

Kansen in de weersverwachting

[Kees Kok en Daan Vogelesang]

Wat kun je verwachten als de weerman of -vrouw 's avonds op tv aankondigt dat er de volgende dag een 'grote kans op neerslag' is? Neem je dan een paraplu mee of een regenpak? Ga je met de bus in plaats van op de fiets naar school? Allemaal vragen die je je zou kunnen stellen bij zo'n bericht. Wat je je ook kunt afvragen: Is die kans voor mij persoonlijk, en geldt dat dan voor De Bilt of voor heel Nederland, voor de hele dag morgen of alleen een deel daarvan? Een dergelijke mate van detail wordt niet vaak in het weerbericht gegeven. Kijk je daarentegen in het weerbericht in de krant, dan staan daar vaak tabellen die in percentages een kans op neerslag aangeven (30% bijvoorbeeld). Toch blijft dan de vraag staan hoeveel neerslag er zal vallen: 1 mm, 10 mm? En als de kans 90% is, valt er dan ook meer regen dan bij een kans van 30%?

Om wat meer duidelijkheid te scheppen rondom deze vragen zullen we twee methoden beschrijven die op het KNMI gebruikt worden om kansverwachtingen te maken, een fysische en een statistische, maar ook wat je kunt doen met een kansverwachting!

Inleiding

Vanaf het allereerste moment dat er een weersverwachting werd gemaakt, waren meteorologen zich ervan bewust dat al te stellige uitspraken niet waargemaakt konden worden. Hun onzekerheid over de verwachting werd uitgedrukt in kansen. Ook toen in het midden van de vorige eeuw de eerste numerieke weermodellen ontwikkeld werden, bleef er een grote mate van onzekerheid. In deze modellen zijn de natuurwetten vastgelegd die de stroming, de warmte- en de vochtbalans en hun evolutie in de tijd beschrijven. De atmosfeer wordt hierbij opgedeeld in boxen die in de beginjaren typisch in de orde van enkele honderden kilometers lang en breed en ca. 1 km dik waren. Deze noodgedwongen grove oplossing van de atmosfeer leverde naar hedendaagse maatstaven zeer gebrekkige verwachtingen op. Een techniek om deze verwachtingen te verbeteren is *statistische nabewerking*. Bovendien stelde statistische nabewerking ons in staat om de onzekerheid in de verwachting op een objectieve manier te kwantificeren, uitgedrukt in de vorm van kansen. De techniek die hiervoor de afgelopen decennia gebruikt wordt is MOS.

MOS

MOS staat voor *Model Output Statistics*. Bij MOS wordt een statistische relatie gezocht tussen een opgetreden gebeurtenis (bijvoorbeeld, meer dan 0,3 mm neerslag in 12 uur

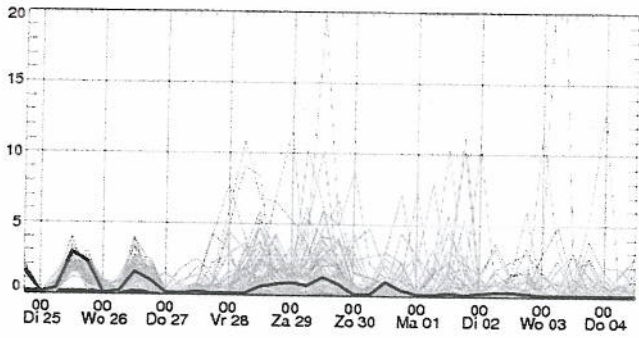
tijd in De Bilt) en verklarende variabelen uit een weermodel (modelverwachtingen). MOS kan ook gebruikt worden voor weer-elementen die niet door het weermodel berekend worden. Mist bijvoorbeeld wordt niet door weermodellen uitgerekend, maar de kans op mist kan wel bepaald worden met behulp van verwachte temperatuur, vochtigheid, luchtdruk en windsnelheid. De gebeurtenis die we bekijken, is dus binair (treedt wel of niet op). Om de kans op optreden te verklaren met de weersvariabelen uit het model gebruiken we de methode van *logistische regressie* (zie *Kader 1 op pag. 206*). De statistische relatie moet bepaald worden op een voldoende grote dataset, meestal zo'n 300 dagelijkse weerberekeningen. Altijd wordt getest of de statistische relatie ook goed werkt op een onafhankelijk deel van de dataset, een deel dat niet is gebruikt bij de afleiding van de relatie.

EPS

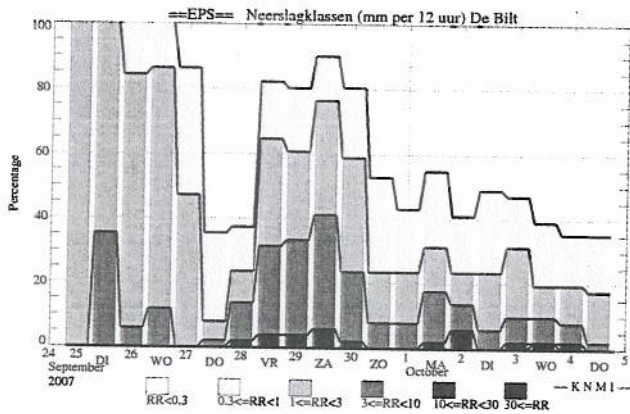
In de loop der jaren nam de rekenkracht van computers explosief toe en werden (en worden) de modellen steeds fijnmaziger (dat wil zeggen de boxen steeds kleiner) en de weersverwachtingen (inclusief de statistisch bewerkte) steeds beter. Maar al in de zestiger jaren van de vorige eeuw begon men zich te realiseren dat de atmosfeer zich nooit exact zal laten voorspellen. Dit komt door het feit dat verstoringen in de atmosfeer, hoe klein ook, soms de neiging hebben te groeien. Dit wordt ook wel het *butterfly*

effect genoemd: als een vlinder besluit een bepaalde kant op te vliegen, dan wordt de luchtbeweging op die plek verstoord en dit kan onder bepaalde condities en na een bepaalde termijn bijvoorbeeld een depressie tot gevolg hebben in een totaal ander deel van de wereld (Lorenz, 1979). En aangezien we de vliegintenties van individuele 'vlinders' nooit zullen kennen, is een belangrijke consequentie van deze intrinsieke 'gevoeligheid' van de atmosfeer dat deze niet deterministisch voorspelbaar is. De mate waarin verstoringen in de atmosfeer groeien, hangt o.a. sterk af van het weer in de omgeving van die verstoring. Van deze eigenschap van de atmosfeer is gebruik gemaakt bij de ontwikkeling (rond 1985) van een nieuwe methode om kansverwachtingen te maken: *ensemble verwachtingen*. Het beste en meest gebruikte ensemble-systeem is het EPS, *Ensemble Prediction System*, afkomstig van het Europese Centrum voor Middellange Termijn Weersverwachtingen (ECWMF; zie ook www.ecmwf.int).

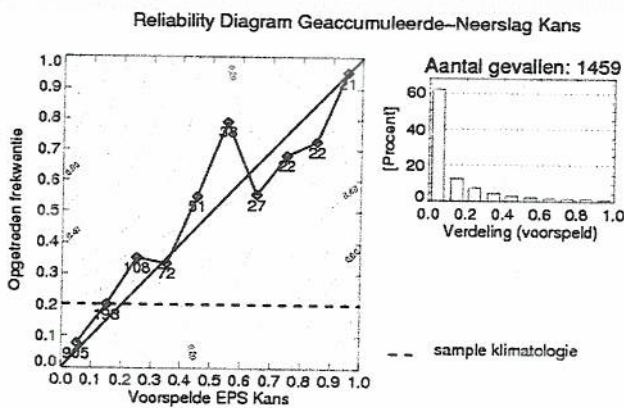
Hoe gaat EPS in zijn werk? De bovenbeschreven gevoeligheid van de atmosfeer houdt ook in dat voor het maken van verwachtingen met een weermodel de uitgangssituatie erg goed bekend moet zijn. Met allerlei waarnemingen afkomstig van satellieten, weerballonnen, buienradars, grondstations, schepen etc. wordt hiervan zo goed mogelijk een schatting gemaakt, maar een exact beeld tot op de kleinste schalen over de hele aardbol zal nooit lukken. Naast deze 'best mogelijke' schatting wordt ook een schatting gemaakt van de onzekerheid in die schatting. Deze onzekerheid wordt gebruikt om verschillende alternatieve uitgangstoestanden te berekenen die, ieder voor zich, ook prima bij de waarnemingen gepast zouden kunnen hebben. In het EPS worden er 50 van deze zgn. verstoorde begintoestanden berekend die allemaal een even grote waarschijnlijkheid hebben. Met alle (51) begintoestanden wordt een berekening van het weer gemaakt tot 10 (tegenwoordig zelfs 15) dagen vooruit. Wat resulteert noemen we het ensemble van weersverwachtingen, waarbij elk ensemblelid evenveel kans heeft om uit te komen, namelijk (afgerond) 2%.



figuur 1 Neerslagverwachting met EPS. X-as: datum/tijd; Y-as: neerslag in millimeter



figuur 2 Neerslagverwachting met EPS - Stacked Bar diagram. X-as: datum/tijd; Y-as: kans op neerslag



figuur 3 Betrouwbaarheidsdiagram: EPS neerslag > 20mm [+48 : +144] Waterschap Friesland, berekend over de periode dec. 1999-jan. 2004
 Linker diagram: de opgetreden frequentie als functie van de verwachte kans, in intervallen van 10% breedte (0-10,11-20 etc.). De nummers in de grafiek geven het aantal gevallen in een interval weer. De gestreepte lijn geeft het opgetreden percentage weer (20%).
 Rechter diagram: de verdeling van de verwachte kansen.

In welke mate de berekeningen in de loop van de verwachting divergeren, verschilt van dag tot dag: de ene keer blijven de verwachtingen erg op elkaar lijken en is de atmosfeer blijkbaar goed voorspelbaar, de andere keer lopen de verwachtingen snel uiteen en is de voorspelbaarheid laag.

De stap naar een kansverwachting voor een bepaalde plek of gebied en voor een bepaalde tijd is nu gemakkelijk te maken. Als voorbeeld nemen we een neerslagverwachting voor De Bilt (zie figuur 1). De dunne grijze lijnen in figuur 1 tonen de 50 verstoorde leden van het ensemble, de dikke lijn geeft de niet verstoorde berekening weer. Al na een paar dagen ontstaan er verschillen in de verwachte neerslag zowel in hoeveelheid alsook qua timing. Om de informatie kwantitatief handzamer te maken hebben we de neerslagverwachtingen gecategoriseerd in klassen en opgeteld per 12 uursperiode (zie figuur 2). Op elk moment in de toekomst kan dan bepaald worden hoeveel ensembleleden er bijvoorbeeld meer dan 0,3 mm (in De Bilt in 12 uur tijd) berekenen. Dat percentage is bijvoorbeeld voor zaterdag 29 september 90%. Tegelijkertijd is de kans op meer dan 3 mm 40%. Op deze wijze is voor een locatie een kans op een bepaalde hoeveelheid neerslag te bepalen.

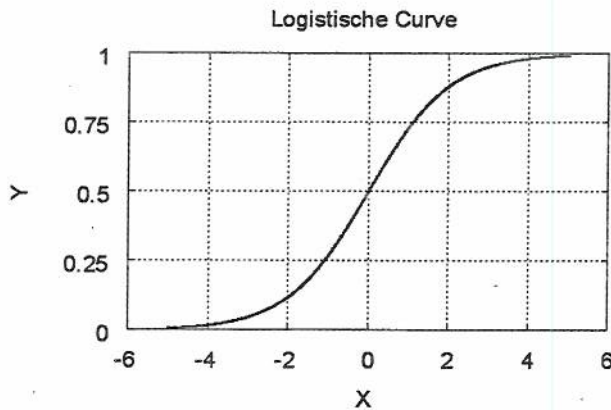
Uiteraard zijn de (kans)verwachtingen die uit EPS komen, ook weer statistisch na te bewerken om de kwaliteit en de bruikbaarheid te verhogen. Ook is nabewerking (MOS) nodig voor grootheden die niet direct uit EPS komen (zoals bijvoorbeeld de kans op mist of op onweer). Tenslotte kan de meteoroloog de verwachting voordat die naar de afnemer gaat, nog bijsturen (zie hieronder).

Verifiëren van kansverwachtingen

Van een deterministische weersverwachting, bijvoorbeeld 'er valt morgen meer dan 1 mm regen in De Bilt', is goed te bepalen of die is uitgekomen of niet. Bij een kansverwachting 'de kans dat er morgen meer dan 1 mm regen in De Bilt valt is 30 procent' is dat minder makkelijk, maar wel mogelijk. Van één enkele verwachting kun je namelijk niet zeggen of hij goed of fout is. Maar neem je alle verwachtingen bij elkaar die aangaven dat de kans 30% was, dan kijken we in de metingen achteraf of dit in 3 van de 10 gevallen ook is uitgekomen. Hetzelfde doen we voor andere kansen (0%, 10%, 20% etc. tot 100%). De uitkomsten hiervan worden in een grafiek gezet (zie figuur 3). In het ideale geval liggen de uitkomsten op de diagonale lijn; in dat geval noemen we de verwachting *reliable* (betrouwbaar). Je weet dan dat als

Kader 1 – Logistische regressie

Logistische regressie is een regressiemethode waarbij de data gefit worden aan een logistische kromme (Brelsford & Jones, 1967) en niet (zoals bij lineaire regressie) aan een rechte lijn.



X = predictor, Y = predictand (voorspelde parameter, bijvoorbeeld kans op neerslag)

Bij kansverwachtingen hebben we meestal te maken met een twee-lassenprobleem: het wel of niet overschrijden van een drempel (bijvoorbeeld hoeveelheid neerslag in een bepaalde periode op een bepaalde plaats). De kans P dat de drempel wordt overschreden, wordt hierbij uitgedrukt als:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-fx}}$$

met $fx = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots$

De onafhankelijke variabelen (predictoren) X_i worden in principe geselecteerd via de zogenaamde *forward stepwise* selectiemethode. Daarbij worden predictoren op volgorde van significantie aan de vergelijking toegevoegd, totdat niet meer aan een te specificeren significantie criterium wordt voldaan. De regressiecoëfficiënten a_i worden bepaald met de *maximum likelihood* methode, een iteratieve methode die het product van alle berekende kansen op de opgetreden klassen in de afhankelijke dataset maximaliseert.

het tabelletje in de krant 20% zegt, het 1 op de 5 keer optreedt en 4 keer niet! Je moet er hierbij wel voor waken dat waarnemingen en verwachtingen hetzelfde bedoelen: verwacht je voor heel Nederland, dan moet je ook waarnemingen van heel Nederland gebruiken, verwacht je voor één plek, dan moet je ook daartegen verifiëren.

Overigens is 'betrouwbaarheid' nodig, maar nog niet genoeg. Je wilt graag dat de kansverwachting zo 'scherp' mogelijk is, waarmee wordt bedoeld dat je het liefst kansen richting 0% of 100% wilt. Op dat moment bied je de gebruiker ervan namelijk meer zekerheid dan wanneer je hem een 50/50-verwachting biedt.

De meteoroloog

MOS en EPS zijn automatische systemen die zonder tussenkomst van de mens getallen produceren. De meteoroloog heeft daarmee vergeleken extra informatie, bijvoorbeeld over recente waarnemingen en lokale omstandigheden. Deze informatie gebruikt hij/zij om de kansen bij te stellen (bijvoorbeeld door ze te 'vertalen' naar

lokale omstandigheden) en vooral ook door meer 'scherpte' (zekerheid) toe te voegen en tegelijkertijd zo 'betrouwbaar' mogelijk te zijn. Dat is geen makkelijke taak.

Het KNMI is bij wet verplicht de burgers en de maatschappij te waarschuwen voor gevaarlijk weer. Dat gebeurt o.a. door middel van de 'weeralarmen'. Een weeralarm wordt uitgegeven als de meteoroloog ervan overtuigd is dat er een kans van minstens 90% is dat het gevaarlijke weer zich zal aandienen tussen nu en 12 uur later. Je ziet dat er dan nog steeds 10% kans kan zijn dat het niet uitkomt. Maximaal 1 op de 10 keer zal een weeralarm dus onterecht blijken te zijn uitgegeven.

Hoe gebruiken we kansverwachtingen: cost/loss

Hebben we eenmaal een 'scherpe' en 'betrouwbare' kansverwachting, dan rest nog de vraag: Wat doen we er nu mee? Beslissen dus! Op dat moment kom je op een individueel niveau uit: de een zal bij een 50% neerslagkans zijn paraplu meenemen, de ander al bij 25% of pas bij 75%.

Deze beslissing hangt grotendeels af van de gevolgen die iemand zal ondervinden als het uiteindelijk wel regent. Hier komt de zogeheten *cost/loss-analyse* om de hoek kijken.

Een bekend voorbeeld hiervan is gladheidsbestrijding (zout strooien) bij kans op nachtvorst. Boven een bepaalde verwachte kans is het economisch nuttig om preventief te strooien. De kosten (*cost*) die daarmee gepaard gaan, wegen dan op tegen de kosten die je ondervindt indien er niet gestrooid zou zijn en er tal van ongelukken, files etc. plaatsvinden (*loss*). Onder die bepaalde kans kun je beter niet strooien. Wél strooien heeft tot gevolg dat uiteindelijk de preventiekosten hoger worden dan de eventuele schade.

Je kunt je ook voorstellen dat een fruitteiler dezelfde nachtvorstkans als een wegbeheerder krijgt. De eerste zal overwegen of hij zijn fruitbomen zal beschermen (door besproeien) of het risico nemen dat de oogst verloren gaat. Beiden gebruiken dezelfde verwachting maar zullen er anders mee omgaan. Bij zo'n *cost/loss-analyse* is

Kader 2 – Het KNMI

Het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) is opgericht in 1854 door prof. dr. C.H.D. Buys Ballot en maakt onderdeel uit van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.



Christophorus Henricus Didericus
Buys Ballot (1817-1890)

De hoofdvesting is in De Bilt en er werken in totaal ca. 500 mensen. Het KNMI is hét nationale instituut voor weer, klimaat en seismologie. Er wordt onder meer seismologisch, meteorologisch en klimaatonderzoek verricht. Vanuit de centrale weerkamer in De Bilt verzorgt het KNMI de weersverwachtingen en waarschuwingen voor het algemene publiek, de luchtvaart en de maritieme sector. Sinds 1999 ontplooit het KNMI geen commerciële activiteiten meer. Presentatie van weersverwachtingen via radio, televisie en kranten doet het KNMI sindsdien niet meer.

Informatievoorziening via Internet is vervolgens voor het KNMI een belangrijke schakel met de buitenwereld geworden. Meer informatie over de KNMI-organisatie is te vinden via de KNMI-website (www.knmi.nl).

het dus cruciaal dat de kansverwachtingen betrouwbaar zijn.

Tot slot

Gezien de intrinsieke onvoorspelbaarheid van het weer is het een goede zaak om de onzekerheid zo veel mogelijk mee te nemen in een weersverwachting. Een voor de hand liggende manier om dat te doen is in de vorm van kansen. Dit bevat veel meer informatie voor de gebruiker dan 'een best mogelijke schatting' van het verwachte weer. De gevoeligheid voor het betreffende weer en daarmee de afweging hoe te reageren, is voor iedere gebruiker namelijk verschillend.

Maar om kwantitatief om te gaan met kansen is het van groot belang om te weten wat de kans precies voorstelt. Dus een antwoord op de vragen: wat, waar en wanneer. Als dat bekend is en de kans is betrouwbaar, dan kan iedere gebruiker voor zich bepalen welke beslissing het meest profijtelijk is.

Literatuur

- E.N. Lorenz: *Predictability: Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?* Address at the annual meeting of the American Association for the advancement of science in Washington (29 december 1972).
- W.M. Brelford, R.H. Jones (1967): *Estimating probabilities*. In: *Monthly Weather Review*, Vol. 95, pp. 570-576.

Interessante websites

- www.knmi.nl
- www.ecmwf.int

Over de auteurs

Daan Vogelesang is afgestudeerd in de Meteorologie en Oceanografie aan de Universiteit van Utrecht en is sinds 1993 werkzaam bij het KNMI. De laatste jaren werkt hij als onderzoeksmedewerker in de statistische werkgroep die onderdeel is van de afdeling Weer-Onderzoek. Hij houdt zich met name bezig met gegevensverwerking en onderzoek in relatie tot kansverwachtingen.

E-mailadres: daan.vogelesang@knmi.nl
Kees Kok heeft Toegepaste Wiskunde gestudeerd aan de UvA en werkt sinds 1981 op het KNMI. Hij is nu als onderzoeker werkzaam in dezelfde groep als Daan. Hij houdt zich vooral bezig met statistische postprocessing technieken, met name kansverwachtingen en verificatie.

E-mailadres: kees.kok@knmi.nl