

## Kunstmatige intelligentie in verkeer en vervoer

Taale, Henk; van Koningsbruggen, P.; Dubbeldam, Michael; Hoogendoorn, S.P.

**Publication date**

2022

**Document Version**

Final published version

**Published in**

NM Magazine

**Citation (APA)**

Taale, H., van Koningsbruggen, P., Dubbeldam, M., & Hoogendoorn, S. P. (2022). Kunstmatige intelligentie in verkeer en vervoer. *NM Magazine*, 17(1), 11-15. <https://www.nm-magazine.nl/artikelen/kunstmatige-intelligentie-in-verkeer-en-vervoer/>

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Kunstmatige intelligentie in verkeer en vervoer



**Kunstmatige of artificiële intelligentie, kortweg AI, speelt een steeds grotere rol in ons leven. Ook ons werkterrein verkeersmanagement kan er niet omheen: AI heeft zich al aardig weten binnen te werken in onze data-analyses en verkeerslichten. In deze bijdrage schetsen de auteurs de stand van zaken. Wat is AI? Wat kunnen we ermee? En met welke risico's hebben we te maken?**

We openen onze telefoon met Face ID, laten Netflix ons een nieuwe serie aanbevelen, klagen over een te late levering tegen een chatbot en vragen Google Home of de thermostaat een graadje lager kan: kunstmatige intelligentie is al onderdeel van ons leven. Nu zijn deze voorbeelden consument- en gemakgericht, maar er zijn ook talloze 'serieuze' toepassingen van AI. Grote financiële instellingen bijvoorbeeld zetten AI in om aandelen te kopen en verkopen. En de gezondheidszorg gebruikt AI om de juiste diagnoses te stellen.

Ook in onze wereld van verkeer en vervoer heeft AI z'n plek veroverd. Het eerste waar we dan aan denken, zijn waarschijnlijk de ontwikkelingen rond automatische voertuigen. Die leunen inderdaad sterk op AI: het voertuig neemt taken over die zelfs voor 'echte' intelligentie lastig zijn. Maar in deze bijdrage staan we stil bij de mogelijkheden van AI in *verkeersmanagement*. Want hoewel de toepassingen daar misschien net iets minder tot de verbeelding spreken, bepalen ze al wel mede het verkeersbeeld – dat kunnen we van automatische voertuigen nog niet zeggen – en dragen ze in toenemende mate bij aan een beter gebruik van ons wegennet.

## WAT IS AI?

Maar laten we kunstmatige intelligentie eerst netjes introduceren. Eenvoudig gesteld is AI een verzamelterm van theorieën, systemen en technieken die computers in staat stellen om taken uit te voeren waarvoor normaal gesproken menselijke intelligentie nodig is.

Er worden verschillende 'hoofdtoepassingen' onderscheiden. Eén ervan zijn *expert systems*, die al sinds de jaren 70 van de vorige eeuw bestaan. Deze systemen worden gevoed met specifieke kennis, worstelen zich daar via talloze als-dan-regels doorheen en komen zo tot een advies of antwoord. Een bekend voorbeeld noemden we net al: het stellen van een medische diagnose. *Planning and scheduling* zijn systemen die zelfstandig bepalen welke acties moeten worden uitgevoerd, zoals het kopen of verkopen van die aandelen, om een bepaald doel te bereiken. *Computer vision* betreft het verwerken en interpreteren van beeldmateriaal, zowel stilstaand als bewegend.

Onder de hoofdtoepassingen scharen we ook *machine learning*, al is dit eerder een techniek dan een toepassing. Bij machine learning leert de computer op basis van data of ervaringen. Dat kan door ze te



# HET VERKEERSMANAGEMENTBREIN



4

**NORMEREN** .....



3

**REDENEREN** .....



2

**REAGEREN** .....



1

**WAARNEMEN** .....



trainen met voorbeelden, maar geavanceerdere vormen van machine learning kunnen ook zélf patronen of clusters in data herkennen. Er is inmiddels een heel scala aan subgenres – zie het kader ‘Vormen van machine learning’ – en de techniek is de drijvende kracht achter een groot deel van de bestaande AI-praktijktoeepassingen.

## AI IN VERKEERSMANAGEMENT

### Het verkeersmanagementbrein

Wat zijn de AI-toepassingen specifiek voor verkeersmanagement? Om die vraag enigszins gestructureerd te beantwoorden en ook de onderlinge samenhang tussen de toepassingen te zien, stellen we ons een ‘verkeersmanagementbrein’ voor. We baseren ons heel losjes op theorieën over hoe ons echte brein werkt en onderscheiden vier lagen – zie de figuur hierboven. Van onder naar beneden zijn die als volgt.

1. **Waarnemen.** In ons echte brein is dit de deur naar de buitenwereld, het niveau van bijvoorbeeld zien en horen (input) en praten of bewegen (output). Geprojecteerd op verkeersmanagement hebben we het vooral over het ‘waarnemen’ van de verkeerssituatie, inclusief de interpretatie van monitoringdata.
2. **Reageren.** Wat die acties precies inhouden, bepalen we voor een belangrijk deel op de tweede laag. Het gaat om acties in het hier en nu, ‘gegeven een bepaalde situatie’. Een simpel voorbeeld: de lange lus meet een aankomend voertuig en *dus* wordt het groene licht verlengd.
3. **Redeneren.** Vergeleken met Reageren is deze laag met recht een ‘next level’. Menselijk gesproken is dit het niveau van redeneren, leren, anticiperen en op basis daarvan handelen. In de wereld van verkeersmanagement plaatsen we de verkeersdata uit laag 1 in tijd en ruimte om zo een beeld op te bouwen van de toestand op het wegennet. We nemen hierbij ook de verrichte handelingen en de effecten daarvan mee. Op basis van dit complete beeld kijken we vooruit en bepalen we de juiste verkeersmanagementingrepen.

4. **Normeren.** Deze hoogste laag bevat de normen en waarden, onze beweegredenen die bepalen waarom we handelen zoals we handelen. In het domein van verkeersmanagement volgen deze normen uit de bestuurlijke besluitvorming. Die bepalen of bijvoorbeeld vlot en veilig voorop staan of juist de luchtkwaliteit.

Met deze hele simpele weergave van ons ‘verkeersmanagementbrein’ als kapstok, bespreken we nu op welke punten AI dit brein kan ondersteunen. We beginnen weer beneden, met Waarnemen.

### Laag ‘Waarnemen’

Wat AI betreft zijn in deze laag vooral monitoren en detectie interessant. Van oudsher gebruiken we veel rechthoek-rechtaan sensoren, zoals inductielussen. Uit deze lusdata leiden we intensiteiten, snelheden en met enige moeite ook voertuigcategorieën af. Maar camera’s zien heel veel meer – en AI kan helpen om die rijke beelden te vertalen in verkeersdata.

Verschillende Britse steden bijvoorbeeld gebruiken een monitoringssysteem van Vivacity, camera’s in combinatie met *convolutional neural networks*. De AI is in staat om het aantal verkeersdeelnemers te bepalen, maar het systeem weet ook of het om auto’s, vrachtauto’s, bussen, taxi’s, voetgangers, fietsers of zelfs stepjes en e-scooters gaat. Ook reistijden en bijna-ongelukken zijn dankzij de AI af te leiden. Steeds meer wegbeheerders in Nederland, België en Denemarken zetten camera’s met AI in om op soortgelijke wijze de vaak nog ‘onderbemeten’ modaliteiten fietsers en voetgangers te monitoren. De FlowCube is daar een voorbeeld van.

Slimme camera’s zijn ook nuttig bij de handhaving. De politie heeft een neurale netwerk getraind om te herkennen of bestuurders een telefoon vasthouden. Het gaat nog om een voorselectie: de foto’s waarop (vermoedelijk) een telefoon wordt vastgehouden, worden ter controle doorgestuurd en handmatig gecheckt. Als de bestuurder inderdaad met z’n telefoon in de weer is, kan de boete de deur uit – wat weer mogelijk is dankzij de automatische (AI-) kentekenherkenning.

## Vormen van machine learning

*Machine learning* is een van de drijvende krachten achter kunstmatige intelligentie. Kort gezegd gaat het om algoritmes die onder supervisie of autonoom leren van data en andere input, en die zich op basis van die input voortdurend aanpassen en verbeteren. Inmiddels onderscheiden we verschillende subgenres. De belangrijkste zijn:

**Neural networks** zijn geïnspireerd op het menselijk brein. Ze bestaan uit processoren (neuronen) die elk afzonderlijk eenvoudige taken verrichten, maar die als netwerk complex en intelligent 'gedrag' vertonen. Er zijn talloze specialisaties, waaronder *convolutional neural networks* (vooral voor beeld- en taalverwerking), *recurrent neural networks* (voor het werken met reeksen van data) en *graph neural networks* (voor het werken met gegevens die een netwerk representeren).

**Deep learning** valt eigenlijk onder de *neural networks* en we spreken ook wel van *deep neural networks*. Het gaat om diepe, gelaagde netwerken, ideaal voor het verwerken van ruwe data en het ontdekken van patronen in die data.

**Reinforcement learning** betreft systemen die worden getraind door het juiste gedrag of de juiste uitkomst te 'belonen' en het verkeerde gedrag (uitkomst) te 'straffen'.

**Federated learning** is een privacyvriendelijke vorm van machine learning die geen centrale database nodig heeft, maar die z'n werk 'op locatie' kan doen – in verschillende gescheiden databases.

In deze voorbeelden gaat het steeds om het werken met videocamera's. Maar op vergelijkbare wijze zouden we AI ook kunnen inzetten om radar- of LiDAR-beelden te interpreteren.

Een interessante toekomstige AI-toepassing is het samenbrengen van data van (concurrerende) partijen met behulp van *federated learning*. Met deze techniek is het niet nodig dat een bedrijf z'n kostbare en misschien ook privacygevoelige data echt overdraagt aan een derde partij. In plaats daarvan gaat de AI-toepassing van bijvoorbeeld serviceprovider naar serviceprovider en kan de toepassing nauwkeurig leren van alle providers, zonder dat die één bit data hoeven over te dragen.

### Laag 'Reageren'

Met de juiste waarnemingen als basis bepaalt het verkeersmanagementsysteem steeds de juiste 'reactie' op de verkeerssituatie. AI kan helpen om de maatregel in het hier en nu te optimaliseren.

Denk aan verkeerslichtenregelingen. Het eerder genoemde Vivacity gebruikt simulaties in combinatie met *reinforcement learning* om het algoritme de optimale regeling te laten bepalen. Dit algoritme leert voortdurend en past zich vlot aan veranderende omstandigheden aan.

Wanneer de regelingen op het ene kruispunt hun informatie delen met de regelingen op het andere kruispunt, kunnen die ook rekenen met elkaar houden. De Amerikaanse kruispuntenregeling Surtrac maakt hiervoor gebruik van AI-gebaseerde *planning and scheduling*, dat de kruispuntenregeling voortdurend optimaliseert op basis van de inkomende informatie van 'buur-regelingen'. Daarmee ontstaat in feite een multi-agentsysteem, waarin meerdere autonome agenten slim gedrag vertonen en samenwerken. Een proef van deze aanpak op negen kruispunten in Pittsburgh, Pennsylvania (VS), resulteerde in een gemiddelde daling van de reistijd van 26 procent.

Van een heel andere orde is het nieuwe systeem van Rijkswaterstaat om de posities van weginspecteurs te bepalen. Normaliter bepaalt de dienst zelf wat de beste positie van de inspecteurs is: dicht bij de locaties waar de kans op incidenten (en dus: op de inzet van weginspecteurs) het grootst is. Maar in Midden-Nederland draait nu een systeem dat uitgaande van historische data en rekening houdende met omstandigheden als dag van de week, tijdstip en weer, automatisch de incidentkans schat. Het systeem kan zo de 'hotspots' in het netwerk identificeren – en op basis daarvan de optimale verdeling van weginspecteurs bepalen.

### Laag 'Redeneren'

Met het voorbeeld van het schatten van de incidentkans staan we al met één been op het niveau van Redeneren. De crux hier is dat we data uit meerdere databronnen bij elkaar brengen, uitzetten in ruimte en tijd en op basis daarvan conclusies trekken, voortuitkijken en anticiperen. AI kan daarbij prima ondersteunen.

In het programma Brabant In-car bijvoorbeeld kregen weggebruikers actuele in-car snelheidsadviezen. Deze adviezen waren gebaseerd op twee AI-technieken. *Deep learning* werd gebruikt voor het maken van voorspellingen over de verkeersstoestand, de basis voor het snelheidsadvies. Daarnaast werd met *reinforcement learning* in een simulatie-omgeving vastgesteld welke snelheidsadviezen een positief effect hadden op de doorstroming. Dit systeem is al in 2014 met een kleine groep deelnemers getest op de A67. In potentie kan deze toepassing adaptief gemaakt worden, waarbij het systeem zichzelf continu verbetert.

Een recent voorbeeld is het informeren van weggebruikers over brugopeningen. De Botlekbrug en Spijkenisserbrug bij Hoogvliet en Spijkenisse zijn regelmatig open voor scheepvaart op de Oude Maas, met vertraging voor het wegverkeer tot gevolg. Rijkswaterstaat en Technolution hebben AI ingezet om de brugopeningen te voorspellen,



op basis van informatie die door schepen wordt uitgezonden over hun positie en snelheid gecombineerd met openbare informatie over de afmetingen van de schepen. Als de kans op een opening toeneemt, worden de weggebruikers daarover geïnformeerd, zodat die kunnen besluiten een alternatieve route te kiezen. Deze Brugopeningsvoorspeller is in 2020 een half jaar getest. Inmiddels is besloten het systeem operationeel te houden.

Voor de nabije toekomst lijkt routeadvies op basis van voorspellingen van de *netwerkbrede* verkeerstoestand een interessante AI-toepassing. Met de relatief nieuwe techniek *graph neural network* zou het systeem dan kunnen leren wat de afhankelijkheden tussen bepaalde locaties zijn – een voorwaarde voor het netwerkbreed inschatten van de toestand op de weg of op het water. Het is wel belangrijk dat de AI ook het opvolgedrag van routeadviezen meeweegt, omdat er een sterke wisselwerking is tussen routekeuze en de verkeerstoestand.

Een andere ontwikkeling op het niveau van Redeneren is de zogenaamde *zwermintelligentie*. Met de opkomst van C-ITS zijn weggebruikers voortdurend 'connected'. Niet alleen het collectieve verkeersmanagement maar ook de afzonderlijke in-carsystemen van voertuigen kunnen we met AI ondersteunen. Het element 'connected' in combinatie met AI zou dan al die verschillende reizigers samen de optimale routes kunnen laten bepalen, ongeveer zoals spreuwen georganiseerd in een zwerm vliegen. Het is dan het collectief dat de keuzes maakt en niet langer het individu.

### Laag 'Normeren'

Tot slot de laag Normeren. Zoals we al schreven, zijn het de beleidsmakers die de kaders voor het verkeersmanagement bepalen. AI speelt in dit besluitvormingsproces geen rol, dan alleen indirect door beleidsmakers te voorzien van nauwkeurige data uit de laag Waarnemen.

Maar soms kan het nodig zijn de kaders voor een korte of langere tijd aan te passen. Stel bijvoorbeeld dat een of meer rijstroken op een autosnelweg zijn geblokkeerd en dat er tegen de vastgestelde verkeersveiligheidsprincipes in meer verkeer over het onderliggende wegennet moet worden geleid. 'High-performance computing' in combinatie met AI, zoals die *graph neural networks*, zou de verkeersmanagementcentrale dan kunnen ondersteunen door alle relevante aanpassingen van het kader af te wegen en een optimale aanpak vast te stellen.

De vraag is wel of we zo'n AI-toepassing 'geautomatiseerd' moeten inzetten. Het gaat immers om bestuurlijke kaders en AI zou daarin niet het laatste woord moeten hebben. Als mens werken we vaak vanuit opties: afhankelijk van de omstandigheden houden we de tot op dan gehanteerde optie aan of we schakelen over op een plan B. Zo zouden we op dit niveau ook AI kunnen inzetten: niet om in real-time nieuwe grenzen op te zoeken, maar om vooraf kader A, alternatief B en wellicht alternatief C uit te werken. Zodra die opties bestuurlijk akkoord zijn, kan verkeersmanagement – ondersteund door AI – de toestand bewaken binnen voorkeurdader A en, zodra dat niet meer lukt, overschakelen op die terugvalkaders B of C. Dat is minder dynamisch en wellicht zelfs minder effectief, maar bestuurlijk gezien wel 'zuiver'.



## AANDACHTSPUNTEN

### Uitlegbaarheid

De wens om AI te 'beheersen' speelt overigens ook op andere niveaus. Veel verkeersmodellen worden al *black boxes* genoemd, maar AI kan er ook wat van. AI maakt geen gebruik van vaste stappenplannen, werkt met enorme datasets en heeft vaak een lerend vermogen. Dat maakt het steeds moeilijker om de interne logica te volgen, laat staan achteraf uit te leggen. Terwijl enige toelichting op de resultaten soms met reden geëist wordt.

Hoe hiermee om te gaan? Als een bepaalde toepassing inderdaad gevoelig lijkt – 'waarom krijgt juist hier de fiets voorrang op de auto?' – en dus om een gedetailleerde uitleg vraagt, is het wellicht nodig om AI te gebruiken die minder complex, maar beter uitlegbaar is. De kwaliteit van de voorspellingen en beslissingen zal daardoor wel afnemen, omdat er een trade-off is tussen kwaliteit en uitlegbaarheid. Maar dat is dan de prijs die we voor de gewenste doorzichtigheid betalen.

Gelukkig wordt er al gewerkt aan *Explainable AI* (XAI) of *Interpretable AI*, maar zolang we die nog niet kunnen inzetten, kan het nodig zijn de AI-complexiteit wat te beteugelen.

### Data

AI heeft heel veel data nodig en die data moeten ook nog eens van goede kwaliteit zijn. Die hoeveelheden en kwaliteit krijgen we niet vanzelf en inzetten op AI betekent dan ook automatisch (fors) investeren in meetsystemen en in het fuseren van data uit verschillende bronnen.

Kijken we naar de AI-resultaten, dan zien we dat op data gebaseerde modellen alleen goede beslissingen nemen in situaties die vergelijkbaar zijn met situaties die al in die data voorkomen. AI kan op dit moment al wel redeneren over 'gekende' situaties, maar nog niet over 'ongekende' (niet in de data vervatte) situaties. Dit betekent dat AI in combinatie met data niet gezien kan worden als een techniek die voor elke situatie een oplossing biedt – in ieder geval niet zelfstandig. In veel gevallen zal dus ook domeinkennis moeten worden ingebracht.

### Samenhang

We hebben in het bovenstaande gefocust op losse AI-toepassingen, maar duidelijk is dat het in ons 'verkeersmanagementbrein' wemelt



van de afhankelijkheden. Het niveau Waarnemen biedt bijvoorbeeld input voor de niveaus Reageren en Redeneren, terwijl de maatregelen op die niveaus weer de verkeerstoestand beïnvloeden en dus wat we waarnemen. Een goed functionerend kunstmatig ‘verkeersmanagementbrein’ vraagt dan ook om meer dan separate, op zichzelf staande AI-bewerkingen. Er is niet per se een ‘supervisor’ nodig – die hebben we in ons echte brein ook niet. Het vraagt wel om *samenhang* tussen de verschillende lagen.

### Ethiek en privacy

Net als bij veel andere technologieën zijn er ook aandachtspunten – risico’s is misschien een beter woord – op het vlak van ethiek en privacy. Neem de mogelijkheden van AI in combinatie met ‘connected’ weggebruikers waar we aan refereerden. Die zwermintelligentie kan mooie resultaten voor het grote goed opleveren, maar het kan ook een andere kant opgaan. Om een vergelijking te maken: sociale-mediaplatforms hebben het afgelopen decennium een snelle impuls gegeven aan gedecentraliseerde nieuwsproductie, vaak zonder redactioneel toezicht. Dat geeft prachtige resultaten, maar tegelijkertijd is er daarmee ook een platform om *desinformatie*, van nepnieuws tot deepfakes, te verspreiden. Het is niet ondenkbaar dat ook zwermintelligentie in het verkeer met desinformatie kan worden beïnvloed om de belangen van een groep te laten prevaleren of het verkeer te laten vastlopen.

Een tweede risico betreft bias in data. We kenden al *garbage in garbage out*, maar je zou ook specifiek over *bias in bias out* kunnen spreken. De uitkomst van AI valt of staat namelijk met de samenstelling van de dataset waarmee ze wordt getraind. Deze dataset moet een zuivere afspiegeling zijn van de samenleving en/of datgene wat zich in de samenleving afspeelt. Is die zuiverheid er niet dan kan het gebeuren dat de dataset alleen het gedrag of de voorkeuren van de meerderheid of een dominante modaliteit reflecteert, waardoor minderheden of commercieel minder interessante modaliteiten er bekaaid vanaf komen. AI komt dan ook met de verantwoordelijkheid om zorgvuldige, zuivere datasets samen te stellen.

Het derde risico betreft de neiging om enorme datasets samen te stellen met informatie over een lange tijdsperiode. De bedoeling hiervan kan oprecht zijn: zo’n zuivere dataset samenstellen die de samenleving nauwkeurig afspiegelt bijvoorbeeld. Maar als dat ertoe leidt dat we te

veel, te lang en ook onnodige data verzamelen, bewaren en verwerken, dan plegen we daarmee inbreuk op de principes van privacy.

Dat heeft zelfs een juridisch kantje. Om de Autoriteit Persoonsgegevens te citeren: “Als er sprake is van profilering en/of geautomatiseerde besluitvorming, is het verplicht dit kenbaar te maken. Daarbij moet in bepaalde gevallen ook nuttige informatie worden gegeven over de onderliggende logica van het algoritme, alsmede het belang en de verwachte gevolgen van die verwerking voor de betrokkene. [...] Een verwerkingsverantwoordelijke zal zelf actief moeten verantwoorden en motiveren waarom een algoritme fair is en het gebruik van het gekozen algoritme niet leidt tot onbehoorlijke uitkomsten.”<sup>1</sup>

### TOT SLOT

Het mag duidelijk zijn: AI speelt al een rol in verkeersmanagement en die rol zal alleen maar groter worden. Vooral op de niveaus Waarnemen, Reageren en Redeneren is er veel gebeurd – sommige van de genoemde voorbeelden zijn al jaren oud – en er staat nog veel meer op stapel. Tegelijkertijd is duidelijk dat AI forse eisen stelt aan de datasets en dat de huidige stand van technologie z’n beperkingen heeft. Ook uitlegbaarheid en privacy blijven een aandachtspunt.

De potentie voor verkeersmanagement lijkt hoe dan ook enorm en we hebben dus alle reden om hard en gericht aan AI te blijven werken en nieuwe toepassingen te beproeven en uit te rollen. Als Nederland z’n positie op het gebied van slimme mobiliteit wil behouden en uitbreiden, dan moet het z’n ‘verkeersmanagementbrein’ blijven doorontwikkelen. Zonder AI-ondersteuning in dat brein gaan we het niet redden. ●

—  
Onderdelen van dit artikel zijn gebaseerd op het TrafficQuest-rapport ‘Artificial Intelligence in verkeersmanagement’. Dit rapport is te downloaden op [www.traffic-quest.nl/rapporten](http://www.traffic-quest.nl/rapporten).

### De auteurs

Dr. ir. Henk Taale is senior adviseur bij Rijkswaterstaat en onderzoeker aan de TU Delft. Ook is hij verbonden aan TrafficQuest.

Ing. Paul van Koningsbruggen en ir. Michael Dubbeldam zijn respectievelijk directeur Mobiliteit en domeinarchitect Mobiliteit bij Technolution.

Prof. dr. ir. Serge Hoogendoorn is hoogleraar Stedelijke mobiliteit aan de TU Delft.

<sup>1</sup> Autoriteit Persoonsgegevens, Toezicht op AI en algoritmes, 2020.