

Bennie Mols

Kijkduinstraat 121-2

1055 XW Amsterdam

benniemols@gmail.com

Maatschappij Studiegroep Wiskunde met de Industrie 2009

Hete zomerdagen voorspellen

Kun je uit grootschalige atmosferische stromingspatronen voorspellen wanneer Nederland te maken krijgt met extreem warme zomerdagen? Het KNMI spitte deze vraag aan de Studiegroep Wiskunde met de Industrie toe op extreme temperaturen.

Computermodellen van het klimaat op aarde rekenen op een denkbeeldig rooster dat over de aardbol wordt gespannen. Op dit rekenrooster liggen de rekenpunten typisch tussen honderd en tweehonderd kilometer uit elkaar. Met de bewegingswetten van Newton en de wetten van de thermodynamica worden vervolgens grootheden als temperatuur, druk en windsnelheid in de atmosfeer berekend. Stel, dat je het computermodel laat beginnen met de gemeten waarden van het weer in 1950. Vervolgens laat je de computer vijftig jaar doorrekenen hoe het klimaat zich in die tijd ontwikkelt. Ten slotte kun je dan het klimaatmodel valideren door de uitkomsten van de berekening te vergelijken met de werkelijke gegevens uit de periode 1950–2000. Als deze validatie goed genoeg blijkt, kun je het computermodel vervolgens gebruiken om het klimaat van bijvoorbeeld de komende vijftig jaar te voorspellen, onder de aanname van een bepaald scenario voor de koolstofdioxide-uitstoot. Een belangrijk probleem is echter dat het rekenrooster te grof is om te voorspellen wat de gevolgen van een veranderend klimaat zijn op elke plek in Nederland. Toch zou je het liefst willen weten wat een verandering van grootschalige stromingspatronen voor Nederland betekent, vooral als het gaat om extreem weer. Worden de zomers warmer? Plenst er in de winter meer regen?

Sommige grootschalige atmosferische circulatiepatronen blijken vaak samen op te treden met warme zomerdagen in Nederland, vertelt Frank Selten, onderzoeker bij het KNMI. “Een van deze grootschalige patronen is een hogedrukgebied boven Zuid-

Scandinavië. Omdat deze structuur de doorgang van depressies naar het Europese vasteland blokkeert, noemen we dit een ‘blokkerend hoog’. Zo’n blokkerend hoog blijft vaak twee weken bestaan. In deze tijd is het weer in Nederland vrij stabiel. Er is dan minder wind en minder bewolking dan gemiddeld, en er komen vrij veel hete dagen voor. Bij het KNMI zoeken we naar een objectieve statistische methode om uit grootschalige atmosferische circulatiepatronen te voorspellen wanneer Nederland te maken krijgt met extreme temperaturen, extreme wind of extreme neerslag.” Het KNMI spitte de vraag aan de Studiegroep Wiskunde met de Industrie (Corinna Ziemer, Univ. of Bremen; Katarzyna Marczyńska, Anna Szczepańska, Joanna Zyprych, Poznan Univ.; Jos Hageman, Timo Doeswijk, WUR) toe op extreme temperaturen: Kun je een methode vinden die op grond van de grootschalige luchtcirculatiepatronen kan voorspellen wanneer het in De Bilt een extreem warme zomerdag wordt? “Om dat te onderzoeken,” vertelt Selten, “hebben we de studiegroep de temperatuurmetingen gegeven van 1958 tot 2000 voor elke dag in de zomermaanden juli en augustus. Alle metingen komen van De Bilt. Daarnaast kregen ze de beschikking over de luchtcirculatiegegevens in een gebied dat loopt van Noord-Amerika tot diep in Rusland, en van Noord-Afrika tot de Noordpool.”

Legendrepolynomen

Over het gegeven geografische gebied ligt een rooster van 49 punten in oost-westrichting en 28 punten in noord-zuidrichting. Dat levert in totaal $28 \times 49 = 1372$ punten op waarop de

druk bekend is. Een circulatiepatroon wordt dan beschreven in een matrix van 28 rijen bij 49 kolommen. “Wiskundig gesproken,” zegt Timo Doeswijk van de studiegroep, “zoeken we naar een functie met als invoer het drukpatroon op een bepaalde dag en als uitvoer de maximale temperatuur op die dag.” Deze functie beeldt een 1372-dimensionale ruimte af op een eendimensionale ruimte. Dit betekent dat het probleem overgedetermineerd is. Er is geen unieke oplossing en de oplossing is gevoelig voor kleine veranderingen in de dataset. Daarom hebben de wiskundigen zich geconcentreerd op datareductie: eerst het aantal vrijheidsgraden op een slimme manier terugbrengen voordat de functie wordt bepaald. Doeswijk: “Het aantal beschikbare roosterpunten is groot en er bestaat ook een grote afhankelijkheid tussen de datapunten. Dit maakt conventionele methoden slecht bruikbaar. Hierdoor hebben we gezocht naar manieren om de luchtdrukgegevens samen te vatten in een aantal hoofdstructuren. Daarvoor hebben we twee wiskundige technieken onderzocht: Legendrepolynomen en een techniek die watershedding heet.”

Bij de eerste methode probeerden de wiskundigen om zowel de oneven rijen als de oneven kolommen van de matrix te beschrijven met een vierde-orde Legendrepolynoom met drie parameters. Dat levert $(14+25) \times 3 = 117$ parameters op, die moeten worden bepaald. “Dat is nog steeds een fors systeem”, zegt Doeswijk. De wiskundigen namen de lokale temperaturen die tot de vijf procent warmste datapunten behoorden, en vonden 130 datapunten op evenzoveel dagen. De helft van deze temperatuurmetingen namen ze om hun model op te stellen. Dat is de kalibratiestap. De andere helft namen ze om te onderzoeken of het model vervolgens ook de extreme



Figuur 1 Extreme zomerse regenval

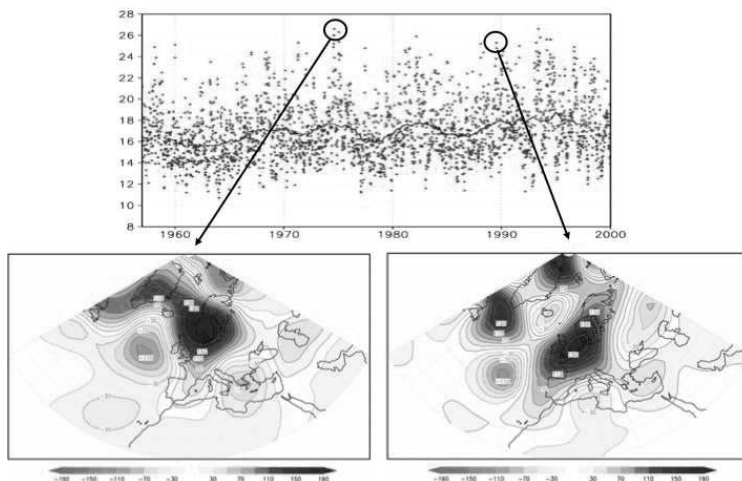
temperatuur uit het drukveld kan voorspellen. Dat is de validatiestap. “Uit de validatie blijkt helaas dat het niet lukt om te zeggen of er een dag met een extreme temperatuur aankomt”, concludeert Doeswijk. “Vervolgens hebben we onderzocht of het resultaat beter zou worden wanneer we het drukveld beschrijven met tweedimensionale polynomen van de zevende of achtste orde, in plaats van met eendimensionale Legendrepolynomen. Dat brengt het aantal parameters terug tot zo’n vijftig. Maar ook deze aanpak leidt niet tot een goede voorspelling van extreem warme dagen.”

Waterkering

De tweede aanpak die de studiegroep onderzocht, is gebaseerd op de watershed-techniek (waterkering). Het voorbeeld waaruit deze werkwijze afkomstig is, is een topografische toepassing. Een druppel water die boven Amerika valt, eindigt uiteindelijk ofwel in de Atlantische Oceaan ofwel in de Stille Oceaan. De denkbeeldige lijn die deze twee gebieden scheidt, heet de ‘watershed’ ofwel waterkering. In de beeldanalyse wordt het als volgt toegepast: Stel, je begint met een ingewikkeld beeld waarin elke pixel een bepaalde grijswaarde heeft. Je zoekt vervolgens naar een compactere beschrijving van dit beeld door

gebieden die qua grijswaarde op elkaar lijken allemaal dezelfde pixelgrijswaarde te geven. Als je de grijswaarden nu denkbeeldig verlaagt naar een bepaalde hoogte, dan stel je het beeld voor als een berglandschap met pieken van allerlei hoogten en dalen van allerlei diepten. Vervolgens vul je alle valleien denkbeeldig met water, tot het punt waarop elke vallei helemaal is gevuld. Daar leg je een waterkering neer — een watershed. Het getransformeerde beeld bestaat dan nog maar alleen uit de contouren van de waterkering, waarbij elke gesloten contour een gebied met dezelfde grijswaarde omsluit. Dat levert een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid beeldinformatie. Alleen de belangrijkste contouren blijven zo zichtbaar.

“Ons idee was om het drukveld ook te zien als een soort berglandschap van pieken en dalen,” zegt Doeswijk, “en met de waterkeringstechniek te zoeken naar de belangrijkste contouren in het drukveld. De vraag was of je op die manier een correlatie kunt vinden met de lokale extreme temperatuur in De Bilt. Helaas hebben we moeten concluderen dat ook dat niet is gelukt. Het is moeilijk te zeggen waar dat aan ligt. Misschien hebben we de informatie uit het drukveld wel te veel gereduceerd. Of misschien moet je er wel meer meteorologische kennis aan toevoegen.”



Figuur 2 Hoge Nederlandse zomertemperaturen in 1975 en 1990, geassocieerd met grootschalige hogedrukgebieden

Grootst gemene deler

Frank Selten van het KNMI vindt de twee aanpakken van de studiegroep origineel, maar geeft eerlijk toe dat ze er waarschijnlijk niets aan hebben. “De studiegroep heeft zich vooral gericht op de beschrijving van de grootschalige structuren, en is eigenlijk niet echt toegekomen aan het leggen van een link met de lokale extreme temperatuur. Zij liepen aan tegen het probleem dat er heel veel informatie zit in de grootschalige structuren, terwijl je alleen maar iets wilt zeggen over een enkel stukje informatie: de temperatuur op één bepaalde plek. Dat ze vastliepen, is geen schande. Het probleem dat wij hebben voorgelegd, is eigenlijk al een heel oud probleem uit de meteorologie. Hoewel er in de loop van de tijd allerlei oplossingsmethoden zijn voorgesteld, bestaat er geen consensus over welke de beste is. Ik denk ook niet dat er één oplossing voor het probleem bestaat.”

Selten had de hoop dat de wiskundigen ofwel de methode zou bevestigen waaraan het KNMI zelf al had gewerkt, ofwel dat ze zelfs met een betere methode zouden komen. Om de gedachten van de wiskundigen niet al van tevoren de kant op te sturen van de KNMI-methode, hebben ze deze aanpak dan ook niet voorgelegd. Dat mocht niet baten, want van bevestiging of verbetering bleek geen sprake. Voorlopig gaat het KNMI daarom verder met de methode die ze zelf al hadden ontwikkeld. “Wiskundig gezien werkt onze methode met een lineaire regressie op een subset van data”, legt Selten uit. “We hebben een grote dataset van temperatuurmetingen over de jaren heen. Daarvan nemen we alleen de tien procent warmste metingen. We hebben laten zien dat we met deze databezameling een goede correlatie vinden tussen de voorspellingen van het model en de gemeten waarden in de zomer. Wat betreft de grootschalige structuren, vinden wij eigenlijk een soort grootste gemene deler: een structuur die redelijk overeenkomt met alle grootschalige structuren die je in de praktijk ziet. Elk grootschalig hogedrukgebied is in de praktijk namelijk weer ietsje anders.”

Met deze methode zal het KNMI uit de voorspelling voor de grootschalige atmosferische ontwikkelingen proberen te voorspellen of bepaalde weersextremen in Nederland in de toekomst vaker gaan voorkomen.

Dit is een verslag van de Studiegroep Wiskunde met de Industrie 2009, van 26–30 januari 2009 in Wageningen. Voor de bijbehorende wetenschappelijke publicatie, waarin de gebruikte wiskundige modellen en methoden uitvoerig staan beschreven, verwijzen we u naar de website www.swi2009.wur.nl.