

Stormachtige toename van kunstmatige intelligentie

Weerinstellingen en technologiebedrijven gebruiken steeds vaker kunstmatige intelligentie om het weer sneller en beter te voorspellen. De Europese Unie zet zelfs kunstmatige intelligentie in bij het ontwikkelen van een realistische digitale replica van de aarde. Maar soms verdwijnt door deze datagedreven aanpak het begrip van natuurkundige processen naar de achtergrond.

Foto: Zetong Li/Unsplash

Kunstmatige intelligentie is niet meer weg te denken uit onze maatschappij; inmiddels wordt het ingezet in allerlei applicaties die we gebruiken. Minder zichtbaar in het dagelijks leven is dat kunstmatige intelligentie ook de wereld van de weersvoorspellingen flink op de kop heeft gezet. Op verschillende manieren kan kunstmatige intelligentie gebruikt worden om weersvoorspellingen te verbeteren, en meerdere grote technologiebedrijven zijn nu actief op dit gebied. Hun nieuwe modellen doen vaak veel sneller voorspellingen dan traditionele modellen, met vergelijkbare nauwkeurigheid. De Europese Unie zet ook in op het gebruik van kunstmatige intelligentie voor de ontwikkeling van een interactief model dat betrouwbare weer- en klimaatdata beschikbaar moet maken.

45.000 keer sneller

Jarenlang zijn weersvoorspellingen gemaakt met modellen die de atmosfeer beschrijven op basis van begrip van de onderliggende natuurkundige processen. Door toenemende rekenkracht van computers kunnen deze modellen op een steeds hogere resolutie worden gebruikt. Ook geven satellietmetingen steeds betere initiële condities voor deze modellen. Onder meteorologen wordt deze gestage verbetering van weersvoorspellingen vaak aangeduid als de 'stille revolutie'. Op de middellange termijn (tot vijftien dagen vooruit) ziet de wetenschappelijke gemeenschap, ook buiten Europa, het Integrated Forecasting System (IFS) als het meest betrouwbaar. Dit model is ontwikkeld en wordt gebruikt door het Europese weerinstituut ECMWF, waar ook Nederland en België bij aangesloten zijn.

Maar sommige van de natuurkundige processen die luchtstromingen in de atmosfeer bepalen, bijvoorbeeld het stijgen van warme lucht en het vormen van wolken en neerslag, kunnen plaatsvinden op een schaal die kleiner is dan de ruimtelijke resolutie van het model. In dat geval kan het model deze processen niet expliciet oplossen en worden er zogenoemde

parametrisaties aan toegevoegd die het effect van deze processen op de grotere schaal uitdrukken. Deze parametrisaties zijn vaak (semi)empirisch en hiervoor kan kunstmatige intelligentie goed worden ingezet. Sinds kort zien we echter een veel ingrijpender gebruik van kunstmatige intelligentie voor weersvoorspellingen. In 2022 presenteerde het Amerikaanse bedrijf Nvidia, vooral bekend vanwege de grafische kaarten voor computers die het produceert, het model FourCastNet [1]. Dit model kan voor een week vooruit een mondiale weersvoorspelling doen (met een horizontale resolutie van $0,25^\circ$, wat overeenkomt met circa 30 kilometer bij de evenaar) in 2 seconden op een normale laptop. Dit is ongeveer 45.000 keer sneller dan traditionele modellen zoals IFS met een vergelijkbare nauwkeurigheid. Doordat het uitvoeren van een voorspelling zo goedkoop is, is het ook mogelijk om veel verschillende voorspellingen te doen met steeds iets afwijkende startcondities. Dat maakt een veel groter ensemble mogelijk dan met traditionele modellen, wat leidt tot betere onzekerheidsschattingen.

Waarom kosten de voorspellingen van FourCastNet dan zo weinig rekenkracht? FourCastNet heeft patronen geleerd uit een grote historische weerdataset die door het ECMWF is geproduceerd met behulp van data-assimilatie. Bij data-assimilatie worden voorspellingen van het IFS-model zo goed mogelijk aangepast aan een groot aantal meteorologische metingen. Deze trainingsstap van FourCastNet kost veel rekenkracht, maar hoeft in principe maar één keer uitgevoerd te worden. Het leren van weerspatronen in zo'n historische dataset werkt goed, maar heeft ook nadelen (zie 'Kritiek op toenemend gebruik kunstmatige intelligentie').

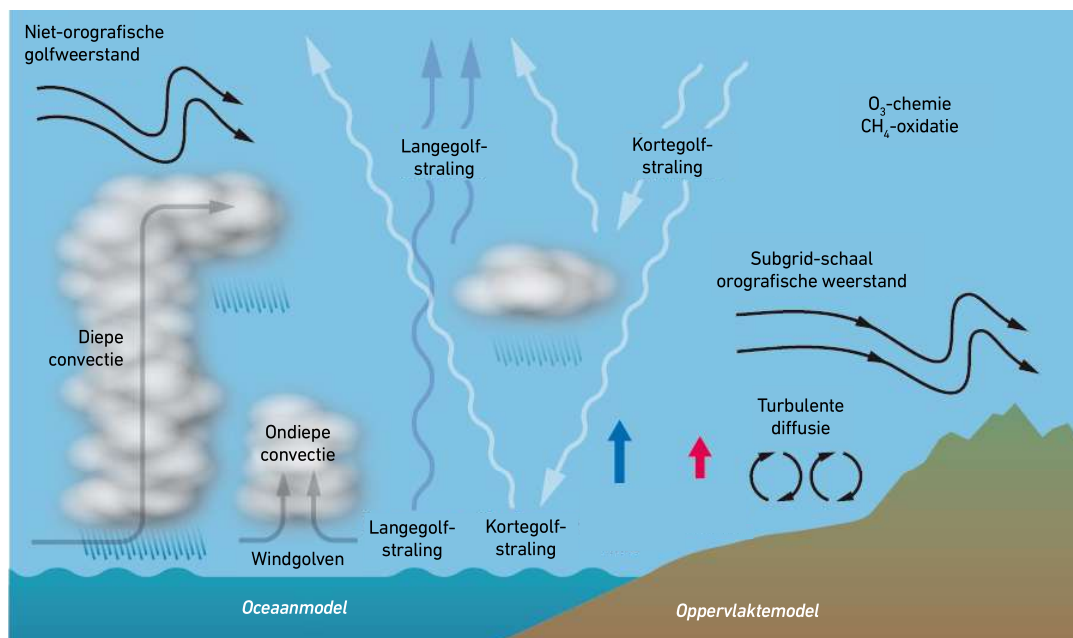
Een stap verder

Het Chinese bedrijf Huawei investeert eveneens in kunstmatige intelligentie voor weersvoorspellingen. In 2023 publiceerden onderzoekers van dit bedrijf over hun Pangu-Weather-model in *Nature* [2]. De Chinese auteurs

gaan een stap verder dan het tweedimensionale FourCastNet door ook de verticale dimensie (de hoogte) mee te nemen in hun neurale netwerk. Dit maakt de voorspellingen een fractie langzamer dan FourCastNet, maar hierdoor is Pangu-Weather wel veel nauwkeuriger. De Chinese onderzoekers laten zien dat Pangu-Weather tropische cyclonen kan voorspellen, soms zelfs beter dan de traditionele modellen van het ECMWF.

Al snel kwam er weer een model uit de Verenigde Staten dat nog beter is dan Pangu-Weather, dit keer gemaakt door de onderzoeksafdeling van Google. Hun model GraphCast modelleert ook verticale structuren in de atmosfeer en de auteurs beweren in hun *Science*-artikel [3] dat zij in meer dan 99 procent van de uitgevoerde vergelijkingen betere voorspellingen doen dan het Chinese Pangu-Weather. Ook Microsoft laat van zich horen, met een belangrijke bijdrage van hun onderzoeksafdeling in Amsterdam, die recent in *Nature* publiceerde [4]. Het Microsoft-model Aurora is een *foundation model* (een groot model met kunstmatige intelligentie, in dit geval bestaand uit 1,3 miljard parameters) dat patronen uit verschillende bronnen heeft geleerd. Aurora gaat verder dan de weermodellen en kan ook voorspellingen geven van luchtkwaliteit (onder andere de concentraties van koolmonoxide, ozon en fijnstof) en oceaangolven.

Naast de grote technologiebedrijven heeft nu ook het Europese weerbureau ECMWF het gebruik van kunstmatige intelligentie voor hun weersvoorspellingen omarmd. Zo heeft het, naast het bestaande IFS-model, het nieuwe model Artificial Intelligence Forecasting System (AIFS) gelanceerd [5]. De vergelijking van een snel model vol kunstmatige intelligentie met traditionele weersvoorspellingen is alleen niet altijd eerlijk, omdat informatie uit die weermodellen gebruikt is om deze nieuwe modellen te trainen. Hier hebben ECMWF en Microsoft nu ook oplossingen voor gevonden door modellen direct te trainen op observaties vanuit lokale meteorologische



Deze natuurkundige processen zijn van belang voor weersvoorspellingen (illustratie: ECMWF, [8]).

metingen en satellietmetingen [6, 7]. Het voordeel van deze aanpak is dat bepaalde aannames niet langer nodig zijn, maar het zorgt er wel voor dat de modellen nog meer een ‘black box’ worden (zie ‘Kritiek op toenemend gebruik kunstmatige intelligentie’).

Digitale replica

De Europese Unie zet ook in op het gebruik van kunstmatige intelligentie voor de ontwikkeling van een digitale tweeling van systeem aarde genaamd Destination Earth, afgekort als DestinE. Dit moet een realistische digitale replica van de aarde worden die ons waarschuwt voor extreme weersomstandigheden op de korte termijn, maar ons ook meer kan leren over klimaatverandering in de komende decennia. Met een digitale replica kun je experimenten doen of scenario's testen die in het echt te duur of te gevaarlijk zijn.

In tegenstelling tot klimaatmodellen moet DestinE veel gebruiksvriendelijker zijn en beleidsmedewerkers ondersteunen bij het nemen van belangrijke beslissingen. Om echt interactief te kunnen zijn, is het belangrijk dat een model snel reageert op invoer van een gebruiker. Hier kan kunstmatige intelligentie een belangrijke rol spelen. De ontwikkeling van DestinE is volop in gang en moet in 2030 voltooid zijn. Drie Europese partijen nemen hierin de leiding: de ruimtevaartorganisatie ESA, de weersatellietorganisatie EUMETSAT en het weerbureau

ECMWF, maar veel andere partijen worden hierbij betrokken. Ook het KNMI en het technologisch instituut Deltares spelen een rol bij de ontwikkeling van DestinE, bijvoorbeeld bij het modelleren van overstromingen als gevolg van extreem weer, onderwerpen waarover veel Nederlandse kennis is die straks voor een breder publiek beschikbaar zal zijn.

Weerbericht van de toekomst

Het is duidelijk dat kunstmatige intelligentie nu al een grote rol speelt in het onderzoek naar betere weersvoorspellingen, en die rol zal ongetwijfeld verder toenemen. Maar hoe de toekomst van weermodellen en weerberichten er precies uit gaat zien, is misschien nog wel moeilijker te voorspellen dan het weer zelf!

Gerbrand Koren is universitair docent aan de Universiteit Utrecht, waar hij onderzoek doet naar de koolstofcyclus en land-atmosfeerinteracties.

REFERENTIES

1. Pathak, J., et al., FourCastNet: A Global Data-driven High-resolution Weather Model Using Adaptive Fourier Neural Operators, ArXiv, 2202.11214 (2022).
2. Bi, K., et al., Accurate Medium-range Global Weather Forecasting with 3D Neural Networks, Nature, **619**, 533–538 (2023).
3. Lam, R., et al., Learning Skillful Medium-range Global Weather Forecasting, Science, **382**, 1416–1421 (2023).
4. Bodnar, C., et al., A Foundation Model for the Earth System, Nature, **641**, 1180–1187 (2025).
5. Lang, S., et al., AIFS – ECMWF's Data-driven Forecasting System, ArXiv, 2406.01465 (2024).
6. Alexe, M., et al., GraphDOP: Towards Skillful Data-driven Medium-range Weather Forecasts Learnt and Initialised Directly from Observations, ArXiv, 2412.15687 (2024).
7. Allen, A., et al., End-to-end Data-driven Weather Prediction, Nature, **641**, 1172–1179 (2025).
8. Bauer, P., et al., The quiet revolution of numerical weather prediction, Nature, **525**, 47–55 (2015).

KRITIEK OP TOENEMEND GEBRUIK KUNSTMATIGE INTELLIGENTIE

Het is indrukwekkend hoe goed kunstmatige intelligentie in staat is weersvoorspellingen te doen. Toch is er ook van verschillende kanten kritiek op, of zijn er zorgen over deze trend. Vaak gestelde vragen zijn bijvoorbeeld:

- Begrijpen we straks de onderliggende natuurkunde nog wel goed of gaat belangrijke kennis verloren als modellen in een ‘black box’ veranderen?
- Zijn modellen die patronen hebben geleerd uit historische weerdata ook in staat om het weer te voorspellen in een veranderend klimaat?
- Nemen machtige bedrijven de rol over van nationale weerinstituten en wat zijn hun drijfveren? Hoe geïnteresseerd zijn deze bedrijven? En blijven weerdata voor iedereen beschikbaar?

Dit soort vragen komen ook aan bod in het REL-AI-BLE project, een samenwerking van universiteiten uit Utrecht, Wageningen en Eindhoven die het vertrouwen in kunstmatige intelligentie onderzoekt.