie*: wie beheert of managet de verkeersstromen en wie zet ITS in? Daarmee is de blik vanzelf netwerkbreed en gericht op samenwerking. Zowel verkeersmanagement als ITS houden immers niet op bij 'eigendomsgrenzen'. Zo kan ook het werken aan weerbaarheid zich niet beperken tot bijvoorbeeld de wegen die van het rijk zijn, maar zal het zich moeten uitstrekken tot provinciale en belangrijke gemeentelijke stroom- en ontsluitingswegen. Juist op het meer regionale en bovenregionale niveau leiden verstoringen het snelst tot ontwrichting en cascade-effecten. Vanuit weerbaarheid geredeneerd zijn *netwerkmanagement* en een *gebiedsgerichte aanpak* dus van groot belang.

Extra dimensie

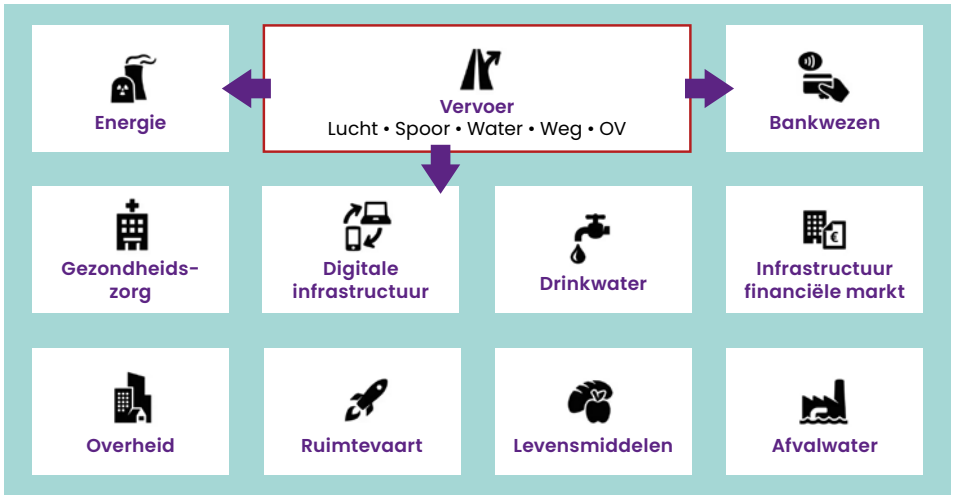
Met die gebiedsgerichte benadering hebben we als vakgebied gelukkig de nodige ervaring, maar het aspect weerbaarheid voegt daar wel een extra dimensie aan toe. Het huidige verkeersmanagement is bijvoorbeeld erg gericht op het maximaal benutten van de wegen die er zijn. Maar hoe verhoudt zich dat tot de gewenste robuustheid, dat het systeem tegen een stootje moet kunnen? Heb je dan niet juist wat ruimte en redundantie nodig? Of kunnen we met hetzelfde verkeersmanagement die ruimte juist creëren als de nood aan de man is? De focus ligt nu nog erg op de reguliere omstandigheden – en hooguit op de situatie tijdsens wegwerkzaamheden en evenementen. Duidelijk is dat we die blik moeten verruimen naar ook *extreme* omstandigheden.

Een andere vraag is hoe we én de infrastructuur én de voorzieningen voor verkeersbeheer en ITS moeten beschermen. Beschermen kost (groot) geld, dus dat lukt niet ineens. Traditioneel zou je dan maatregelen uitwerken, prioriteren – op basis van modelmatige berekeningen van de *kans* op een incident en de *impact* ervan – en stap voor stap doorvoeren. Die rationale aanpak past goed bij 'onintelligente' dreigingen, zoals overstromingen als gevolg van klimaatverandering. Maar we krijgen ook steeds meer te maken met 'intelligente' dreigingen uit landen die ons minder goed gezind zijn. Daar valt nauwelijks tegenop te prioriteren: als ze kwaad willen en het ene gat is dicht, dan gaan ze gewoon op zoek naar het andere gat. Dus hoe vlieg je dat aan?

En let wel, we doen tot nu toe alsof we in de deelsector wegvervoer onze eigen boontje kunnen doppen. Voor het beteugelen van veel dreigingen zijn we echter ook afhankelijk van de maatregelen in andere sectoren. We noemden bijvoorbeeld stroomuitval als een mogelijke bedreiging voor het wegverkeer. De oplossing daarvoor ligt voor een belangrijk deel bij de sector *Energie*. Voor verkeersmanagement en ITS zijn we ook afhankelijk van de sector *Digitale infrastructuur*, voor onder meer glasvezelverbindingen, 4G/5G en GPS. En bij vervoer komt steeds vaker het *Bankwezen* om de hoek kijken: om tolwegen te betalen, voor het parkeren, het gebruik van deelauto's en, in de deelsectoren Spoor en Openbaar vervoer, om met de trein, tram, bus en metro te reizen. Verkeer weerbaar

Foto: Andrew Balcombe

Foto: Henk Hulshof



Figuur 1:
De sectoren die volgens de CER-richtlijn aan weerbaarheid moeten werken. Deze sectoren opereren niet in een vacuüm. Om bijvoorbeeld het wegverkeer goed te laten functioneren, zijn er niet alleen maatregelen in de 'eigen' sector Vervoer nodig, maar ook in de sectoren Energie, Digitale infrastructuur en Bankwezen.

maken bestrijkt dus minimaal vier sectoren van de CER-richtlijn. Zie ook bovenstaande figuur.

Leeswijzer

Het is dus om meerdere redenen een enorme en vooral ook complexe uitdaging om aan weerbaarheid te werken. Wat dat aangaat is het alleen maar goed dat er al een *Veiligheidsstrategie* is én dat er een Europees juridisch kader is als stok achter de deur. Beide zijn bovendien domein- en sectoroverstijgend en dragen alleen al om die reden bij aan de broodnodige afstemming, samenwerking en 'leren van elkaar'.

Natuurlijk staan we pas aan het begin van een ongetwijfeld langdurig proces. Het is ook nog even afwachten hoe Nederland en België vanaf volgend jaar precies uitvoering gaan geven aan de *Wet weerbaarheid kritieke entiteiten*. Er wordt in ieder geval al druk over vergaderd en overlegd, in Nederland onder meer aan een nieuwe *Weerbaarheidstafel*. Veel is vertrouwelijk – niet verwonderlijk gelet op die meer 'intelligente' dreigingen – maar veel is ook gewoon nog onduidelijk.

Toch willen we in deze uitgave bij het thema stilstaan. Juist omdat het de komende tijd nog voor veel hoofdbrekens en werk zal zorgen. Ook al weten we nog niet precies van de hoed en de rand, dan is het toch belangrijk het onderwerp op z'n minst verkend te hebben.

Daarom hebben we een mooie serie artikelen, *verkenningen*, voorbereid. Om te beginnen verdiepen we ons op *pagina 12 en 13* verder in het begrip weerbaarheid: wat verstaan we er precies onder en hoe meet dan wel modelleer je het?

Op *pagina 14 tot en met 16* gaan we in op wat de kritieke entiteiten 'verkeersautoriteiten' op hun bordje krijgen: naast assetmanagementverantwoordelijkheden dus ook verkeersmanagement. Over de rol van de 'ITS-exploitanten' komen we te spreken op *pagina 20 tot en met 22*. Vooral dit deel raakt andere sectoren.

Op *pagina 18 en 19* maken we een uitstapje naar het Spoor en het Openbaar vervoer, met als casus de metro van regio Amsterdam. Hoe hangt de vlag in deze deelsector?

En op *pagina 17* blikt hoogleraar Serge Hoogendoorn alvast vooruit naar wat de wetenschap ziet als *vervolg* op weerbaarheid, namelijk antifragiliteit.

Daarmee schetsen we een beeld van de opgave die we er de komende jaren bij krijgen. Gelet op de omvang ervan zal het zeker niet de laatste keer zijn, dat we het in NM Magazine over weerbaarheid hebben. Maar dat doen we graag. *The times they are a-changin'* – dus het vakgebied moet mee. ●

De auteurs
Ing. Paul van Koningsbruggen is directeur Mobiliteit bij Technolution en redacteur van NM Magazine.
Ir. Job Birnie is senior adviseur Verkeersmanagement bij Goudappel.

Hoe meten en modelleren we weerbaarheid?

We hebben allemaal wel een beeld bij 'de weerbaarheid van ons wegennetwerk'. Maar wat bedoelen we precies? Hoe maak je die weerbaarheid objectief? Welke indicatoren zijn gangbaar? En vooral: hoe kun je de weerbaarheid meten, analyseren en modelleren?

Wat is weerbaarheid in de context van een wegennetwerk? De Europese CER-richtlijn, de *Critical Entities Resilience Directive*, definieert het begrip als het vermogen om een incident te *voorkomen* – en als het incident toch gebeurt de impact ervan te *beperken* en er snel weer van te *herstellen*.

Dat beperken en herstellen kunnen we visualiseren met de grafiek in figuur 1. Deze geeft de operationele toestand van een wegennetwerk over de tijd weer. Links zien we dat het netwerk normaal functioneert: er zijn wel fluctuaties, maar die zijn beperkt. Maar dan gebeurt er een groot ongeval en valt een belangrijke verkeersader uit. De operationele toestand zakt meteen flink in: in onze grafiek presteert het netwerk nog maar op zo'n 20 procent. Zodra de weg weer vrij is of de vervoersvraag afneemt, zet het herstel in en keert de operationele toestand weer geleidelijk naar normaal.

Bij dit verloop hoort de volgende terminologie. De mate waarin het wegsysteem zijn functie behoudt na een verstoring (incident), noemen we de ***robuustheid*** van het wegennetwerk. De snelheid waarmee het netwerk terugveert, heet de ***veerkracht***. Met ***weerbaarheid*** doelen we op het geheel: de complete 'driehoek' van inzakken tot 'terug bij normaal'.[1]

Indicatoren

Die weerbaarheid kunnen we op verschillende manieren getalsmatig uitdrukken, namelijk met:

- de totale *extra reistijd* die het gevolg is van de verstoring;
- het totaal aantal *extra afgelegde kilometers*;
- of de totale *extra kosten* door de verstoring.

Bij dat laatste zetten we de extra reistijd en de extra afgelegde kilometers om naar geld (euro's) met behulp van een tijdwaardering en kosten per kilometer.

Deze drie indicatoren zijn omgekeerd evenredig met de weerbaarheid: als de weerbaarheid minder is, zijn de waarden van de indicatoren juist groter. Dat geldt ook voor de driehoek in de grafiek – hoe lager de weerbaarheid, hoe groter de oppervlakte.

Verstoringen

Dan nog de verstoringen of incidenten. Die zijn er uiteraard in verschillende vormen. Ze kunnen regulier zijn of niet-regulier, en voorzien of onvoorzien. De frequentie of *kans* op een bepaalde verstoring kan behoorlijk uiteenlopen, net als het *gevolg*: die is kortdurend of juist langdurig en zorgt lokaal dan wel netwerkbreed voor problemen.

Wat weerbaarheid betreft, is het gevolg trouwens belangrijker dan de kans. We spreken dus ook van een lage weerbaarheid als een incident die slechts zelden voorkomt – een overstroming bijvoorbeeld – toch een enorme impact zou hebben. De kans op een bepaald type incident wordt wel gebruikt om eventuele 'weerbaarheidsmaatregelen' te prioriteren: hoe groter de impact (= kans x gevolg) hoe belangrijker het is daar maatregelen te treffen.

Meten...

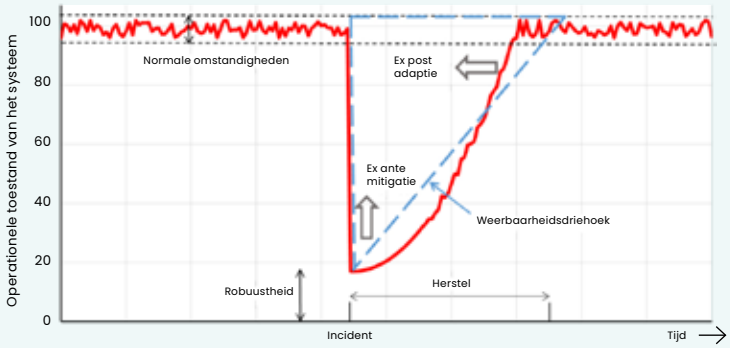
Voor het meten van het gevolg is het belangrijk te weten of het een lokale of juist een netwerkbrede verstoring betreft. Een groot ongeval zou bijvoorbeeld lokaal zijn, terwijl een storm misschien wel over het hele land trekt.

Om de effecten van een *lokale* verstoring in kaart te brengen, moeten we de volgende effecten achterhalen:

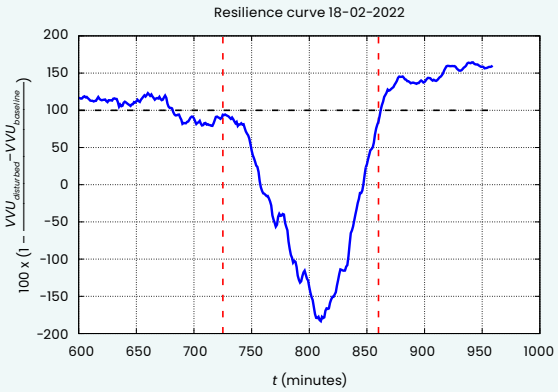
1) de fileopbouw richting de (deels) afgesloten weg;
2) de fileterugslag naar andere wegen;
3) de extra reistijd en kilometers door omrijden;
4) de congestie op alternatieve routes;
5) kijkfiles;
6) de verbeterde doorstroming stroomafwaarts van de verstoring;
7) vraageffecten zoals niet-reizen of het aanpassen van de bestemming, vervoerwijze of het vertrektijdstip.

In 2013 hebben we een methode ontwikkeld om de effecten 1, 2 en 5 van lokale verstoringen automatisch te meten op basis van lusdata (tellingen).[2] Hierbij detecteren we de congestie stroomopwaarts van de (gedeeltelijke) afsluiting en in tegengestelde richting en vergelijken we die met een referentiesituatie zonder verstoring. Vraageffecten (dat er meer of minder verkeer op de weg is vanwege het incident) nemen we impliciet mee. Interessant is dat we deze methode hebben kunnen gebruiken om een groot aantal verstoringen die in het verleden zijn gebeurd, door te rekenen. Zo lukte het ons om de meest kwetsbare locaties in kaart te brengen.

1 In de praktijk wordt veerkracht ook wel gebruikt voor het geheel van inzakken en terugveren (zoals we hier weerbaarheid omschrijven). En ook weerbaarheid krijgt soms per rapport een net iets andere invulling. Bovengenoemde definities sluiten goed aan bij hoe de CER-richtlijn de woorden gebruikt.
2 Snelder, M., Bakri, T., Van Arem, B. (2013). *Delays caused by incidents; a data driven approach*, artikel in *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, nr. 2333, pag. 1-8.



Figuur 1:
De 'weerbaarheids-driehoek' of resilience triangle. Bron: Prof. Michael A.P. Taylor, University of South Australia.



Figuur 2:
Op 18 februari 2022 raasde storm Eunice over Nederland. Met lusdata is automatisch de weerbaarheidscurve (rechts) bepaald.

Maar zoals gezegd zijn er ook *netwerkbrede* verstoringen, zoals een grote storm. Juist omdat de verstoring een groot deel van het wegennetwerk raakt, is het niet mogelijk de gevolgen aan één locatie toe te kennen. We moeten dan het hele deel van het netwerk beschouwen dat door de verstoring wordt beïnvloed.

Voor die uitdaging is recent ook een methode ontwikkeld: op basis van lusdata wordt daarbij automatisch het effect van netwerkbrede verstoringen gemeten (= weerbaarheidscurve wordt bepaald). Figuur 2 geeft een voorbeeld waarbij de weerbaarheidscurve is berekend voor storm Eunice van 18 februari 2022. Hiervoor is lusdata gebruikt van een cordon rondom de storm.

... en modelleren

Als we het effect van lokale en netwerkbrede verstoringen ook willen modelleren, kunnen we toedelingsmodellen gebruiken. Hierbij wordt een toedeling mét verstoring en zónder verstoring (= referentiesituatie) uitgevoerd om zo de extra reistijd en -kosten als gevolg van de verstoring te berekenen. Vraageffecten laten we buiten beschouwing. Afhankelijk van het type toedelingsmodel kunnen we de eerder genoemde effecten 1 tot en met 6 meer of minder goed modelleren.

Voor een goede nauwkeurigheid zouden we idealiter een *dynamisch* toedelingsmodel inzetten, omdat we dan rekening kunnen houden met de duur van de verstoring en ook het herstel kunnen meenemen. Maar deze modellen zijn vaak te langzaam om een groot aantal mogelijke scenario's voor verstoringen 'brute force' of via samplingstechnieken door te rekenen. Daarom leunen we nog altijd zwaar op eenvoudigere analytische methoden, statische toedelingsmodellen en marginale incidentsimulatiemodellen.

Recent hebben we wel een methode ontwikkeld die gebruikmaakt van het *semi*-dynamische toedelingsmodel van het landelijk modelsysteem LMS.[3] Daarmee konden we bepalen welke locaties in het hoofdwegennetwerk het meest kwetsbaar zijn – en dus waar maatregelen om de robuustheid te vergroten, het beste ingezet kunnen worden. Hoewel deze methode al veel inzicht biedt, is het niet mogelijk om er het herstel na verstoringen mee te modelleren. Ook kunnen veel netwerkbrede verstoringen nog niet automatisch worden gegenereerd en doorgerekend.

Hoe verder

We kunnen dus al het nodige meten en modelleren als het gaat om de weerbaarheid van ons wegennet, maar we zijn er nog niet. We hebben zoals gezegd slimme, nieuwe methoden nodig om grote aantallen netwerkbrede verstoringen door te rekenen, om ons netwerkbreed weerbaarder te maken. Het zou ook mooi zijn als we met indicatoren konden werken die specifieker op de bereikbaarheid van belangrijke voorzieningen focust. Verder is er meer kennis nodig over de gedragsreacties van reizigers en vervoerders bij verstoringen, zodat we ook die effecten kunnen meenemen in modellen.

De nieuwe Europese CER-richtlijn heeft het thema weerbaarheid gelukkig vol in de schijnwerpers gezet. Die extra aandacht zal zich ongetwijfeld vertalen in meer onderzoek. ●

De auteur
Dr. Maaike Snelder is Principal scientist bij TNO en Universitair hoofddocent bij de TU Delft.

3 Zhou, H., Molenwijk, E., Snelder, M. (2025). *Robuustheidsindicatoren met* QBLOK, bijdrage aan het *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*, november 2025.

Hoe houden we ons wegennetwerk weerbaar?

Dát ons wegennetwerk weerbaarder moet worden, is duidelijk. Maar hoe pakken we dat aan? Welke maatregelen kunnen wegbeheerders treffen? En wat is de rol van verkeersmanagement hierin? Voor deze bijdrage duiken de auteurs dieper in de Europese CER-richtlijn – en staan ze stil bij de lange lijst aan acties en maatregelen die nodig zijn om de infrastructuur in Nederland weerbaar en veerkrachtig te houden.

Met de Europese CER-richtlijn, de *Critical Entities Resilience Directive*,[1] krijgt weerbaarheid eindelijk de urgentie die het verdient. Als het gaat om de sector Vervoer, deelsector Weg, zijn het onder meer de 'wegenautoriteiten die verantwoordelijk zijn voor het verkeersbeheer' die hiermee aan de slag moeten, lezen we in de richtlijn. Wat komt daarbij kijken?

Assetmanager en verkeersmanager

Laten we eerst stilstaan bij dat begrip 'verkeersbeheer'. Enerzijds slaat dit op het beheer van de wegen zelf, oftewel: de wegenautoriteit in zijn rol als ***assetmanager***. Het doel is ervoor te zorgen dat de fysieke staat van de weg en alle kunstwerken op orde is.[2] Maar onder verkeersbeheer – in de Engelse tekst staat *traffic management control* – verstaan we natuurlijk ook het beheer van het verkeer op de weg: de wegenautoriteit als ***verkeersmanager***.

Wie precies de wegenautoriteiten zijn die de CER-richtlijn op moeten pakken – de richtlijn noemt deze verantwoordelijke partijen de 'kritieke entiteiten' – is aan elke lidstaat om te bepalen. Afgaande op een eerder beleidsplan *Crisisbeheersing*[3] van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is de kans groot dat het Departementaal Coördinatiecentrum Crisisbeheersing van IenW een coördinerende rol krijgt. Maar voor de uitvoering zijn het toch vooral de wegbeheerders die aan de slag moeten: Rijkswaterstaat, provincies en gemeenten in hun dubbelrollen als assetmanager en verkeersmanager.

Rijkswaterstaat zal in dit rijtje de zwaarste taak krijgen, omdat rijkswegen nu eenmaal veel verkeer verwerken. Maar voor weerbaarheid zijn ook zeker provincies en gemeenten nodig. Via hun wegen lopen immers de *first & last mile* van ritten over rijkswegen. Ook kunnen hun wegen bij calamiteiten dienen als tijdelijk alternatief voor rijkswegen.

Verantwoordelijkheden

Dan de taken in het kader van de CER-richtlijn. De kritieke entiteiten zijn verantwoordelijk voor 1) een risicobeoordeling en ze hebben 2) een zorgplicht en 3) een meldplicht.

Die *meldplicht* spreekt voor zich: kritieke entiteiten moeten eventuele incidenten binnen 24 uur melden, zodat de 'bevoegde autoriteiten' snel en adequaat kunnen reageren en indien nodig direct kunnen opschalen.

Maar interessanter voor dit artikel zijn de eerste twee plichten. Voor de *risicobeoordeling* moet de kritieke entiteit alle relevante dreigingen die hun dienstverlening kunnen verstoren, inventariseren en duiden: wat is het risico, hoe groot is dat risico en wat is de mogelijke impact als het misgaat? Voorbeelden van die dreigingen zijn ernstige ongevallen, natuurrampen en aanslagen. De wegenautoriteiten kunnen bij hun risicobeoordeling gebruikmaken van bestaande dreigingsevaluaties van hun vakminister, maar ze kunnen ook putten uit andere bronnen. In Nederland zijn dat bijvoorbeeld de *Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid*, *Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie*, het *Dreigingsbeeld Statelijke Actoren* en het *Dreigingsbeeld Terrorisme Nederland*.

Uit die risicobeoordeling volgt de *zorgplicht*. Met de risico's in beeld moeten de kritieke entiteiten maatregelen nemen om incidenten die (in dit geval) het wegverkeer kunnen verstoren zoveel mogelijk te voorkomen, de gevolgen – als ze zich tóch voordoen – te beperken en daarvan ook weer zo spoedig mogelijk te herstellen. Juist omdat de dreigingen breed en gevarieerd zijn, valt hier al snel een hele serie aan taken en acties onder. Bij onze deelsector wegverkeer zal dat minimaal het volgende omvatten.

Kritieke infrastructuur op orde houden

De infrastructuur, zoals een brug of viaduct, moet extra verkeer bij calamiteiten of een zwaar militair transport probleemloos kunnen dragen. Dit is een typische assetmanagementtaak.
Ook de ITS-systemen moeten op orde zijn. Als bijvoorbeeld gemeentelijke of provinciale verkeersregelinstallaties onderdeel zijn

1 Het betreft de Richtlijn (EU) 2022/2557 van 14 december 2022. Zie ook het inleidende artikel op pagina 8 en verder.
2 Dat is vergelijkbaar met de rol infrastructuurbeheerders in de sector Vervoer, subsector Spoor, in de CER-richtlijn.
3 Zie het Beleidsplan Crisisbeheersing IeW 2022 t/m 2026 – Anticiperen en Versterken

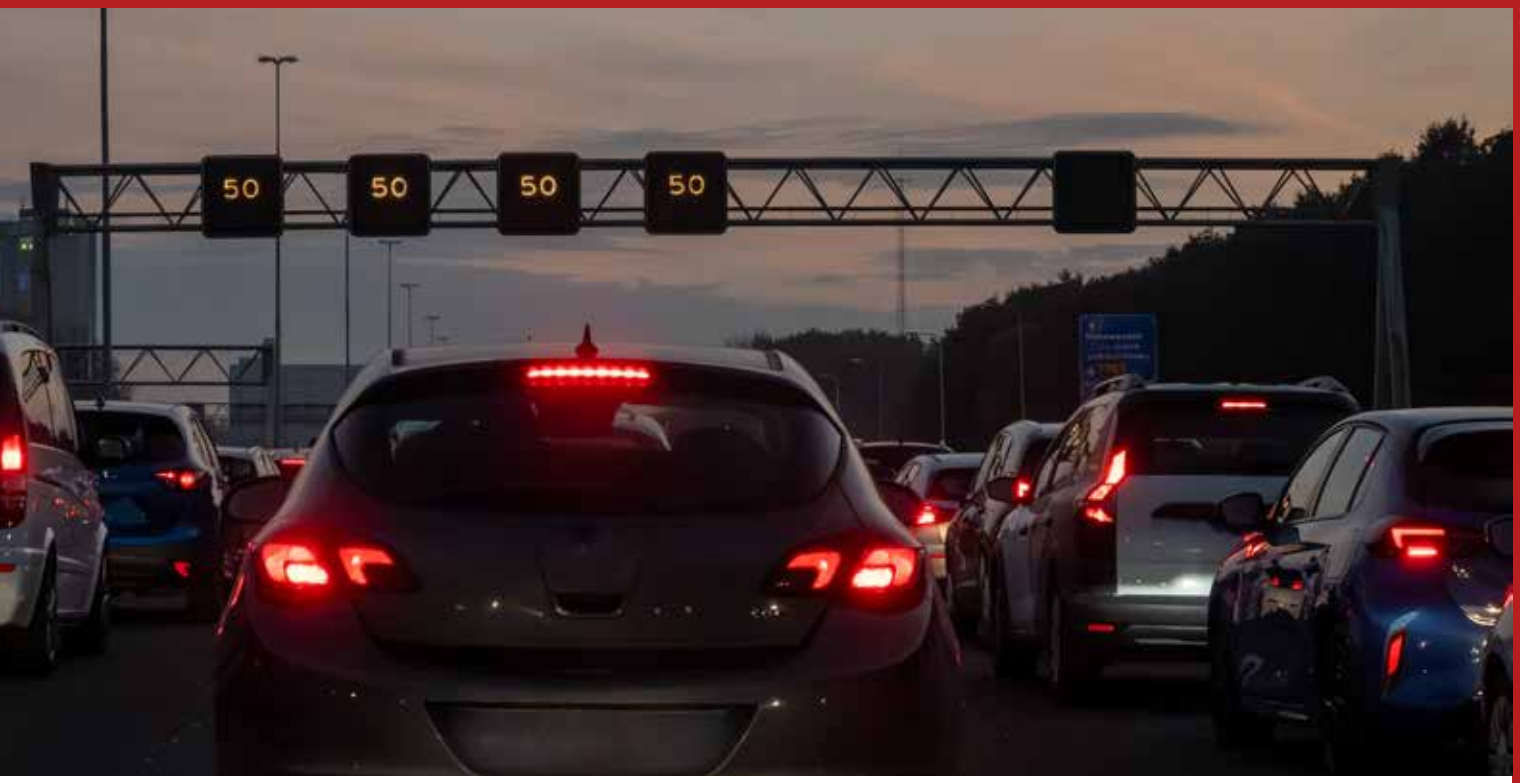


Foto: Barmalini

van een maatschappelijk belangrijke route, moeten de betreffende wegbeheerders hun functioneel beheer goed organiseren.[4]

Bescherming kritieke infrastructuur

Bermen van snelwegen op de Veluwe zijn vrij van bomen, zodat eventuele bosbranden niet tot aan de snelweg kunnen komen en er bij een storm geen bomen op de rijbaan vallen.
Om te voorkomen dat tunnels onderlopen, worden ze vaak voorzien van drempels, bergingskelders en pompen van voldoende capaciteit. Voor tunnels geldt dat vrachtverkeer met bepaalde gevaarlijke stoffen verboden zijn, om de kans op grote explosies na bijvoorbeeld een verkeersongeval te voorkomen.
Bij extreme hitte kan het voor beweegbare bruggen nodig zijn om de brugdekken nat (= koel) te houden, zodat die nog gewoon open en dicht kunnen.
Een laatste voorbeeld van bescherming is toegangscontrole. De tijd dat onbevoegden eenvoudig de bedienzaal van een verkeerscentrale konden betreden, ligt gelukkig alweer twee decennia achter ons.

Gevolgen incidenten beperken

Denk aan fysieke maatregelen als brandwerende wanden en vluchtwegen in tunnels en calamiteitendoorsteken op snelwegen. Maar het gaat ook om verkeersmanagementmaatregelen als incidentmanagement, de inzet van uitwijkroutes, het grootschalig afkruisen van rijstroken of rijbanen en verkeersinformatie (zoals stormwaarschuwingen).
In Nederland zal hierbij al snel sprake zijn van een regionale samenwerking van wegbeheerders. Dat onderstreept het belang van de regiodesks in de verkeerscentrales van Rijkswaterstaat.

Herstellen na incidenten

Als zich een incident heeft voorgedaan en er is infrastructuur beschadigd, er ligt iets op de weg, er is toch een tunnel ondergelopen enzovoort, dan moeten er aannemers klaarstaan om die schade zo snel mogelijk te herstellen. Dit vereist strakke serviceafspraken.

4 ITS laten we hier verder buiten beschouwing. Zie hiervoor het artikel vanaf pagina 20.

Personeel bewust maken

Het succes van bovenstaande maatregelen staat of valt bij de kennis, het bewustzijn en de vaardigheden van personeel en hulpdiensten. Om hen daarbij te helpen zijn opleidingen, trainingen en oefeningen nodig.

De bijdrage van verkeersmanagement

Deze lijst met taken en acties is láng. Veel betreft de assetmanagementrol en gaat om de beschikbaarheid van de infrastructuur. Maar in het deel over gevolgen beperken, duikt ook nadrukkelijk verkeersmanagement op.

Dat is niet voor niks. Bij dreigende of daadwerkelijke incidenten is er letterlijk behoefte aan bewegingsruimte. Hulpdiensten moeten snel naar de locatie van de calamiteit toe kunnen. Slachtoffers of mensen die gevaar lopen, moeten zo snel mogelijk het gebied van de calamiteit verlaten. Ook moet de kritieke entiteit ervoor zorgen dat 'wegcapaciteitsuitval' in het getroffen gebied niet tot bovenmatige verkeersproblemen elders leiden: dat moet vlot en veilig om het gebied heen worden geleid.

Met verkeersmanagement kunnen we daarvoor drie generieke services inzetten: instroom beperken, uitstroom bevorderen en rerouten.

Instroom beperken

Bij calamiteiten is instroom beperken een van de eerste acties: voorkom dat er (extra) mensen op de plaats of het gebied van het incident of de calamiteit komen. Maatregelen zijn rode kruizen, verkeerslichten op rood en slagbomen: de middelen die we ook voor tunnelmanagement inzetten. De vraag is wel of en zo ja hoelang weggebruikers zich hierdoor laten tegenhouden. Bij grotere calamiteiten is waarschijnlijk de hulp van de politie of de Koninklijke Marechaussee nodig.

Uitstroom bevorderen

Uitstroom bevorderen komt bij incidenten of calamiteiten vaak neer op het herverdelen van capaciteit. Op het hoofdwegennet

Foto: Buurserstraat386

kunnen we relatief eenvoudig en snel *stroken of rijbanen afzetten* voor gebruik door specifieke, duidelijk herkenbare doelgroepen als hulpdiensten of militair transport. Naleving is ook hier een aandachtspunt, maar met aanvullende communicatie en vooral handhaving is dit een effectief instrument.
Een andere maatregel om de uitstroom op het hoofdwegennet hoog te houden, is het *afsluiten van toeritten*. Deze drastische maatregel zal wel fysiek of met de inzet van verkeersregelaars, politie of militairen moeten worden afgedwongen.
Een mogelijkheid is ook om de *capaciteit in de tegenrichting te benutten*. Lokaal beschikken we daarvoor over de CaDo's, de calamiteitendoorsteken. Voor evacuaties bij extreem hoogwater is al eens onderzocht of de capaciteit op deze manier verdubbeld kan worden.[5] Dat kan, zo leert het onderzoek, maar in het reguliere arsenaal van verkeersmanagementmaatregelen ontbreekt het instrumentarium om dat veilig en vlot te doen. Daar is dus ook (stevige) personele inzet voor nodig.
Op het provinciale en gemeentelijke wegennet hebben we vrijwel alleen de *verkeersregelinstallaties* als verkeersmanagementinstrument. Het is de vraag in hoeverre die snel aangepast kunnen worden aan sterk afwijkende verkeersstromen. Zelfs als dat lukt, is er nog de geloofwaardigheid. Stel dat je dwarswegen heel lang rood houdt om de stroom evacuerend verkeer op de hoofdrichting op gang te houden. Wordt dat dan geaccepteerd door de wachtenden op de dwarswegen die net zo goed snel weg willen? In de praktijk zal ook in deze situatie personele inzet nodig zijn.

Rerouten

Met rerouten kun je weggebruikers bij incidenten of calamiteiten letterlijk de juiste kant opsturen. Het belang hiervan mag niet onderschat worden. Uit studies weten we dat er substantieel meer mensen kunnen worden geëvacueerd als we verkeer slim over de beschikbare vluchtroutes verdelen, rekening houdend met de capaciteit van de verschillende routes.[6]

Normaal hebben we hiervoor navigatiediensten als Google Maps, TomTom en Flitsmeister. Maar wijzen die wel de juiste, gewenste weg? En zijn ze tijdens een calamiteit nog in de lucht?
Gelukkig is er ook de radio. In combinatie met bewegwijzering en de U-borden is dat een robuuste terugvaloptie.

Stand van zaken

Hoever zijn we al met bovengenoemde verantwoordelijkheden en maatregelen? Dat is moeilijk te zeggen: er wordt nog gewerkt aan de invulling van de CER-richtlijn en mogelijk zal een deel van de plannen het label 'vertrouwelijk' krijgen.[7]

Een paar losse observaties over de stand van zaken willen we wel maken. Bijvoorbeeld dat we in Nederland, internationaal bekeken, over een goede infrastructuur beschikken en die ook goed onderhouden. Veel van die wegen en kunstwerken zijn momenteel aan het eind van hun levensduur, dus die zullen binnen afzienbare tijd onder handen worden genomen. Dat er juist nu aandacht is voor weerbaarheid, komt dan ook goed uit: alle inzichten daaromtrent kunnen we in de 'assetopgave' meenemen.

Ook wat verkeersmanagement betreft hebben we een goede uitgangspositie: de verschillende wegbeheerderslagen werken al een paar decennia zeer goed samen. Eén uitvloeisel daarvan is dat we die benodigde omleidingsroutes al klaar hebben liggen: de regelscenario's daarvoor staan in de tool *Diego* van het Nationaal Dataportaal Wegverkeer. We beschikken ook al jaren over omleidingsroutes met de 'U-routeborden'.

Het is wel zaak om vérder te bouwen op die basis. Het onderhoud van de U-routes bijvoorbeeld is de afgelopen jaren wat versloft. Iets soortgelijks geldt voor de samenwerking tussen wegbeheerders. We stipten eerder het belang van regiodesks in de verkeerscentrales aan, maar die verworvenheid wordt momenteel behoorlijk afgebouwd. Gelet op de enorme opgave om het wegennetwerk weerbaar te maken, is het de vraag of dat wel zo verstandig is.

Tot slot

De basis in Nederland is goed: zowel het assetmanagement als het verkeersmanagement zijn prima. Toch zal het werken aan weerbaarheid veel tijd en geld kosten. Voor het vakgebied is dat natuurlijk ook een kans: het belang van verkeersmanagement én de samenwerking tussen wegbeheerders (= netwerkmanagement) kunnen weer eens goed in het zonnetje worden gezet en waar nodig uit de bezuinigingshoek worden getrokken. Aan wegbeheerders, universiteiten en bureaus de taak om deze kans te grijpen en actief mee te denken over en te werken aan weerbaarheid.

Want zoveel is toch wel duidelijk: de dreigingen zijn serieus, óók voor ons vakgebied. Alle reden om een paar grote stappen extra te zetten! ●

De auteurs
Ir. Job Birnie is senior adviseur Verkeersmanagement bij Goudappel.
Ing. Paul van Koningsbruggen is directeur Mobiliteit bij Technolution en redacteur van NM Magazine.
Dr. Taoufik Bakri is senior onderzoeker bij TNO.

5 Zie *A toolbox with ideas to improve the effectiveness of our roads during an evacuation*, Vermeij en Birnie, 2007, via edepot.wur.nl/139620.
6 Zie bijvoorbeeld *Evacuatieberekeningen dijkring 8 (Flevoland) en dijkring 44 (Kromme Rijn)*, 2009, Goudappel, in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst.
7 Nederland kende al een aantal voorlopers van de CER-richtlijn, waaronder de *Aanpak Vitaal*. In het kader van dat programma is een weerbaarheidsanalyse gedaan: een onderzoek naar kwetsbaarheden, strategische afhankelijkheden en dreigingen. De resultaten van deze analyse zijn niet openbaar gemaakt.

Hoogleraar Serge Hoogendoorn, TU Delft:

“Weerbaarheid? Ja, maar streef óók naar antifragiliteit”

Terwijl beleidsmakers zich het hoofd breken over hoe we ons mobiliteitssysteem weerbaar en veerkrachtig kunnen houden, denken wetenschappers alweer een paar stappen vooruit. Zij richten de blik op *antifragiliteit*, waarbij het mobiliteitssysteem leert van verstoringen in het netwerk. Hoogleraar Serge Hoogendoorn van TU Delft praat ons bij.

Prof. dr. ir. Serge Hoogendoorn is hoogleraar Smart Urban Mobility aan de TU Delft.

“In het vakgebied verkeer en vervoer praten we al decennia over veerkracht, robuustheid en weerbaarheid. Eerst vooral binnen de wetenschap, maar inmiddels ook in de praktijk. Het mooiste is natuurlijk als je problemen kunt voorkomen. Maar wat als er toch iets gebeurt? Het idee van weerbaarheid is dat het mobiliteitssysteem zo snel mogelijk herstelt: dat de files weer teruggaan naar een aanvaardbaar niveau en het ov weer op tijd rijdt.

Dat is natuurlijk belangrijk. Maar toch: een systeem dat na een storing terugkeert naar zijn oude toestand, heeft niets geleerd. Bij de volgende verstoring begint het hele circus opnieuw. Mijn stelling is dan ook, dat we ons niet alleen moeten richten op terugveren, maar ook moeten kijken hoe we stérker uit een verstoring kunnen komen. Nassim Nicholas Taleb schreef daar tien jaar geleden al over en kwam met de term *antifragiliteit*.

Negatief, maar ook positief

Verkeer is een perfecte casus voor antifragiliteit. Het is een complex, adaptief systeem, waarin kleine veranderingen grote, onverwachte effecten kunnen veroorzaken.

Dat ‘onverwachte’ kan negatief zijn. Neem de invoering van e-steps in Europese steden: beleidsmakers verwachtten een positieve impact op duurzaamheid, maar wat bleek? Dat die stepjes helemaal niet zo duurzaam zijn: de *lifecycle costs* zijn veel hoger dan je zou verwachten. Ook vervangen die stepjes niet autobewegingen maar juist loop- en fietsbewegingen. En dan hebben we nog die vervuilende busjes die de stepjes over de stad herverdelen.

Maar daartegenover staan *positieve* voorbeelden. Een bekende is de afsluiting van een van de drukste verkeersaders in Broadway in 2009. Iedereen verwachtte chaos, maar die mindere wegcapaciteit leidde juist tot een betere doorstroming, met een afname in reistijden tot wel 17 procent. Ook de veiligheid verbeterde flink: het aantal ernstige ongevallen daalde met ongeveer de helft.

Iets soortgelijks zagen we ook in 2007, toen de cruciale I-35W-brug instortte. De reistijden herstelden verrassend snel, binnen een paar weken. Het verkeer vond een efficiënter evenwicht, met een beter spreiding over routes, aangepaste vertrektijden en minder voertuigkilometers.

Beide voorbeelden laten zien dat een netwerk er door een verstoring ook op *vooruit* kan gaan.

Beter door wat er misgaat

Om die winst te halen, is het wel belangrijk dat de managementsystemen van ons mobiliteitssysteem het proces begrijpen en benutten. Dat het systeem als geheel léért, zich aanpast, nieuwe patronen ontdekt en slimmer wordt. Daar ligt de belofte van AI. Met AI kunnen we op zoek naar de *zwarte zwanen*, naar verstoringen die het systeem verbeteren: elke verstoring als datapunt gebruiken om beter te worden.

Antifragiliteit betekent dus systemen bouwen die fouten kunnen verdragen én ervan leren, zodat de volgende storing niet alleen sneller voorbij is, maar het systeem sterker achterlaat dan ervoor. Zie het als *lerend beheer*: netwerkmanagement dat niet alleen stuurt, maar observeert, vergelijkt en terugkoppelt. Dáár ligt de volgende stap in netwerkmanagement.

Zijn onze systemen al zover? Nog niet. Maar als wetenschap zitten we er bovenop. Samen met mijn collega’s Tina Comes en Andrej Zwitter hopen we volgend jaar een mooi onderzoeksproject te starten rond dit thema. Onze oproep: ga voor weerbaarheid, maar óók voor antifragiliteit. Terugveren en dan hoger uitkomen dan je begon – dat is het streven.”

Weerbaarheid van het ov: de metro in Amsterdam

De Europese CER-richtlijn richt zich niet alleen op wegvervoer, maar ook op de deelsectoren Spoor en Openbaar vervoer. Met welke 'weerbaarheidsuitdagingen' hebben deze vervoerssectoren te maken? Om daar een beeld van te krijgen, verdiepen we ons in de metro, meer specifiek: het metrosysteem van regio Amsterdam.

De Amsterdamse metro vervoerde in 2024 zo'n 100 miljoen bewoners, forenzen, scholieren en toeristen. Het systeem is daarmee onmisbaar voor de bereikbaarheid van de regio. Omdat de metro een duurzaam autoalternatief is, is hij bovendien cruciaal in de transitie naar klimaatvriendelijke mobiliteit.

Alle reden dus om dit ov-systeem weerbaar te maken. Dat is met een railgebonden vervoermiddel als de metro zelfs extra relevant. Terwijl een bus nog makkelijk om een stremming heen kan rijden, kan een metro dat niet, net zomin als een tram of trein: een verstoring heeft vaak een forse impact, met uitval van een of meer lijnen. De *beschikbaarheid* op 'honderd procent' houden is bij railgebonden vervoer daarom meer dan belangrijk.

Maar juist die beschikbaarheid van het Amsterdamse metronet staat de laatste jaren onder druk. Twee factoren spelen een rol.

Intensief gebruik

Allereerst is er het intensieve gebruik van het metronet. Het metrosysteem is grotendeels ontworpen in de jaren zeventig, toen het aantal reizigers nog beperkt was. We noemden net de 100 miljoen reizigers in 2024, maar in 1980 vervoerde de metro nog maar 4 tot 5 miljoen mensen per jaar –een twintigste van het huidige aantal. Er zijn weliswaar drie lijnen bijgekomen, waaronder de Noord/Zuidlijn, en delen van de infrastructuur zijn vernieuwd. Maar duidelijk is dat het netwerk nu veel intensiever, vrijwel maximaal, benut wordt.

Dat zit 'm niet alleen in het aantal reizigers, maar ook in de manier van vervoeren. De metrovoertuigen die in 2013-2015 zijn aangeschaft bijvoorbeeld, zijn krachtiger (meer vermogen) maar ook *zwaarder* en *langer* dan de voertuigen waarvoor het metrostelsel oorspronkelijk ontworpen is. Het hogere gewicht en het grotere aantal assen van een voertuig leiden tot meer slijtage en een kortere restlevensduur van de infrastructuur en dus tot een groter risico op falen. De marges die in de ontwerpfase van de jaren zeventig nog veilig en ruim waren, zijn nu grotendeels opgesoupeerd.

Digitalisering

De tweede factor is digitalisering. Om de grotere hoeveelheid reizigers te kunnen verwerken, is enorm geïnvesteerd in slimme besturings- en beveiligingssystemen. Dat heeft z'n effect, want het metronet is inderdaad veiliger en efficiënter geworden. Maar die digitalisering heeft tegelijk nieuwe kwetsbaarheden geïntroduceerd. Zo maakt alle software het metrosysteem *complexer*. Ook is er de *afhankelijkheid tussen subsystemen*. Valt er één schakel uit – door een storing in de verkeersleiding, een stroomdip of een fout in de software-update – dan heeft dat door die digitale verwevenheid impact op het hele systeem. Het is recent al meerdere keren gebeurd dat het complete Amsterdamse metronet uren stil kwam te liggen.

ProRail kent dit probleem trouwens ook: op woensdag 5 juni 2024 bijvoorbeeld kon er enige uren lang geen trein van en naar Utrecht Centraal door een softwarestoring bij de verkeersleiding.

Bijzondere omstandigheden

Bovenstaande twee punten kunnen al onder normale omstandigheden tot problemen en uitval leiden. Maar het is natuurlijk ook zaak weerbaar te zijn bij 'bijzondere' omstandigheden.

Die zijn er in soorten en maten. Evenementen zijn bijzonder, maar met een gedegen voorbereiding en de inzet van extra capaciteit kan de Amsterdamse metro dat wel aan. Het is anders als de omstandigheid behalve bijzonder ook *onvoorzien* is. Denk aan kortstondige hevige regenval die de capaciteit van de hemelwaterafvoer overschrijdt en leidt tot wateroverlast op ondergrondse stations. Of aan extreme hitte die voor problemen zorgt bij wissels of voertuigen. Juist omdat het metronet al zwaarder wordt belast en de grenzen van het systeem zijn opgezocht, kan een klein beetje extra belasting, in welke vorm dan ook, al snel te veel zijn.

Dan zijn er nog de bewuste verstoringen, zoals sabotage of vernielingen. Bij de trein leidt koperdiefstal geregeld tot problemen. Zoiets zou ook de metro kunnen treffen. Daarnaast zijn er de cyberdreigingen die digitalisering met zich meebrengt: om de boel te verstoren hoeft een kwaadwillende niet meer iets fysiek op locatie te stelen of vernielen, maar kan hij of zij op afstand opereren – vanuit een ons onwelgevallig land bijvoorbeeld.

Omslag in denken

De factoren intensief gebruik en digitalisering in combinatie met onder meer klimaatverandering en een grotere kans op (cyber)sabotage maken het 'weerbaarheid vergroten' tot een complexe opgave.

Het lijkt niet waarschijnlijk dat we ooit afkomen van de digitalisering. Op dat vlak is het dus zaak zwáár in te zetten op beveiliging, backupsystemen, terugvalopties enzovoort. De cyberbeveiliging van het metronet is nu natuurlijk ook prioriteit, maar zolang een software-update al tot problemen kan leiden, zijn er op dat vlak vast stappen te zetten. Gelet op toenemende internationale span-

Foto: David Peperkamp

ningen moeten we ons bovendien steeds bewuster afvragen uit welke landen onze fysieke en digitale producten komen en waar we onze data opslaan.

Dan het intensieve gebruik. Om de kwetsbaarheid die dat met zich meebrengt terug te dringen, is een omslag in denken nodig. De trend van de afgelopen decennia was om infrastructuurprojecten in Nederland vooral *lean & mean* te realiseren en om bestaande infra maximaal te benutten, zonder oog voor *toekomstbestendigheid*. Vanuit die insteek zijn redundantie en reserves vooral 'inefficiënt'.

Als we weerbaarheid serieus willen nemen, moet die efficiëntiebril af. Niet: wat is het goedkoopst vandaag? Maar: wat is het systeem waard op de lange termijn, ook als er iets misgaat?

Het vakgebied assetmanagement biedt handvatten om dat te doen. Het gaat erom de functionaliteit en prestaties van infrastructuur gedurende de volledige levensduur te borgen. Dat betekent vooruitdenken. De levensduur van metrovoertuigen bijvoorbeeld ligt rond de dertig à veertig jaar; die van de infrastructuur zelfs boven de honderd jaar. Beslissingen die vandaag worden genomen, bepalen dus hoe weerbaar het systeem in 2125 is. Zo'n tijdshorizon overstijgt de bestuurlijke en politieke cycli. Juist bij bestuur en politiek is de omslag in denken dan ook het hardst nodig.

Als het ons lukt om weerbaarheid die expliciete rol te geven, dan kunnen we de juiste keuzes op het juiste moment maken – van beleidsambitie tot ontwerpbeslissing, van onderhoudsstrategie tot noodplan. Bij het ontwerpen en specificeren van infrastructuur leg je immers al 80 procent van de uiteindelijke waarde vast. Later assets aanpassen of functies toevoegen, zoals extra waterafvoer, noodvoorzieningen of cyberveiligheid, kan alleen tegen hoge kosten.

De metro als schuilkelder

Weerbaarheid in relatie tot de metro kende in het verleden ook nog een andere invulling. In de jaren zestig tot tachtig van de vorige eeuw stelde de rijksoverheid als eis dat ondergrondse stations bij calamiteiten als schuilkelder moesten kunnen dienen. Verder moest bij rampen het openbaar vervoer inzetbaar zijn voor evacuaties en voor ziekentransport. Dat was niet voor niets: het was de tijd van de Koude Oorlog en de herinneringen aan de Tweede Wereldoorlog waren nog vers.

Die functie van bescherming in tijden van nood is inmiddels verdwenen. Marktwerking, decentralisatie, krappe budgetten én het idee dat alle gevaren geweken waren, hebben ertoe geleid dat de eisen rond schuilen en evacueren nu niet langer standaard worden meegenomen bij de aanleg of renovatie van infrastructuur.

Tot slot

De metro is meer dan een vervoermiddel: het is een vitaal onderdeel van de stedelijke infrastructuur. Wie de weerbaarheid van het mobiliteitssysteem wil versterken, moet verder kijken dan de korte termijn. De systemen moeten tegen een stootje kunnen, digitaal en fysiek. En mocht het toch misgaan, dan moet het systeem zo zijn ingericht, digitaal en fysiek, dat de boel snel weer op de rails staat. ●

De auteur
Jacco de Regt is senior consultant bij Assets4Mobility.

Ook ITS moet weerbaar(der) worden

Foto: André Muller

Om het vervoer over de weg gaande te houden en bij te sturen, kunnen we niet meer om slimme technologie heen. Maar wat als die technologie het af laat weten? Is dat te voorkomen? Of anders gezegd: hoe beschermen we onze intelligente vervoerssystemen en hoe maken we ze weerbaar tegen stroomuitval, hacks en ander ongerief?

Op 29 september 2025 deden de matrixborden boven de snelwegen in Midden-Nederland het niet. De verkeerscentrale kon bij incidenten geen rood kruis meer tonen, op één bord werd een maximumsnelheid van 120 in plaats van 100 aangegeven en ook konden de spitsstroken niet open. Alleen al dat laatste zorgde in de ochtend voor kilometers file en meer dan een uur vertraging op de weg.

Het laat maar zien hoe afhankelijk we zijn van slimme systemen voor een vlotte en veilige verkeersafwikkeling – en hoe kwetsbaar die systemen zijn. Geen wonder dat de Europese CER-richtlijn, de *Critical Entities Resilience Directive*,[1] zich ook uitspreekt over intelligente vervoerssystemen (ITS) en de 'diensten' die daarmee worden verleend: ook die moeten voldoende weerbaar worden tegen ongelukken, natuurrampen, aanvallen en andere problemen.

Basis

Dat is een mooi streven: maak ITS weerbaar. Maar iedereen die een beetje snapt hoe ITS in elkaar steekt, zal snel concluderen dat dat een hele uitdaging wordt.

Denk alleen maar aan het aantal partijen dat betrokken is bij de exploitatie van ITS. Er zijn allereerst de *wegbeheerders*: het rijk, gewesten, provincies, gemeenten. Zij zetten ITS in om het verkeer te managen met instrumenten als dynamische route-informatiepanelen, matrixborden, spitsstroken, cameratoezicht, verkeersregelinstallaties enzovoort. Dan zijn er de (private) *ITS-serviceproviders* die navigatie-, informatie- en veiligheidsdiensten aanbieden om (vracht)autobestuurders maar ook fietsers en wandelaars onderweg te ondersteunen. Essentieel zijn ook de *nationale toegangspunten mobiliteitsdata* en achterliggende dataproviders. Zij zijn een soort 'linking pin' tussen de wegbeheerders en de serviceproviders.

Nu zijn we al járen bezig om van dit geheel een geoliede ITS-machine te maken. Vijftien jaar geleden kwam de Europese richtlijn 2010/40/EU uit. Deze zogenaamde *ITS-richtlijn* voorziet in een kader voor de invoering en het gebruik van intelligente vervoerssystemen en waarborgt zaken als compatibiliteit, interoperabiliteit en continuïteit binnen de EU.

Sindsdien is er enorm veel werk verzet om dat kader Europabreed in te vullen. De publiek-private samenwerking wordt sinds 2014 verkend in het platform *Traffic Management* 2.0. Binnen projec-

1 Het betreft de Richtlijn (EU) 2022/2557 van 14 december 2022. Zie ook het inleidende artikel op pagina 8 en verder.

ten als SOCRATES2.0 zijn verschillende samenwerkingsvormen beproefd. En met de verordening (EU) 2022/670 over realtime-verkeersinformatiediensten, RTTI, krijgt die samenwerking zelfs al concreet vorm. Maar zijn we na die jaren van inspanningen al zover dat we van een optimale samenwerking of zelfs synergie tussen wegbeheerders en serviceproviders kunnen spreken? Nee, bij lange na niet.

Dat doet vrezen voor het samenwerken aan weerbaarheid. Volgens de CER-richtlijn zal elke lidstaat zelf moeten bepalen wie ze hiervoor verantwoordelijk maken. Het is nog onduidelijk welke partij (partijen) in Nederland of België betrokken worden, maar die zal (zullen) hoe dan ook over de volle breedte moeten samenwerken of op z'n minst moeten afstemmen. Want stel dat er zich problemen voordoen aan de zijde van de wegbeheerders, zoals afgelopen september. Kunnen ITS-serviceproviders dan bijspringen? Hoe geef je dat vorm? En als het misgaat bij serviceproviders? Hebben de wegbeheerders voldoende systemen langs en boven de weg staan om hun taken over te nemen? Hoe zit het eigenlijk met de dataproviders? Wat als zich daar problemen voordoen?

Duidelijk is dat de CER-richtlijn een extra uitdaging voor de betrokken partijen vormt. De noodzaak om aan weerbaarheid te werken kan een mooie katalysator vormen in het samenwerkingsproces, maar het kan net zo goed voor nog meer stroperigheid zorgen.

Verder kijken dan ITS alleen

Maar goed, stel dat dat samenwerken wel lukt, dan zijn we er nog niet. De exploitatie van ITS vindt immers niet in een vacuüm plaats, maar is zelf ook afhankelijk van voorzieningen. De ITS-richtlijn verwoordt het zo: 'In ITS zijn *elektronica*, *telecommunicatie* en *informatietechnologieën* met verkeerstechniek geïntegreerd met het oog op het plannen, ontwerpen, exploiteren, onderhouden en beheren van vervoerssystemen.'

Elektronica vereist een ***elektriciteitsvoorziening***. (Dat probleem met de matrixborden eind september kwam door een simpele stroomstoring.) ***Telecommunicatie*** betekent dat de 'lijnen' tussen verkeerscentrale, wegkant, voertuigen en serviceproviders altijd open moeten zijn. En ***informatietechnologieën*** impliceren de beschikbaarheid en 'zuiverheid' van data: zonder (goede) data geen dienst.

Deze zaken zijn niet alleen binnen het vakgebied ITS te regelen. Als we onze ogen laten glijden over de diensten (sectoren) die de CER-richtlijn als essentieel ziet, dan raakt ITS in feite meerdere sectoren: in ieder geval Vervoer (waar het de diensten verleend), Energie en Digitale infrastructuur. Zie ook de figuur op pagina 11.

Dat staat voor meer inspanningen en voor nóg meer samenwerken, over de sectoren heen, om ITS weerbaar te krijgen. We schetsen kort een beeld van wat daarbij komt kijken.

Elektriciteitsvoorziening

Weerbaar zijn op het vlak van de elektriciteitsvoorziening, betekent om te beginnen dat transformatorhuisjes en verdeelstations fysiek en technisch ***inbraakveilig*** moeten zijn. In een drukke omgeving als Nederland of België, waar voortdurend gebouwd en onderhouden wordt, kan ook niet genoeg gehamerd worden op voorzichtigheid bij ***graafwerkzaamheden***: een kabel is zo stukgetrokken. In 2024 zijn er in Nederland bijna 50.000 graafschades geregistreerd, 137 per dag.

Voor die keren dat het toch (bewust of onbewust) misgaat met een kabel, is ***netwerkredundantie*** belangrijk: bij een storing in één deel van het netwerk kan de stroom dan via een andere route worden omgeleid. Een andere terugvaloptie zijn slim geplaatste ***noodstroomvoorzieningen***: noodgeneratoren en zogeheten *Uninterruptible Power Supplies*, UPS. Die garanderen gedurende een overbruggingsperiode een ononderbroken stroomtoevoer.

Ook is het goed om de elektriciteitsvoorziening waar mogelijk te ***decentraliseren***. Sensoren langs de weg zou je bijvoorbeeld 'stand alone' kunnen maken met behulp van zonnepanelen en windturbines.

Verder zit operationele weerbaarheid en veerkracht natuurlijk in ***mensen*** – van netbeheerders tot hulpdiensten. Deze moeten worden voorbereid, getraind en geoefend op snel en effectief handelen bij crisissituaties.

Telecommunicatie

Telecommunicatiesystemen vragen om een vergelijkbare fysieke bescherming. Ook hier is het zaak verdeelstations te ***beveiligen*** en alert te zijn op ***graafschade***. Een pre van de telecom is dat die al overlappende netwerken kent, zowel mobiel als vast. Dat maakt overschakelen van de ene naar de andere telecomprovider eenvoudiger. Deze intrinsieke ***redundantie*** wordt alleen maar sterker als antennes en kabels ook geografisch gespreid staan en liggen, zodat het wegvallen van één mast niet tegelijk meerdere telecomproviders raakt.

De redundantie in aanbod maakt dat samenwerking tussen telecomproviders mogelijk is. Sterker nog: de plicht om samen te werken is vastgelegd in nationale wetgeving, waaronder de *Telecommunicatiewet* en de *Wet beveiliging netwerk- en informatiesystemen*. Dit onderdeel is dus al dwingend en expliciet gereguleerd.

Mocht er toch iets misgaan, dan beschikken mobiele netwerkoperators over ***mobiele zendmasten*** op aanhangers, ook wel *Cells on Wheels* genoemd. Deze kunnen bij een storing op locatie worden ingezet om de communicatie te herstellen, bijvoorbeeld in het geval van een overstroming of brand.

Moeilijker wordt het als het om specifiek de satellietcommunicatie gaat, essentieel voor PNT – plaatsbepaling, navigatie en tijdsbepaling. De signalen vanuit het *Global Navigation Satellite System*, GNSS, zijn aantoonbaar goed te verstoren. De gebruikte PNT-apparatuur zelf moet daarom uitgerust zijn met ***anti-jamming*** ('blokkeren' van interferentie van stoorsignalen) en ***anti-spoofing*** (detecteren of de ontvangen signalen integer zijn). Verder zijn sensoren zoals ***gyroscopen en versnellingsmeters*** nuttig om de positie van een vervoermiddel en/of persoon te bepalen op basis van de beweging. Deze sensoren bewijzen al hun nut bij het tijdelijk wegvallen van satellietsignalen in tunnels of langs hoge gebouwen.

Het fysieke antwoord op satellietbedreigingen ligt verder in ***risicospreiding***: wees niet afhankelijk van slechts één navigatiesysteem, zoals het Amerikaanse GPS. PNT moet principieel gebruikmaken van meerdere systemen, dus minimaal GPS én het Europese Galileo. Idealiter zouden ook de signalen van het Russische GLONASS en het Chinese BeiDou worden geïncorporeerd, maar hier stuit weerbaarheid op geopolitieke gevoeligheid.

Foto: Lightpoet

Digitale weerbaarheid

Aanvullend op deze fysieke weerbaarheid van de elektriciteitsvoorziening en telecommunicatie zal er ook aan digitale weerbaarheid moeten worden gewerkt. Elektriciteits- en telecommunicatienetwerken worden immers bestuurd en gemanaged – en die managementsystemen moeten 'cybersafe' zijn.

Dat begint aan de voorkant door ervoor te zorgen dat de afzonderlijke ***elektronische onderdelen*** waaruit ITS-systemen bestaan – sensoren, communicatie-interfaces, controllers enzovoort – elk cyberveilig zijn. De Europese *Cyber Resilience Act*, die eind 2024 in werking is getreden, regelt dat. Een wat gevoelig punt hierbij is de ***herkomst*** van ITS-systemen en z'n onderdelen. Is het verstandig om cruciale onderdelen te betrekken uit landen als China of, zoals de wind nu waait, de Verenigde Staten?

Een tweede cyber-beschermingslaag is ***intrusiedetectie***. Daarvoor wordt AI gebruikt: die kan afwijkend gedrag herkennen en een eventuele aanval helpen neutraliseren.

De communicatie in en rond deze netwerken moet worden beschermd met ***authenticatieprotocollen***, ***dataencryptie*** en ***datadiodes*** om te voorkomen dat kwaadwillenden toegang krijgen tot de netwerken. ***Netwerksegmentatie*** is belangrijk om te voorkomen dat een aanvaller die tóch het netwerk binnendringt, maar beperkt zijn gang kan gaan.

Data

Resteert nog de weerbaarheid op het vlak van data. Een belangrijke maatregel is het verminderen van de afhankelijkheid van één enkele databron of datasysteem. Hierbij helpt een ***multisensorstrategie***: zet tegelijkertijd meerdere sensoren in. Mocht één type sensor uitvallen of worden verstoord, dan kan de data alsnog via een andere bron worden verzameld.

We noemden al het belang van het *Global Navigation Satellite System*. Wat als die satellietdata onverhoopt toch wegvallen? Een interessante terugvaloptie is om de positionering te bepalen aan de hand van de sterkte van signalen van mobiele telefoonmasten en/of WiFi-toegangspunten. Deze methodiek is minder nauwkeurig dan satellietnavigatie, maar zeker in stedelijke gebieden kan die in geval van nood in bruikbare alternatieve data voorzien.

Dan nog de vraag waar je de data ***opslaat***. Er wordt veel in de 'cloud' bewaard en dan kom je al snel bij buitenlandse, meest Amerikaanse dienstverleners. Ook hiervoor geldt de vraag: hoe verstandig is het om de grondstof van al je ITS-diensten in handen te geven van niet-EU landen? Waarom niet bewust kiezen voor een Europese clouddienst?

Conclusie

Wat heeft onze verkenning van (het werken aan) de weerbaarheid van intelligente vervoerssystemen opgeleverd? Een lichte hoofdpijn mogelijk: het klinkt zo mooi, ITS weerbaar maken, maar er komt véél bij kijken.

ITS-weerbaarheid vereist allereerst een goede samenwerking tussen de verschillende spelers: wegbeheerders, serviceproviders en dataproviders. Op dit vlak is al veel vooruitgang geboekt, maar snel is dat niet gegaan en we zijn er nog niet.

Dan is er het gegeven dat een intelligent vervoerssysteem voor z'n functioneren afhankelijk is van een goede elektriciteitsvoorziening, telecommunicatie en data. Op die vlakken kunnen ITS-partijen zelf maatregelen nemen, maar ze blijven ook afhankelijk van partijen uit de 'buursectoren' Energie en Digitale infrastructuur. Er zal over de sectoren heen een grote lade met energiespecialisten, communicatiedeskundigen, civieltechneuten, cyberspecialisten, productleveranciers en verkeerskundigen moeten worden opengetrokken alleen al om te *controleren* of het met de ITS-weerbaarheid goed gesteld is.

En ja, zelfs als dit allemaal te organiseren is, is er de vraag: wie gaat die inspanningen met het oog op weerbaarheid betalen? In Nederland hebben het Interprovinciaal Overleg en de Vereniging van Nederlandse Gemeenten al kritiek geuit op de aanzienlijke nalevingskosten die de CER-richtlijn en aanpalende wetgeving met zich meebrengen.

Slotconclusie: ITS is essentieel en weerbaarheid is dus belangrijk. Dat besef plus het feit dat er een wettelijke noodzaak voor handelen ligt, is winst – het zal op z'n minst de waakzaamheid vergroten. Maar hoe we tot echte weerbaarheid komen en welk niveau nodig of betaalbaar is? Wie het weet mag het zeggen. ●

De auteurs
Ing. Paul van Koningsbruggen is directeur Mobiliteit bij Technolution en redacteur van NM Magazine.
Ing. Danny Vroemen is manager Strategy & Solutions bij Swarco Nederland.

ALS U ERVOOR ZORGT DAT U GELIJK HEEFT, ZORGEN WIJ ERVOOR DAT U GELIJK KRIJGT.

U heeft gelijk. Uw systeem, dienst of voorstel is inderdaad beduidend beter. De vraag is alleen of uw klanten en opdrachtgevers dat óók weten. Want gelijk hebben is iets anders dan gelijk krijgen. Gelijk hebben is inhoud, feiten. Maar gelijk krijgen is overtuigen, presenteren, communiceren.

Essencia is bedreven in het vertalen van kale feiten in krachtige argumenten, met sterke teksten in een dito vormgeving. Voordeel is dat we uw branche door en door kennen. We verzorgen bijvoorbeeld al sinds de allereerste uitgave (vanaf 2006 alweer) de productie van het blad dat u nu in handen heeft. We spreken uw taal en weten inmiddels aardig wat u, uw klanten en uw opdrachtgevers beweegt!

Dus heeft u een nieuw product, of heeft u een belangrijk rapport of onderzoek afgerond en wilt u behalve gelijk hebben, ook gelijk krijgen, bel ons dan op 070 361 76 85.

essencia
communicatie

Vertaalt kale feiten
in krachtige argumenten.

www.essencia.nl

VERBORGEN SCHATTEN

KOMT DAT ZIEN

Natuurmonumenten

Maak verkeerslichten weer sexy!

Raymond Jansen
Algemeen directeur Swarco Nederland

Rond voetbalwedstrijden van het nationale elftal hoor je nog wel eens dat Nederland '18 miljoen bondscoaches telt'. Dat valt volgens mij reuze mee: het zijn vooral de 9 miljoen *mannen* die enorm veel verstand van voetballen menen te hebben. Maar waar we er wel 18 miljoen van hebben, zijn verkeerskundigen. Als ik op een verjaardag vertel wat voor werk ik doe, ben ik geheid de hele avond in gesprek over waar de verkeerslichten écht niet goed staan afgesteld, hoe dat beter kan en waar nog een groene golf moet komen.

Ik hou wel van die verjaardagspraat: het laat maar weer zien hoe belangrijk en fascinerend mensen verkeer vinden. Maar die gesprekken verbazen me ook. Want hoe kan het toch dat iedereen zich een professor in de verkeerskunde waant, maar ondertussen op de werkvloer het aantal echte verkeerskundigen en verkeersregeltechnici steeds kleiner wordt?

Dat is namelijk waar we tegenaan lopen. De gemiddelde verkeerskundige loopt al richting z'n pensioen, maar van onderaf stroomt er nauwelijks nieuw talent binnen. Kennelijk is verkeersregeltechniek niet sexy genoeg. Ondertussen slanken de onderwijsinstituten hun verkeerskundeopleidingen af en schuiven ze meer richting planologie. Zij volgen ook maar de trends, denk ik, maar het gevolg is dat we als vakgebied een kennisvacuüm aan het creëren zijn – net nu we die kennis harder nodig hebben dan ooit.

Want echt, de maatschappelijke uitdagingen zijn groot. Stikstofreductie, stedelijke verdichting en leefbaarheid gaan allemaal terug naar één kernvraag: hoe organiseren we slim verkeer in onze steden? Dat betekent regie voeren. Dat is plannen maken. Maar dat is er vooral ook voor zorgen dat die plannen in de praktijk wérken. Met technologie. Met verkeerslichten. Met digitale toegangssystemen.

Dat het op straat moet werken, gaat de komende decennia ook niet veranderen. Over dertig jaar rijden er autonome bussen zonder chauffeurs, verplaatsen goederen zich tussen hubs via zelfrijdende voertuigen, en is digitale regie de standaard. Maar ook dan moet er iemand zijn die begrijpt hoe die systemen werken en hoe ze passen in een inclusieve samenleving.

'Dat kan toch met AI?' Natuurlijk, maar vol vertrouwen op AI, zonder menselijke regie, is niet verstandig. Digitalisering en kunstmatige intelligentie zijn nodig, maar er moet een basislaag vakvolwassen verkeerskundigen zijn. Hoe wil je er anders voor zorgen dat technologie niet de baas wordt, maar in dienst staat van de samenleving?

Dat is een uitdaging. Maar zeker ook een kans. Verkeer fascineert, maar kennelijk snappen mensen onvoldoende dat je daar je werk van kan maken en hoe spannend dat werk is. Want spannend is het toch? Wat is er boeiender dan werken op het kruispunt van technologie, gedrag en stedelijke toekomst? Verkeerslichten zijn allang geen domme kastjes met lampjes meer. Het zijn de schakels in een digitaal zenuwstelsel die bepalen of een stad leefbaar blijft.

Op die verjaardagen waar ik kom, lukt het me meestal wel om die boodschap over te brengen. Dat niet alles even simpel is. En hoeveel techniek en intelligentie er eigenlijk in en achter die verkeersinstrumenten schuilt. Maar dat verhaal moeten we ook als verkeersindustrie voor het voetlicht krijgen. We moeten nú investeren in een curriculum dat techniek weer een prominente plek geeft, in traineeships die jong talent enthousiasmeren, en in digitaliseringsstrategieën die mens en machine verbinden. Alleen dan kunnen we het vakgebied van verkeerslichten neerzetten zoals het werkelijk is: hightech regie op de stad van morgen. Als dat niet sexy is!

Iedereen mee – juist nu het klimaat verandert

De komende jaren gaan we steeds meer merken van klimaatverandering. Ook onze mobiliteit zal erdoor beïnvloed worden. Hoe zorgen we ervoor dat reizen bij extreme weersomstandigheden toch voor iedereen mogelijk blijft? Juliette Eulderink en Esmee van Selst van Haskoning gaan in hun bijdrage in op het waarom en hoe van *klimaatrechtvaardigheid* in de context van mobiliteit.

Het begrip klimaatverandering kennen we inmiddels wel, maar *klimaatrechtvaardigheid* roept misschien vragen op. Wat wordt er precies mee bedoeld? Eenvoudig gezegd gaat het om de eerlijke verdeling van risico's, middelen en zeggenschap bij klimaatverandering. In de context van klimaatadaptatie en mobiliteit draait het om de volgende vraagstukken:

- **Verdelende rechtvaardigheid:** wie draagt de lasten, wie profiteert?
- **Procedurele rechtvaardigheid:** wie mag meebeslissen?
- **Erkenning:** wie wordt gezien en gehoord?

Dat lijken zware woorden in de context van zoiets alledaags als mobiliteit. Maar bedenk waar mobiliteit of reizen voor staat: voor toegang tot werk, zorg, onderwijs en sociale contacten. Die toegang is nu al niet zuiver verdeeld over reizigers, want hij is afhankelijk van factoren als netwerk, aanbod, gezondheid, inkomen enzovoort.[1] Klimaatverandering zou voor een extra horde kunnen zorgen – en mogelijk voor extra ongelijkheid.

Mobiliteitsongelijkheid versterkt

Volgens de KNMI-klimaatscenario's krijgen we namelijk vaker te maken met extreem weer, zoals hittegolven en hevige neerslag. Deze veranderingen raken ook reizigers.

Hitte vormt bijvoorbeeld een groeiend risico voor voetgangers en fietsers. Zij bevinden zich vaker in de volle zon en op verharde oppervlakken, waar de gevoelstemperatuur al snel sterk oploopt. Die hitte kan leiden tot gezondheidsproblemen, verminderde verkeersveiligheid en een afname van het gebruik van duurzame modaliteiten. Op termijn kan dat weer resulteren in minder gebruik van het ov en ov-hubs, en uiteindelijk tot een verschraling van het ov-aanbod. Buitengebieden maar ook steden worden daardoor minder toegankelijk voor kwetsbare groepen.

Bij hevige neerslag kunnen straten en wegen onder water komen te staan. Vooral in stedelijke gebieden, waar verharding en beperkte mogelijkheden voor afwatering de wateroverlast verergeren, speelt dat probleem. Vitale voorzieningen en woonwijken zijn dan tijdelijk misschien niet (goed) bereikbaar. Dat kan ongelijkheid verder vergroten.

Voor sommige doelgroepen is bijvoorbeeld thuiswerken veel makkelijker dan voor andere.

Daar komt bij dat maatregelen in het kader van klimaatadaptatie niet per definitie inclusief zijn. Neem de wens om steden te vergroenen. Meer bomen en minder kunstmatige verlichting dragen bij aan biodiversiteit, infiltratie en verkoeling, maar kunnen ook het gevoel van veiligheid op straat verminderen. Een donker fietspad omgeven door dichtbegroeide vegetatie is dan misschien klimaatbestendig, maar kan in de praktijk leiden tot vermijding of angst.

Aan de slag

Duidelijk is dat klimaatverandering vraagt om klimaatadaptatie, zeker vanuit het perspectief van eerlijke bereikbaarheid. Maar die adaptatie vraagt op haar beurt om zorgvuldige afwegingen, niet alleen tussen kosten en baten, maar ook tussen verschillende gebruikers, waarden en perspectieven.

Hoe pakken we dat goed en gedegen aan? Door ons bewust te worden van ongelijkheid en bij het streven naar een eerlijker systeem aandacht te hebben voor de volgende punten.

1. *Analyseer kwetsbaarheid en impact*

Met ruimtelijke data, zoals waterdiepte- en gevoelstemperatuurkaarten, kunnen we bepalen waar de grootste klimaatrisico's liggen. Deze data kunnen ook slim worden gebruikt om vast te stellen waar bewoners de meeste (mobiliteits)hinder ervaren en het minste handelingsperspectief hebben. Het gaat hierbij om *impact*.

We moeten kijken naar het netwerk als geheel. Mobiliteit bestaat niet uit losse lijnen of diensten, maar uit een verweven netwerk van vervoersmogelijkheden. Dit netwerk verbindt mensen, plekken en modaliteiten. Voer bijvoorbeeld schaduwanalyses uit op langzaamverkeersroutes of begaanbaarheidsanalyses voor belangrijke routes bij hevige regenval. Wat zijn de schakels die niet mogen uitvallen?
Let ook op de ruimtelijke spreiding van sociaaleconomische data. Waar wonen en werken kwetsbare groepen? En waar bevinden zich vitale locaties, zoals scholen en ziekenhuizen?

2. *Ontwerp klimaatadaptief voor iedereen*

Mobiliteitskeuzes in het kader van klimaatadaptatie vragen om meer dan technische effectiviteit of ruimtelijke efficiëntie: ze moeten ook

1 Zie voor een uitgebreide bespreking van (on)bereikbaarheid en (on)gelijkheid NM Magazine 2024 #1. Eerdere uitgaven zijn gratis als pdf te downloaden op nm-magazine.nl/download.

inclusief en klimaatrechtvaardig zijn. Dat betekent dat maatregelen niet alleen gericht moeten zijn op het beperken van bijvoorbeeld hittestress of wateroverlast, maar ook op het vergroten van de toegankelijkheid en leefkwaliteit voor álle bewoners, ongeacht leeftijd, fysieke mogelijkheden of sociaaleconomische positie.

Een interessant ontwerpprincipe is de zogeheten 8-*tot*-80-*analyse*, waarbij de stad klimaatadaptief wordt ontworpen met zowel jongeren als ouderen in gedachten. Als infrastructuur geschikt is voor een achtjarige én een tachtigjarige, dan is zij toegankelijk, veilig en comfortabel voor vrijwel iedereen.

In het kader van klimaatadaptatie betekent dit dat maatregelen behalve technisch effectief, ook uitnodigend en bruikbaar voor kwetsbare groepen moeten zijn. Denk aan een schaduwrijke, goed verlichte wandelroute die bescherming biedt tegen hitte en uitnodigt tot bewegen – prettig voor ouderen, kinderen én mensen met een beperking. Of aan verhoogde fietspaden die regenwater efficiënt afvoeren, maar ook voldoende breed en vlak zijn om veilig te gebruiken door rolstoelgebruikers of mensen met een rollator.

3. Versterk de sociale infrastructuur

In de transitie naar een klimaatbestendige leefomgeving is het versterken van de sociale infrastructuur minstens zo belangrijk als het aanpassen van de fysieke ruimte. Publieke voorzieningen als buurthuizen, bibliotheken, wijkcentra en ov-hubs kunnen een sleutelrol spelen in het vergroten van de veerkracht van buurten.

Deze plekken zijn niet alleen ontmoetingsplaatsen, maar kunnen ook fungeren als toegankelijke schuilplaatsen bij extreme weersomstandigheden. Door ze slim te positioneren en in te richten, zijn ze inzetbaar als koeltespots tijdens warme dagen, als opvanglocaties bij overstromingen of als informatiepunten waar bewoners terechtkunnen voor advies over klimaatadaptieve maatregelen.

4. Ontwerp met herstelvermogen

Niet alles hoeft bestand te zijn tegen elk klimaateffect. Terwijl hittegolven steeds vaker zullen voorkomen, blijft de kans op grootschalige overstromingen in veel gebieden relatief beperkt.

Dit vraagt om een gedifferentieerde benadering, waarbij niet alleen robuustheid maar ook wendbaarheid en herstelvermogen centraal staan. Wendbaarheid betekent dat stedelijke infrastructuur en mobiliteitssystemen flexibel kunnen inspelen op veranderende omstandigheden. Denk aan tijdelijke omleidingsroutes bij wateroverlast, verplaatsbare schaduwplekken of drinkwatervoorzieningen tijdens hittegolven, of flexibele ov-diensten die hun routes of frequentie aanpassen aan acute weersomstandigheden. Zelfs het concept van een dag *watervrij* – als variant op *sneeuw- en ijsvrij*, een dag waarop de stad zich aanpast aan wateroverlast – is denkbaar.

Door te ontwerpen met herstelvermogen in gedachten, kunnen we beter omgaan met de realiteit van klimaatverandering.

5. Betrek bewoners

Om bij te dragen aan procedurele rechtvaardigheid en erkenning is het belangrijk dat belanghebbenden niet alleen worden geïnformeerd over mobiliteitsplannen, maar ook daadwerkelijk kunnen meedenken en meebeslissen. Zeker in buurten waar het vertrouwen in de overheid laag is, is dit cruciaal.

De toetsing van de technische analyse in de wijk is essentieel om tot gedragen oplossingen te komen. Een visuele weergave van knelpunten en kansen op de kaart biedt een concrete basis voor dialoog met bewoners. Herkennen zij de gemodelleerde probleemlocaties? Waar ontstaan volgens hen knelpunten bij hevige regenval? Welke loop- of fietsroutes worden als onaangenaam ervaren?

Door lokale kennis te integreren, kunnen maatregelen effectiever worden afgestemd op de werkelijke behoefte en context.

Tijd voor adaptieve mobiliteit

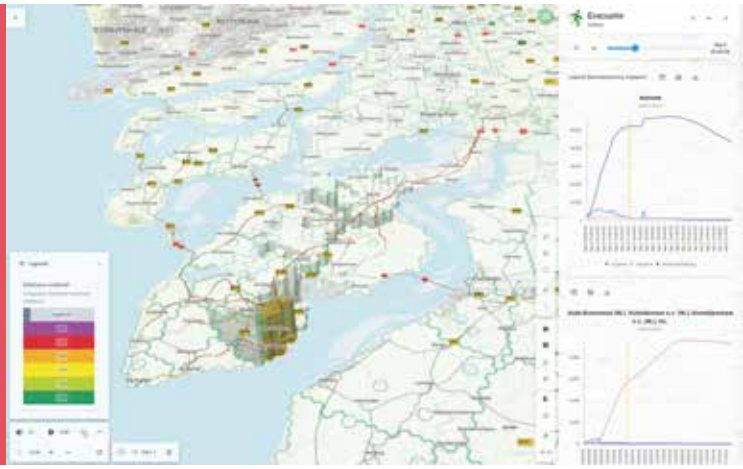
Klimaatverandering is geen 'probleem van later'. Effecten als hittegolven, wateroverlast en bodemdaling zijn al realiteit. En die problemen raken niet iedereen even hard.

Overheden die nú investeren in klimaatrechtvaardige mobiliteit en daarbij oog hebben voor ongelijkheid, bouwen niet alleen aan veerkrachtige netwerken, maar ook aan bereikbaarheid voor iedereen.

De auteurs
Ir. Juliette Eulderink is expert Klimaatadaptatie bij Haskoning.
Esmee van Selst MSc is adviseur Duurzame mobiliteit bij Haskoning.

Evacueren in 3D: verkeerskunde toegepast voor veiligheid

In opdracht van samenwerkingsverband Zuid6 hebben TU Delft en Argaleo een evacuatiemodule ontwikkeld die evacuatiescenario's kan doorrekenen en visualiseren. Veiligheidsregio's kunnen zich zo goed voorbereiden op noodscenario's waarbij grote gebieden ontruimd moeten worden.



Wie een plan moet opstellen voor een grootschalige evacuatie – van het type: 'Walcheren en Beveland moeten leeg' – heeft veel te onderzoeken. Hoeveel mensen wonen er waar in het gebied? Wat is de autodichtheid? Via welke routes kunnen mensen weg? Waar in het wegennet liggen dan de knelpunten? Hoe kan de evacuatie zo over de tijd worden verdeeld dat deze niet in een gridlock eindigt? Enzovoort.

Die vragen zijn dermate complex dat ze niet zonder modelmatige ondersteuning beantwoord kunnen worden. Tegelijkertijd geldt dat werken met modellen ook een drempel kan vormen: ze vereisen vaak specialistische kennis. Dat was een reden voor Zuid6, het samenwerkingsverband van de zuidelijke veiligheidsregio's, om een nieuwe, *gebruiksvriendelijke* evacuatiemodule te ontwikkelen.

Slimme combinatie

Hiervoor benaderde Zuid6 de TU Delft en Argaleo. Die bouwden niet een compleet nieuw model, maar koppelden twee bestaande toepassingen: het verkeersmodel MARPLE en de *Digitwin*-omgeving.

MARPLE is een dynamisch toedelingsmodel van Rijkswaterstaat en TU Delft – het resultaat van ruim twintig jaar onderzoek naar verkeersstromen, verkeersmanagement en routekeuzegedrag. Het wordt veel gebruikt voor studies naar doorstroming en naar de effecten van infrastructuuraanpassingen, verkeersmanagement en incidentafhandeling. Het is voor het eerst dat het model nu ook wordt ingezet voor onderzoek naar grootschalige evacuaties.

De Digitwin van Argaleo is een cloudgebaseerde 3D-omgeving, met onder meer een module voor veiligheidsanalyses. In de evacuatiemodule heeft het de rol van 'venster' naar het verkeersmodel. In Digitwin kunnen scenario's worden voorbereid en berekeningen worden uitgevoerd. De resultaten worden weergegeven op een driedimensionale kaart.

De kracht van de combinatie MARPLE-Digitwin is dat er een nieuw analytisch kader ontstaat: de consequenties van beleidskeuzes en operationele beslissingen – hoe een evacuatie zich in tijd en ruimte ontwikkelt – worden berekend én zichtbaar gemaakt. Dat maakt het mogelijk om modeluitkomsten direct te verbinden aan besluitvorming. Beleidsmakers, modelleurs en hulpdiensten kunnen bijvoorbeeld samen scenario's bekijken en letterlijk zien wat de gevolgen zijn van een bepaalde evacuatieaanpak.

Ontwikkeling en testfase

Aan een eerste versie van de evacuatiemodule is tussen oktober 2024 en oktober 2025 gewerkt. Met dit werkende prototype kunnen scenario's worden aangemaakt, doorgerekend en gevisualiseerd.

De module is in de zomer van 2025 ook getest, met de hulp van tien veiligheidsregio's en Rijkswaterstaat. Als voorbeeldregio is Zeeland gebruikt. Er zijn voor dit gebied verschillende evacuatiescenario's doorgerekend. De resultaten bevestigden dat het model technisch stabiel functioneert en analytisch sterk is: MARPLE is uitstekend geschikt voor óók evacuaties. Minstens zo belangrijk is dat de 3D-visualisatie in Digitwin goed werkt.

De testfase leverde gerichte feedback op voor de volgende ontwikkelstappen. Zo willen gebruikers scenario's graag gefaseerd kunnen instellen en willen ze multimodaal kunnen werken. Ook is er de wens om de resultaten van verschillende regio's te kunnen vergelijken.

Uitrol

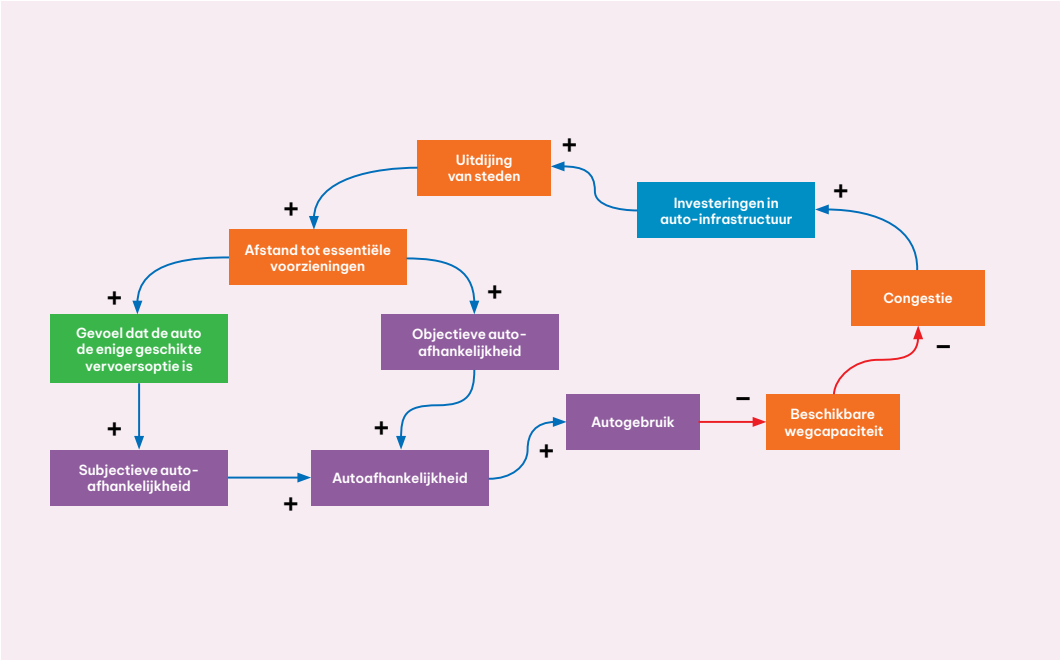
De TU Delft en Argaleo nemen deze punten mee bij de verdere ontwikkeling van de module. Er wordt voorzien in koppelingen met aanvullende modellen voor bijvoorbeeld overstroming, stroomuitval en weersinvloeden. De partijen zullen kijken hoe de Digitwin-omgeving kan worden ingezet voor planvorming, oefening en evaluatie. En er zal worden gewerkt aan een uitrol naar andere gebieden.

Veiligheidsregio's kunnen dan laagdrempelig aan de slag met beleidsontwikkeling, training en voorbereiding. In de hoop dat die evacuaties nooit nodig zullen zijn natuurlijk. ●

De auteurs
Dr. ir. Sascha Hoogendoorn-Lanser is directeur van het Mobility Innovation Centre Delft.
Dr. ir. Henk Taale is onderzoeker aan de TU Delft en adviseur bij Rijkswaterstaat.
Ir. Jeroen Steenbakkers is eigenaar van IT-bedrijf Argaleo.

De impact van het automatische voertuig

In de Verenigde Staten en China rijden er al zelfrijdende voertuigen – robottaxi's – op de openbare weg. Zover is Europa nog niet, maar lang zal het ook hier niet duren. Dat is een goed moment om na te denken over de *impact* van automatisch rijden. Wat doet deze automatiseringsslag bijvoorbeeld met het autogebruik en de autoafhankelijkheid?



Autoafhankelijkheid kent een objectieve en een subjectieve component. De objectieve afhankelijkheid wordt bepaald door meetbare factoren, zoals de afstand tot essentiële voorzieningen en de beschikbaarheid en kosten van alternatieve vervoerwijzen. De subjectieve afhankelijkheid hangt samen met persoonlijke factoren, zoals mobiliteitsgewoonten, de identiteit die aan de auto wordt ontleend, of de mate waarin de auto voelt als de enige 'reële optie'.

Om inzicht te krijgen in de effecten van automatische voertuigen op autoafhankelijkheid en autogebruik, hebben we als TrafficQuest gekeken naar de *impact pathways* van de zelfrijdende auto's naar autoafhankelijkheid en autogebruik. Hiermee doelen op de ketens van causale verbanden die beschrijven hoe de effecten van een verandering doorwerken op systeemniveau. Vooral de terugkoppelingslussen zijn interessant: situaties waarin een verandering zichzelf versterkt doordat een *impact pathway* in een lus eindigt.

Neem bovenstaande figuur. Doordat je in een automatisch voertuig gemakkelijk kan lezen of werken, ervaar je reistijd als minder negatief. Iets verder van je werk wonen, is dan geen probleem meer: je besteedt je reistijd toch wel nuttig. Als maar genoeg mensen dat doen, zorgt dat voor 'uitdijing van steden' – het startpunt van het diagram. Dat vergroot de afstand tot essentiële voorzieningen. En via twee wegen beïnvloedt dat weer de *autoafhankelijkheid*: objectief (grotere afstanden) en subjectief (gevoel dat de auto de enige optie is). Door die toegenomen afhankelijkheid zal het *autogebruik* ook groeien, wat leidt tot meer congestie en op langere termijn mogelijk extra investeringen in auto-infrastructuur. Deze verbeterde infrastructuur faciliteert de verdere uitdijing van steden en maakt zo de versterkende lus rond: méér stedelijke uitdijing blijft dan zichzelf versterken – en daarmee ook autoafhankelijkheid en autogebruik.

Is dat onontkoombaar? Nee, want overheden kunnen ingrijpen om deze vicieuze cirkel te doorbreken. In ons voorbeeld kan de overheid er bijvoorbeeld voor kiezen om bij een toenemende congestie niet te investeren in auto-infrastructuur, maar juist in ov- en fietsvoorzieningen.

Toekomstscenario's

Hoe precies de impact van automatische voertuigen wordt, hangt natuurlijk mede af van de rol die ze krijgen. We hebben daarom drie scenario's vergeleken: 1) een toekomst waarbij automatische voertuigen vooral als ***privéauto's*** fungeren, 2) een toekomst waarin ze vooral als ***robottaxi's*** worden ingezet en 3) een situatie waarin robotbussen rijden (zonder vaste opstapplaatsen en routes).

In alle scenario's zijn we ervan uitgegaan dat gewone privévoertuigen nog steeds beschikbaar zijn. In de scenario's met robottaxi's en -bussen hebben we aangenomen dat de beschikbaarheid hoog is en de kosten relatief laag zijn.

Hoe verschillen de scenario's qua impact? In het eerste en tweede scenario bleken de meeste *impact pathways* te leiden tot een ongewenste toename van autoafhankelijkheid en autogebruik – voornamelijk door verdere stedelijke uitdijing en een mogelijke toename in congestie.

In het scenario met robotbussen waren er echter paden die leidden tot een *afname* van autoafhankelijkheid en autogebruik. Een voorwaarde hierbij is dat de robotbussen zo worden ingezet dat ze complementair zijn aan het huidige ov-systeem en een goede dekking bieden in zowel dichtbevolkte als dunbevolkte gebieden. Dit vraagt om een actieve rol van de overheid bij de implementatie van zulke nieuwe busvoorzieningen. ●

Dit is een (licht bewerkt) artikel uit Verkeer in Nederland 2025 van TrafficQuest. Abonnees van NM Magazine hebben deze publicatie als bijlage bij het tijdschrift ontvangen. De publicatie is ook te downloaden op nm-magazine.nl/download.

Mobiliteit door andere ogen

Foto: Jarretera

In de zuidelijke Randstad – grofweg de regio Haaglanden-Rotterdam – ís het al druk en wordt het de komende jaren alleen maar drukker. Om de regio bereikbaar te houden, sturen de overheden aan op een mobiliteitstransitie naar duurzamer vervoer en minder autoafhankelijkheid. Maar hoe hou je daarbij oog voor de uiteenlopende mobiliteitsbehoeften van burgers en bedrijven? Auteur Casper Stelling van bureau Bijstelling doet op basis van uitgebreid onderzoek enkele aanbevelingen.

Grote kans dat je als lezer van NM Magazine tot de werkende bovenlaag behoort. Je hebt een goed salaris en kiest zelf waar je woont en waar en wanneer je werkt. Je kan geregeld thuiswerken, bezit waarschijnlijk een auto en anders heb je wel een flexibel ov-abonnement van werk. Autoluwe wijken, hogere parkeertarieven, milieuzones – het maakt jou niet uit, want je vindt je weg toch wel.

Maar voor lang niet iedereen zijn mobiliteit en bereikbaarheid zo vanzelfsprekend. En, belangrijk voor de beleidsbepaling, lang niet iedereen kan zomaar elke ingreep in het mobiliteitssysteem hebben. Om de richting en het doel van de *Multimodale Adaptieve Ontwikkelstrategie* te bepalen, gaf het Zuid-Hollandse samenwerkingsverband MoVe ons daarom opdracht onderzoek te doen naar de mobiliteitsbehoefte van burgers en bedrijven.[1]

1 Zie voor meer informatie over het samenwerkingsverband MoVe: move-rdh.nl.

Grote verschillen tussen inwoners...

Hiervoor hebben we een enquête onder 2.700 inwoners uitgezet en nog eens 62 burgers en 24 bedrijven geïnterviewd. Die laten eerst en vooral zien dat de verschillen gróót zijn.

De ***werkende bovenlaag***, in de zuidelijke Randstad zo'n 20 procent van de bevolking, heeft vaak de flexibiliteit om reistijden en werklocaties aan te passen aan de persoonlijke voorkeuren. Investeren in duurzaamheid is geen probleem. Voor deze groep is mobiliteit een middel om hun effectiviteit te maximaliseren en zoveel mogelijk gedaan te krijgen.

De ***gepensioneerde bovenlaag***, 12 procent, blijft mobiel zolang de gezondheid dat toelaat. Duurzaamheid is belangrijk, maar meer nog veiligheid, gemak en comfort. De auto en fiets zijn favoriet. Dankzij mobiliteit lukt het deze groep om lang actief te blijven in de maatschappij: ze bezoeken en ondersteunen familie, doen vrijwilligerswerk en recreëren.

Kansrijke jongeren, 10 procent, reizen meest multimodaal. Dat is niet zozeer uit ideologie, maar simpelweg omdat de auto te duur voor hen is. Deze groep wil veel activiteiten ontplooien: studeren, werken, naar familie en vrienden gaan en de nodige evenementen bezoeken. Mobiliteit bepaalt of al die ambities haalbaar zijn. Is dat niet het geval, dan voelt dat als een flinke belemmering: de *Fear of Missing Out* (FOMO).

De ***werkende middengroep***, 24 procent, vormt de ruggengraat van de economie. Hun situatie is op zich stabiel, maar wat mobiliteit betreft zijn ze ook kwetsbaar. Ze zijn namelijk vaker afhankelijk van een specifieke modaliteit – de auto, of juist het ov of de fiets – en kunnen zich minder makkelijk en snel aanpassen aan (beleids)veranderingen op dit vlak. Mobiliteit is voor hen belangrijk voor productiviteit en bestaanszekerheid.

De ***kwetsbare onderlaag*** is met 35 procent van de bevolking de grootste groep. Zij hebben lage inkomens, uitkeringen of beperkte pensioenen. Dat beperkt in directe zin hun wendbaarheid. Voor hen geldt: geen geld, geen auto, geen alternatief. Dit vergroot hun afstand tot werk en zorg, met sociale isolatie tot gevolg. Mobiliteit is voor deze groep belangrijk om bestaanszekerheid en stabiliteit op te bouwen, maar factoren in het sociale domein bepalen in hoeverre dat ook lukt.

... en tussen bedrijven

Ook de verschillen tussen (typen) bedrijven zijn fors. In de ***industrie, bouw en logistiek***, goed voor 14 procent van de banen, bepaalt wegtransport in belangrijke mate de productiviteit. Congestie, emissiezones en strengere venstertijden drukken hun effectieve werktijd en daarmee hun marges.

Handel en horeca, 22 procent van de arbeidsplaatsen, worstelen met autoluwe binnensteden en hoge parkeerkosten: hoe blijft de winkel of het restaurant gastvrij bereikbaar? Bevoorrading is door venstertijden, zero-emissiezones en congestie een ander knelpunt.

In de sectoren ***onderwijs en zorg***, respectievelijk 7 en 17 procent, piekt de mobiliteit op vaste momenten. Docenten, verpleegkundigen en zorgmedewerkers hebben weinig speelruimte; het ov sluit niet aan op hun werktijden.

Dienstverlening en overheid, met 37 procent de grootste sector, vraagt om flexibiliteit en multimodale bereikbaarheid. De opkomst van hybride werken vermindert de mobiliteitsdruk, maar de noodzaak van goede ov-verbindingen blijft groot.

Tot slot ***cultuur en recreatie***. Qua banen is deze groep veel kleiner dan de bovenstaande groepen, maar de sector genereert wel veel (piek) mobiliteit als publiekstrekker. Dat roept vragen op over de verantwoordelijkheid voor hun bereikbaarheid: waar eindigt de rol van de sector (beheersbaar houden van stromen en impact op omgeving) en begint die van de overheid (algemene bereikbaarheid, regulering en toezicht en handhaving)?

Overwegingen

Als we door onze oogharen naar de verschillen kijken tussen de verschillende inwoners- en bedrijvengroepen, dan valt op hoe uiteenlopend de mobiliteitsbehoeften zijn. En dat is essentieel voor de beleidstrend naar duurzame mobiliteit in de Randstad.

We zien een duidelijke tweedeling: groepen met veel economisch, sociaal en cultureel kapitaal – zoals hoger opgeleiden, bedrijven in de zakelijke dienstverlening en (semi)overheden – beschikken over het algemeen over voldoende aanpassingsvermogen om nieuw mobiliteitsbeleid op te vangen of te omzeilen. Zij zijn vaak multimodaal bereikbaar en minder kwetsbaar voor veranderingen in één vervoersvorm.

Daartegenover staan burgers met lagere inkomens en bedrijven in sectoren als bouw, industrie, detailhandel, horeca en zorg. Voor hen is de beschikbaarheid van specifieke modaliteiten direct verbonden met hun bestaanszekerheid. Beleid dat die mobiliteit beperkt, raakt hen dus sneller in inkomen, tijdsbesteding en kansen. We constateren wisselende afhankelijkheid in deze groep van auto, openbaar vervoer en tweewielers.

Aanbevelingen

Onze verkenning van burgers en bedrijven plus de nadere overwegingen, hebben we vertaald in drie aanbevelingen. Samen kunnen die richting geven aan een realistischer en eerlijker mobiliteitstransitie.

1. *Minder oordelen over autoafhankelijkheid*

De auto staat bij veel burgers nog op één als het om mobiliteit gaat. Voor een deel zal dat uit gewoonte of voor het gemak zijn. Maar voor veel anderen zijn er simpelweg geen bruikbare alternatieven. Voor hen staat de auto voor bestaanszekerheid: zonder vervoer geen werk, geen opleiding, geen mantelzorg. Beleid dat de auto simpelweg ontmoedigt zonder reëel alternatief, vergroot dan ook ongelijkheid. Dit geldt voor een andere groep ook voor het ov.
Er is dus behoefte aan beleid dat *autoafhankelijkheid* niet veroordeelt, maar *begrijpt en geleidelijk afbouwt*, bijvoorbeeld door te voorzien in beter regionaal ov, deelvervoer op maat en bereikbare voorzieningen.

2. *Een betrouwbare mobiliteitstransitie*

De bereidheid tot verandering is best groot – mits het beleid consistent en eerlijk is. Burgers en bedrijven hebben een stabiel perspectief nodig om zich aan te passen en kwetsbare burgers en bedrijven hebben meer tijd en steun nodig dan de rest.
Schommelingen of tegenstrijdigheden in beleid ondermijnen het vertrouwen. Overheden moeten daarom *meerjarig consistent mobiliteitsbeleid* voeren en helder communiceren over wat burgers en bedrijven mogen verwachten.

3. *De vergeten schakel: de woningmarkt*

Mobiliteit begint bij wonen. Wie geen keuze heeft op de woningmarkt, heeft minder aanpassingsvermogen in mobiliteitsopties.
Een integrale aanpak van *wonen en mobiliteit* kan dat probleem doorbreken: betaalbare woningen op goed ontsloten locaties, eerlijke verdeling van parkeerruimte bij nieuwe woningen en rondom werkplekken, meer nabijheid van dagelijkse voorzieningen en meer schuifruimte (overcapaciteit) in wonen en werken zodat mensen *kunnen* kiezen.

Van beleid naar praktijk

Het onderzoek maakt duidelijk dat de mobiliteitstransitie niet alleen een vervoertechnische of milieukundige opgave is, maar ook een maatschappelijke.

De sleutel ligt in differentiatie: niet iedereen heeft dezelfde mogelijkheden of dezelfde behoeften. Wat de verschillende groepen burgers en bedrijven wél gemeen hebben, is hun behoefte aan duidelijkheid en voorspelbaarheid over zowel het reizen zelf als het mobiliteitsbeleid. Om tot een succesvolle mobiliteitstransitie te komen, is het dan ook belangrijk dat overheden kiezen voor een doelgroepgerichte benadering – maatwerk in plaats van generiek beleid – en beleid dat consistent en betrouwbaar is.

De auteur
Drs. Casper Stelling is adviseur van Bijstelling.

Beter voorspellen met Long Short-Term Memory

In het moderne verkeersmanagement neemt *voorspellen* een steeds belangrijkere plek in. Logisch, want wie in staat is om vooruit te kijken, kan anticiperen – en dus effectiever informeren, bijsturen en ingrijpen. Maar hoe kom je in real-time tot goede voorspellingen van bijvoorbeeld reistijden of de ontwikkeling van een file? In deze bijdragen duiken we in de intelligente modellen van het type *Long Short-Term Memory*, LSTM. Hoe werken ze? En wat kunnen we ermee?

Illustratie: Andrei Dzemidzenka

Aan verkeersdata geen gebrek. Van vrijwel alle rijkswegen, provinciale wegen en belangrijke gemeentelijke wegen krijgen we per wegvak en per minuut gegevens binnen als snelheid en intensiteit. Die data geven een scherp beeld van de toestand op de weg *nu*, maar zijn ook input voor voorspellende modellen.

Dat is belangrijk om bijvoorbeeld goede reistijdschattingen te maken: 'u komt zo laat op uw bestemming aan'. Of om tot de tekst op informatiepanelen te komen: 'Tot knooppunt Everdingen via A27: 7 min +1, via A2: 9 min +12'.

Wat voor methodieken en modellen zijn geschikt om dit soort voorspellingen te doen? Voor lineaire en stationaire reeksen volstaat *exponentiële afvlakking* met bijvoorbeeld het ARIMA-model.[1] Wanneer de dynamiek mechanistisch en (bijna) lineair is, zijn *toestandsruimtemodellen met Kalman-filtering* een mooie optie. Deze methoden zijn transparant en volstaan uitstekend voor min of meer gewone verkeersomstandigheden.

Het probleem is echter dat het op veel plaatsen zo druk is op de weg, dat van 'gewone omstandigheden' steeds minder sprake is. Vooral in moderne stedelijke netwerken speelt dit probleem. De laatste jaren grijpen modelspecialisten daarom naar zwaarder geschut: ze zijn gaan experimenteren met *machine-learningmethoden* die meer variabelen kunnen verwerken, zoals kalender- en weerskenmerken en gebeurtenisindicatoren. Dat is inderdaad een verbetering, maar met standaard *machine learning* blijven langetermijn- en contextafhankelijke effecten toch te vaak buiten beeld.

Recurrente neurale netwerken kunnen temporele afhankelijkheden leren. De 'gewone' variant van dit type modellen heeft nog moeite om informatie over langere perioden vast te houden, doordat de gradiënten geleidelijk vervagen. Maar de variant *Long Short-Term Memory* of LSTM lost dit probleem op met extra intelligentie die bepaalt wat belangrijk is om te onthouden en wat vergeten kan worden.

Dat maakt een LSTM uiterst geschikt voor het voorspellen van de verkeerstoestand – ook in minder gewone omstandigheden.

1 ARIMA staat voor *Autoregressive Integrated Moving Average*. Het is een veelgebruikte statistische techniek voor het analyseren én voorspellen van tijdreeksgegevens.

Technische toelichting

Om te begrijpen hoe deze aanpak werkt, staan we kort stil bij een praktisch voorbeeld: hoe een LSTM de snelheid op een corridor enkele minuten vooruit voorspelt.

Het model kunnen we ons het beste voorstellen als een reeks opeenvolgende 'geheugencellen'. Omdat we meetdata over de snelheid per minuut binnenkrijgen, zou een cel voor een minuut in de tijd staan. Figuur 1 laat zien welke processen zich in een enkele geheugencel afspelen en hoe de 'lijnen' zijn met de voorafgaande en de navolgende cel.

Elke minuut bestaat de invoer uit de actuele snelheid op het wegvak, enkele snelheden verder stroomopwaarts, de fase van de verkeerslichten, weersinformatie en een indicator voor bijzondere gebeurtenissen. Binnen de cel houdt het model op tijdstip *t* twee sporen bij. De *hidden state* (*h*) is een korte samenvatting die de cel meekrijgt van de voorafgaande cel (h_{t-1}) en die geüpdatet wordt doorgegeven aan de volgende cel (h_t). De *cell state* (*c*) is een contextueel geheugen dat belangrijke gebeurtenissen over de tijd heen meeneemt. Ook hier is er sprake van informatie uit de voorgaande cel (c_{t-1}) en van bewerkte informatie die naar de volgende cel gaat (c_t).

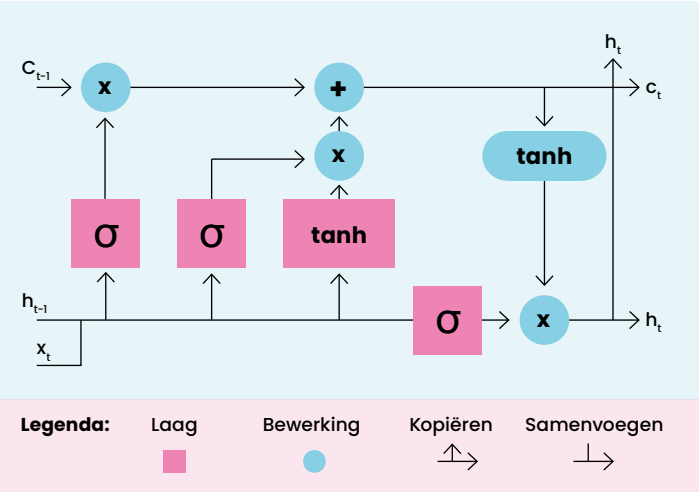
Drie beslispoorten

De bewerkingen die op *h* en *c* worden losgelaten, kunnen we het beste zien als drie 'beslissingen' die de cel neemt. In dit verband spreken we wel van *gates*, beslispoorten.

De forget-poort: welke oude context kunnen we vergeten en welke onthouden we? Via het bovenste spoor komt vanuit de voorgaande cel het contextuele geheugen c_{t-1} binnen. Een zogenaamde *sigmoid* (σ)-laag[2] fungeert als *forget*-poort en produceert een waarde f_t tussen nul en één. Deze waarde bepaalt hoeveel van het oude geheugen behouden blijft.
Wanneer bijvoorbeeld detectoren gedurende enkele minuten lage snelheden (= file) rapporteren, ligt f_t meestal rond 0,8-1,0. De cel zorgt er dan voor dat deze file niet uit het geheugen gewist wordt, maar behouden blijft. Zodra de snelheid weer terugkeert naar het gebruikelijke niveau, daalt f_t naar 0,1–0,3 en wordt de file 'vergeten'.

De input-poort: geven meetdata reden om het contextuele geheugen te updaten? Hier werkt een tweede sigmoid (σ)-laag, de *input*-poort, nauw samen met een eerste *tanh*-blok (roze in de figuur).[3] Dit blok stelt nieuw geheugen voor op basis van de meest recente meetdata.
Stel bijvoorbeeld dat de nieuwe meetdata laten zien dat het verkeer stroomopwaarts vertraagt. Het tanh-blok produceert dan een negatieve waarde, bijvoorbeeld -0,8: 'het systeem detecteert een daling'. De *input*-poort kent hieraan een waarde toe (i_t) van 0,9: 'deze verandering is belangrijk'. Het resultaat is dat de vertraging stroomopwaarts in het contextuele geheugen c_t wordt opgeslagen.

De output-poort: welke samenvatting geven we door? In dit proces werkt een derde sigmoid (σ)-laag, de *output*-poort, samen met een tweede tanh-blok (blauw in de figuur). Het doel van dit proces is om het geheugen *h*, de samenvatting, te updaten.
Tijdens een verstoring neigt de *output*-poort (o_t) ertoe meer van de opgeslagen context door te geven, zodat de voorspelling goed rekening houdt met de verstoring. Zodra de omstandigheden weer normaal worden, vermindert o_t deze doorgifte en keert de uitvoer terug naar het gebruikelijke gedrag.



Figuur 1:
Een LSTM-geheugencel. De cirkels geven een vermenigvuldiging of optelling aan. De blokken zijn getrainde lagen met een σ- of tanh-activatie.

De drie *poorten* werken dus als 'zachte' schakelaars die bij elke stap bepalen wat moet worden bewaard, wat moet worden overschreven en wat moet worden doorgegeven. Omdat de *cell state* informatie over de tijd heen doorgeeft met gecontroleerde updates, kan belangrijke verkeerscontext gedurende vele minuten behouden blijven. Deze opzet pakt het 'vervaagprobleem' aan dat de gewone recurrente modellen beperkt.

Architectuur

In de praktijk volstaat meestal een relatief eenvoudige architectuur. Voor korte voorspellingshorizonnen zijn één of twee LSTM-lagen voldoende. Voor langere horizonnen werken een *encoder* en *decoder* samen: de *encoder* vat de recente geschiedenis samen, terwijl de *decoder* stap voor stap de toekomst voorspelt op basis van die gecodeerde geschiedenis en zijn eigen eerdere voorspellingen.

Toepassingen

Nu de vraag wat we als verkeerskundigen met LSTM's kunnen. Om daar een beeld van te geven, bespreken we enkele werkende toepassingen uit de praktijk.[4]

Voorspelling van aankomsttijden. De geschatte aankomsttijd is cruciaal voor verkeersmanagement, reizigersinformatie en vlootbeheer. Een oplossing die in de praktijk al tot flink nauwkeurigere voorspellingen leidt, is die van een graafneuraal netwerk (GNN)[5] in combinatie met LSTM. Het GNN modelleert dan de weginfrastructuur en de actuele toestand ervan, terwijl de LSTM de temporele dynamiek vastlegt.

2 Een *sigmoid* (σ)-laag kunnen we zien als een 'zachte' schakelaar. Deze laag zet een bepaald invoergetal om in een waarde tussen 0 en 1. Bij bijvoorbeeld een *forget*-poort zou een nul 'compleet vergeten' betekenen, één 'alles onthouden'. De waarde kan echter ook 0,1 of 0,2 zijn of 0,9. Hiermee is een zachte beslissing mogelijk, zoals deels of geleidelijk vergeten.

3 *Tanh* staat voor hyperbolische tangens en is een functie die getallen omzet naar waarden tussen -1 en +1. Deze functie geeft dus een *richting* mee aan de waarde, zoals een dalende snelheid (tanh is negatief) of juist een stijgende (tanh is positief).

4 Zie de online versie van dit artikel op nm-magazine.nl voor de literatuurverwijzingen bij de toepassingen.

5 Een *graaf* is een netwerk van knooppunten (zoals sensoren, haltes of kruispunten) die met elkaar verbonden zijn via lijnen (wegen of routes). Modellen die *graafneurale netwerken* gebruiken, leren hoe verschijnselen als snelheidsveranderingen of reizigersstromen zich door dit netwerk verspreiden.

Kortetermijnverkeer en corridorsnelheden. Op een enkele corridor of een beperkt aantal wegvakken kan een LSTM de opbouw en afname van spitsverkeer vastleggen met minimale *feature engineering*. Naarmate de ruimtelijke omvang groeit tot tientallen of honderden sensoren, gaan netwerkeffecten overheersen en zijn hybride modellen met graaf- en recurrente componenten beter.

Reizigersaantallen, halteertijden en perronmanagement. Reizigersstromen en aankomsten hebben hun dagelijkse en wekelijkse ritmes. Maar tijdens feestdagen en grote evenementen wijken de waarden juist behoorlijk af. Een compacte LSTM leert hoelang recente omstandigheden van invloed blijven, en zet intervallen, instapvolumes en eenvoudige gebeurtenisindicatoren om in kortetermijnvoorspellingen voor halteertijd en perrondrukte.
Wanneer ruimtelijke effecten belangrijk zijn, kan de LSTM worden gecombineerd met een netwerkgraaf.

Verkeerslichten en fasevoorspelling. Adaptieve regelingen profiteren van kortetermijnvoorspellingen van cycluslengte en fasenverdeling. Een LSTM die gedetailleerde detectoraantallen en fasestatussen als invoer gebruikt, kan de tijd tot groen en de duur van komende cycli meerdere cycli vooruit voorspellen. Dat ondersteunt prioriteitslogica en snelheidsadvies met minder handmatige regels. Een kleine convolutionele *front-end* kan patronen binnen een cyclus samenvatten, terwijl de LSTM de toestand over meerdere cycli heen vasthoudt. Op echte kruispunten bleek deze opzet nauwkeurige cyclus- en fasevoorspellingen te leveren op basis van detectorgegevens.

Aandachtspunten

Ook bij LSTM's geldt uiteraard dat de resultaten afhankelijk zijn van een juiste opzet van het systeem. We noemen een aantal aandachtspunten.

Databereik en dekking. De frequentie van de gegevens moet aansluiten bij de beslissingen die genomen worden. Voor snelheden op wegvakken, vertrektijden en halteertijden volstaan meestal enkele maanden aan historische data met een resolutie van *één tot vijf minuten* om dagelijkse patronen en gangbare verstoringen vast te leggen. Voor bijvoorbeeld planningshorizonnen zijn jaren aan *dagelijkse of wekelijkse gegevens* nuttig.
Tijdstempels en tijdzones moeten consistent worden gehanteerd over alle databronnen heen – veel 'modelleerfouten' blijken uiteindelijk timingfouten te zijn. Ook ontbrekende waarden vragen om speciale aandacht. Kleine hiaten kunnen voorwaarts of achterwaarts worden ingevuld én gemarkeerd, zodat het model ze niet aanziet voor echte metingen. Langere hiaten worden beter opgevangen met modelgebaseerde imputatie die informatie 'leent' van verwante signalen. Als een sensor structureel onbetrouwbaar blijkt, is het beter die (tijdelijk) buiten gebruik te stellen.

Kenmerken en modelomvang. De basisopzet is doorgaans eenvoudig: een recent tijdvenster van de doelvariabele, kalenderkenmerken en een beperkte set weers- en gebeurtenisindicatoren. Wanneer een wegvak beïnvloed wordt door segmenten stroomopwaarts, worden die signalen expliciet meegenomen.
Als netwerkeffecten de dynamiek domineren, is een 'graafbewust model' (*graph-aware model*) beter: een standaard LSTM is er niet op ingericht om de topologie te leren. In risicogevoelige toepassingen is het bovendien beter om probabilistische uitkomsten te rapporteren – een centrale schatting met een onzekerheidsband in plaats van één enkel getal.

Drift en hertraining. Verkeers- en vervoerspatronen veranderen voortdurend door werkzaamheden, omleidingen, dienstregelingswijzigingen en seizoenseffecten. Continue prestatiemonitoring over een schuivend tijdvenster maakt veranderingen vroegtijdig zichtbaar, zodat hertraining kan plaatsvinden zodra bijvoorbeeld de betrouwbaarheid van de voorspelde intervallen afneemt.
Lichte drift kan vaak worden opgevangen door *fine-tuning* op basis van het laatste modelcheckpoint, in combinatie met geactualiseerde *scalers*, vakantiekalenders en gebeurtenisindicatoren. Structurelere breuken vragen om een volledige hertraining op bijgewerkte historische data. Het is wel belangrijk om van deze updates en dataveranderingen een *changelog* bij te houden, zodat prestatieverschillen traceerbaar blijven.

Onzekerheid die door de keten reist. Wanneer een voorspelling een vervolgactie aanstuurt, moet de onzekerheid in die voorspelling worden meegegeven. Zo kan bij het gebruik van snelheidsvoorspellingen voor aankomsttijdschattingen de hele verdeling worden doorgegeven, zodat bijvoorbeeld een logistieke partij een aankomsttijd met betrouwbaarheidsinterval ziet in plaats van een snelheid met foutmarge.

Conclusie

Klassieke voorspelmethoden zijn betrouwbaar zolang patronen stabiel zijn. LSTM's zijn juist bedoeld voor situaties waarin interacties sterk zijn en de invloed van de recente geschiedenis afhangt van de context.

LSTM's zijn níet bedoeld om de topologie van een netwerk te doorgronden. Is die topologie relevant, dan is het vaak het beste de LSTM te koppelen aan graaflagen.

Een verstandige aanpak is om te beginnen met de eenvoudigste methode die een beslissingsvraag beantwoordt. Indien nodig kan geleerd temporeel geheugen worden toegevoegd. Wanneer netwerkeffecten overheersen, kan ook nog ruimtelijke structuur worden ingebouwd. Echte implementaties zijn tot slot te gebruiken als leidraad voor de volgende verbetering.

De auteurs
Mingze Gong is onderzoeker van het DAIMoND Lab van TU Delft. Hij wordt begeleid door dr. Yanan Xin, dr. ir. Winnie Daamen en prof. dr. ir. Serge Hoogendoorn.
Willem-Jan Gieszen is onderzoeker van het TTS Lab van TU Delft. Zijn begeleiders zijn prof. dr. ir. Serge Hoogendoorn en dr. ir. Haneen Farah.

TML bouwt verkeersdatatools voor Vlaams-Brabant

In opdracht van provincie Vlaams-Brabant werkt Transport & Mobility Leuven (TML) sinds september 2025 aan gebruiksvriendelijke tools die lokale verkeersdata *bruikbaar* maken.

Vlaams-Brabant beschikt over het dichtste netwerk van Telraam-sensoren ter wereld. Hoewel deze sensoren uitgebreide data genereren over verkeersvolumes en modaliteiten, blijkt het voor veel gebruikers nog steeds lastig om daaruit concrete inzichten te halen. Burgers beschikken niet over de juiste tools en mobiliteitsambtenaren hebben vaak onvoldoende tijd om de data grondig te analyseren.

Intuïtieve toepassingen

Daarom werkt een multidisciplinair team van mobiliteitsexperts, datatechnologen en onderzoekers aan intuïtieve toepassingen die lokale verkeersdata vertalen naar heldere en bruikbare inzichten. Niet de beschikbare data, maar de behoeften van gebruikers – beleidsmakers, bewoners en andere lokale stakeholders – staan daarbij centraal. Met deze aanpak wil de provincie vermijden dat opnieuw instrumenten ontstaan die te technisch of te complex zijn om effectief ingezet te worden.

Binnen het project richt TML zich op het omzetten van mobiliteitsdata naar concrete toepassingen voor gemeenten, zoals het detecteren van sluipverkeer, inzicht krijgen in fietsstromen of het meten van de impact van evenementen. Daarbij onderzoekt TML hoe slimme technieken, waaronder machine learning, kunnen bijdragen aan snelle, gerichte en betrouwbare informatie voor iedereen die betrokken is bij het lokale mobiliteitsbeleid.

Meer info: **willem.himpe@tmleuven.be**

Bijstelling onderzoekt mobiliteitsgedrag in ‘STOMP-nieuwbouwwijken’

Bijstelling voert in opdracht van CROW onderzoek uit naar de tevredenheid en het mobiliteitsgedrag van bewoners van nieuwbouwwijken die sinds 2019 zijn ontwikkeld volgens het STOMP-principe. Het onderzoek richt zich op de vraag in hoeverre deze wijken daadwerkelijk leiden tot ander mobiliteitsgedrag en minder autogebruik.

Het STOMP-principe staat voor de prioritering Stappen, Trappen, OV, MaaS en Personenauto. Het doel is de ‘autoafhankelijkheid’ terug te dringen. Maar lukt dat ook?

Het onderzoek gaat in op vragen als: stimuleren deze wijken inderdaad minder autobezit en -gebruik, hoe waarderen bewoners het aanbod van deelmobiliteit en waar parkeren bewoners hun auto’s wanneer zij binnen de wijk geen parkeerrecht hebben? Ook worden verschillen geanalyseerd tussen specifieke nieuwbouwprojecten en landelijke gemiddelden, en tussen binnenstedelijke ontwikkelingen en nieuwe woonwijken aan de stadsrand of daarbuiten.

Eind 2025 is het onderzoek afgerond.

Meer info: **mitchel@bijstelling.nl**

Nieuw verkeersmodel helpt Midden-Holland sturen op mobiliteit

De regio Midden-Holland beschikt over een vernieuwd regionaal verkeersmodel: RVMH5.0. Dit door Goudappel ontwikkelde model biedt de Omgevingsdienst Midden-Holland en de gemeenten Gouda, Alphen aan den Rijn, Zuidplas, Bodegraven-Reeuwijk, Waddinxveen en Krimpenerwaard een instrument om onderbouwde beleidskeuzes te maken en netwerkmanagement nog beter in te zetten.

Waar veel modellen werken met gemiddelde reizigersstromen, maakt RVMH5.0 gebruik van het geavanceerde *tour based* micromodel Octavius. Dit model kijkt niet alleen naar afzonderlijke ritten, maar naar volledige verplaatsingsketens van personen (bijvoorbeeld van huis naar werk en weer terug) en houdt daarbij rekening met kenmerken als leeftijd, autobezit en werkpatroon. Dat levert realistischere voorspellingen op en maakt het mogelijk om beleid beter af te stemmen op specifieke doelgroepen, zoals ouderen of gezinnen.

Het vernieuwde model sluit bovendien aan op de landelijke standaard NRM2024 en is daardoor ook bruikbaar voor bovenregionale analyses.

Transparante basis

Voor het toekomstjaar 2040 zijn met het model drie scenario's doorgerekend. Alle betrokken partijen hebben toegang tot de resultaten via *OmniTRANS Analytics*, het online platform waarin uitgangspunten en modelresultaten helder worden gevisualiseerd. Dat maakt het model niet alleen een krachtig rekeninstrument, maar ook een transparante basis voor samenwerking en dialoog.

Meer info:
sschoorlemmer@goudappel.nl

Noord-Holland laat gebruik P+R's onderzoeken

In opdracht van de provincie Noord-Holland en de gemeenten Bergen, Uitgeest, Castricum en Heiloo onderzoekt Bijstelling het gebruik van de P+R-terreinen in de regio 'BUCH'.

De P+R's worden goed gebruikt en de vraag neemt alleen maar toe. Capaciteitsuitbreiding is op korte termijn niet mogelijk, dus is het zaak om de bestaande capaciteit zo goed mogelijk te benutten.
Het doel van het onderzoek is om met enquêtes en diepte-interviews te bepalen hoeveel *niet*-treinreizigers de P+R's gebruiken. Ook gaat Bijstelling na hoe groot het aandeel is dat ook zou kunnen fietsen. Door deze doelgroepen te beïnvloeden om een andere keuze te maken, kunnen de gemeenten ruimte creëren op de P+R's om meer treinreizigers te faciliteren.

Meer info:
thijmen@bijstelling.nl

STREAMS-project ontwikkelt systeem voor veilige verkeersafwikkeling bij wegwerken

In opdracht van VLAIO onderzoekt Transport & Mobility Leuven (TML) hoe de verkeersveiligheid bij wegwerkzaamheden kan worden verbeterd. Het onderzoeksproject STREAMS – *Safe Traffic and Road Evaluation, Analysis and Monitoring System* – richt zich daarbij specifiek op de bescherming van kwetsbare weggebruikers, zoals fietsers en voetgangers.

TML is in juni 2025 gestart met werken aan STREAMS. In het project integreert een consortium verschillende geavanceerde technologieën. RGB-, thermische en LiDAR-sensoren worden gekoppeld aan AI-gestuurde analyses, aangevuld met inzichten van weggebruikers en diverse verkeerssimulaties. Op die manier kunnen risico's vroegtijdig worden opgespoord en voorspeld, wordt de toestand van infrastructuur nauwkeuriger gemonitord en kunnen realtime gegevens direct worden ingezet in verkeersbeheersystemen. Het uiteindelijke doel is de ontwikkeling van een krachtig monitorings- en beslissingsondersteunend systeem dat bijdraagt aan het voorkomen, beperken en sneller verhelpen van risico's en hinder bij wegwerken.

Binnen het consortium vervult TML een sleutelrol. Het onderzoekscentrum zal de micro-interacties tussen weggebruikers in detail analyseren, veiligheidsparameters definiëren voor kwetsbare groepen en simulaties en impactanalyses uitvoeren rond congestie, veiligheid en emissies. TML zal de onderzoeksresultaten daarna vertalen naar praktische richtlijnen en beleidsadvies voor overheden en wegbeheerders.

Meer info:
sven.maerivoet@tmleuven.be

Haskoning levert hinderkaarten voor Overijssel en Gelderland

In juli 2025 hebben de provincies Overijssel en Gelderland Haskoning opdracht gegeven om per kwartaal overzichtskaarten op te stellen van geplande evenementen, wegwerkzaamheden en spoorwerkzaamheden binnen de acht regio's van Oost-Nederland.

Deze hinderkaarten ondersteunen de gezamenlijke hinderaanpak in de regio en bieden inzicht in de impact van werkzaamheden op het regionale netwerk, zowel op korte als op langere termijn.

De kaarten worden samengesteld op basis van gegevens uit Melvin, SPIN en LTC en gevisualiseerd in overzichtelijke regionale kaarten met een doorkijk tot vijf jaar vooruit. Haskoning combineert een grotendeels geautomatiseerde methode voor dataverzameling en -verwerking met regionale expertise. In samenwerking met Rijkswaterstaat, de provincies en de grootste gemeenten worden ook langetermijnprojecten geïnventariseerd die nog niet in bestaande meldsystemen zijn opgenomen.

De hinderkaarten bevatten uitsluitend de meest impactvolle projecten; minder ingrijpende werkzaamheden worden in een aanvullende tabel vermeld. Dit resulteert in een betrouwbaar en volledig product waarmee wegbeheerders planningsruimte kunnen beoordelen en mogelijke conflicten of raakvlakken vroegtijdig kunnen signaleren.

Uniforme werkwijze

De gezamenlijke aanpak van Gelderland en Overijssel leidt tot een uniforme werkwijze voor heel Oost-Nederland. De methodiek van Haskoning bouwt voort op eerdere ervaringen in Noord-Brabant en Zeeland, waar het bureau al langere tijd verantwoordelijk is voor het inzichtelijk maken van langetermijnhinderplanningen.

Meer info:
jorrit.stegeman@haskoning.com
alex@smienkverkeer.nl

SWARCO verzorgt onderhoud twee tunnels in één contract

In opdracht van Rijkswaterstaat is SWARCO sinds deze zomer verantwoordelijk voor het onderhoud van twee belangrijke Nederlandse tunnels: de Koning Willem-Alexandertunnel in Maastricht en de Salland-Twentetunnel in Nijverdal. De tunnels liggen tweehonderd kilometer uit elkaar, maar vallen onder één contract.

Salland-Twentetunnel, Nijverdal - Foto: Bennie91

Rijkswaterstaat besloot beide tunnels in één contract onder te brengen, omdat ze zijn gebouwd volgens dezelfde Landelijke Tunnelstandaard. Deze uniforme aanpak maakte het mogelijk om de werkzaamheden efficiënt te bundelen.

De twee tunnels verschillen in omvang en opbouw. De Koning Willem-Alexandertunnel bestaat uit twee buizen: één voor de A-weg en één voor de N-weg. De Salland-Twentetunnel heeft één buis en ligt direct naast een spoortunnel. Bovendien ontbreekt hier een zogenoemd 'midden tunnel kanaal'. Daardoor vraagt deze tunnel om extra aandacht bij calamiteiten. Ondanks de verschillen gelden voor beide tunnels dezelfde strikte eisen op het gebied van veiligheid, beschikbaarheid en onderhoud.

Het contract omvat zowel vast als variabel onderhoud. Dat betekent niet alleen regulier werk zoals inspecties en periodiek onderhoud, maar ook het uitvoeren van levensverlengende maatregelen. De Koning Willem-Alexandertunnel is op 16 juni 2025 overgedragen aan SWARCO, de Salland-Twentetunnel op 29 augustus.

Meer info: **niels.haenen@swarco.com**

Goudappel biedt gemeenten grip op sluipverkeer

Goudappel heeft voor de gemeenten Altena en West Betuwe een innovatieve aanpak ontwikkeld om sluipverkeer effectief aan te pakken. Op basis van *floating car data* krijgen beide gemeenten inzicht in sluiproutes, reistijdwinst en verkeersintensiteiten. Hiermee kunnen zij gericht maatregelen nemen.

De gemeente Altena heeft te maken met automobilisten die files op de A27 mijden via smalle polderwegen. West Betuwe ondervindt overlast van sluipverkeer door files op de A2. Het gevolg: verkeersonveiligheid, overlast in dorpskernen en kapotgereden bermen.

Drie categorieën verkeer

In plaats van al het verkeer over één kam te scheren, maakt Goudappel onderscheid tussen drie groepen. Zuivere sluipers verlaten de snelweg voor de file en voegen er na de file weer in. Semi-sluipers – ook wel regionaal bestemmingsverkeer – hebben een bestemming of herkomst in het gebied en kiezen voor een afrit vóór of juist ná de file. De derde categorie betreft lokaal verkeer en heeft niets met de files te maken.

Deze verfijnde analyse levert waardevolle inzichten op. Zo wordt duidelijk waar de echte knelpunten zitten en welke wegen het meest belast worden. De reistijdwinst voor sluipers blijkt vaak beperkt.

Maatwerk in maatregelen

De uitkomsten helpen gemeenten om hun maatregelenpakket nauwkeuriger af te stemmen. Sluipverkeer kan effectief worden geweerd zonder dat lokale bewoners en bestemmingsverkeer onnodig worden gehinderd. Goudappel leverde aan beide gemeenten de data-analyse en ondersteunde West Betuwe bij het opstellen van een effectief maatregelenpakket. Uniek hierbij is de datagedreven onderbouwing die de gemeenten de handvatten biedt om knelpunten gericht aan te pakken.

Meer info:
jbirnie@goudappel.nl
amouw.goudappel.nl

Onderzoek naar maatregelen hinderaanpak A20

Bijstelling voert in opdracht van Zuid-Holland Bereikbaar een onderzoek uit naar mogelijke maatregelen om de hinder van de werkzaamheden aan de A20 bij Rotterdam in 2026 en 2027 te beperken.

Het onderzoek richt zich op het ontwikkelen van reële ketenreismogelijkheden via herkomsthubs, corridorhubs en bestemmingshubs. Die moeten reizigers tijdens de onderhoudsperiode alternatieve reisopties bieden die het netwerk ontlasten.

Aanpak

Binnen het onderzoek worden de grootste bundels van herkomsten en bestemmingen op de betreffende netwerkschakel in kaart gebracht. Voor deze bundels bepaalt Bijstelling kansrijke ketenreizen en identificeert het bureau bijbehorende herkomst-, corridor- en bestemmingshubs, inclusief de benodigde openbaarvervoerverbindingen. Voor elke keten worden vervolgens maatregelen uitgewerkt, zoals de uitbreiding van P+R-locaties, het inzetten van carpoolplaatsen of privaat parkeerterrein, het versterken van HOV-verbindingen, het aanbieden van (extra) deelmobiliteit en het realiseren van BRT-light op corridors waar het openbaar vervoer momenteel geen volwaardig alternatief biedt.

De maatregelen worden zodanig uitgewerkt dat zij kunnen worden afgewogen volgens de spelregels van Rijkswaterstaat, zodat een goed onderbouwd en uitvoerbaar pakket ontstaat ter ondersteuning van de regionale hinderaanpak.

Meer info:
casper@bijstelling.nl

Nieuw busstation Schiphol: betere overstap en bereikbaarheid

Het busstation bij Schiphol Plaza krijgt de komende jaren een complete metamorfose. In opdracht van Schiphol zet Goudappel innovatieve methoden in om Schiphol Plaza optimaal te laten functioneren voor alle modaliteiten.

De huidige haltes van het busstation Schiphol Plaze zullen plaatsmaken voor één groot perroneiland met overkapping en twintig halteplekken. Ook komen er drie nieuwe opgangen vanuit de treintunnel, zodat reizigers sneller en directer kunnen overstappen tussen trein en bus. Daarnaast wordt een nieuwe fietsenstalling gebouwd met ruimte voor 500 fietsen. De vernieuwing draagt sterk bij aan de bereikbaarheid van Schiphol met het openbaar vervoer.

Rol van Goudappel

Goudappel is vanaf de start betrokken bij dit project met analyses van verkeersveiligheid, reizigersgedrag, verkeersafwikkeling en busbetrouwbaarheid. Samen met partners als BCN, Mijksenaar, InControl, Haskoning, NACO en DGMR werkt het bureau het schetsontwerp en voorlopig ontwerp uit tot een definitief ontwerp. Inmiddels is de uitvoering van de bouwwerkzaamheden gestart.

Vernieuwende methoden

Om de verkeersafwikkeling goed te toetsen, heeft Goudappel vernieuwende methoden toegepast. Met *Vissim* is de algehele verkeersafwikkeling op kruispunten en wegvakken geanalyseerd. *Simbus* is gebruikt om de betrouwbaarheid van de busafwikkeling te onderzoeken, zoals bloktijden en verstoorde ritten. Voor het definitief ontwerp

Foto: Björn Wylezich

zijn deze analyses geïntegreerd in *Hub Dynamics*, een methode die busbewegingen, dienstregelingen en voetgangersstromen realistisch combineert. Zo ontstaat een nauwkeurig en visueel inzicht in het gebruik van het busstation en de omgeving.

Mede dankzij deze aanpak krijgt Schiphol een busstation dat reizigersstromen beter verwerkt, de overstap tussen trein en bus versnelt en de veiligheid vergroot.

Meer info:
jterlouw@goudappel.nl

Technolution
Move

Digitale oplossingen voor de stad van vandaag

technolution.com/moveon

Bij Technolution Move vertalen we technologische innovatie, van slim verkeersmanagement tot AI, naar concrete oplossingen voor mobiliteit en leefbaarheid.

In het MoveON magazine laten we zien hoe technologie écht werkt in de praktijk. Lees hoe we samen bouwen aan de stad van morgen.

Vraag het MoveON magazine aan.

Redefining
solutions