Bijeenkomst

Bezoek van Edward Lorenz aan het KNMI

Buys Ballot-medaille

Vorig jaar is aan Edward Norton Lorenz (1917) de Buys Ballot-medaille toegekend. De prestigieuze Buys Ballot-medaille, ingesteld in 1888 ter herinnering aan de grondlegger van het KNMI, is waarschijnlijk de oudste meteorologische onderscheiding ter wereld. Sinds 1893 is de gouden medaille elke 10 jaar uitgereikt aan de onderzoeker die het meest heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van de meteorologie. Helaas was Lorenz vorig jaar vanwege gezondheidsredenen niet in de gelegenheid om vanuit de Verenigde Staten over te komen om de prijs persoonlijk in ontvangst te nemen, maar vrijdag 16 december jongstleden was Lorenz alsnog te gast bij het KNMI.

Figuur 1: Buys Ballot-medaille.

Chaostheorie

Lorenz is de geestelijk vader van de zogenaamde chaostheorie. In 1961 analyseerde hij op het Massachusetts Institute of Technology een model van de atmosfeer. Het model bleek verschillende uitkomsten te geven bij gelijke initiële condities. Na lang zoeken ontdekte hij dat bij de ene berekening het getal 0,506127 als beginwaarde was opgegeven, terwijl bij de andere som hij dit getal had afgerond op 0,506. Dit minieme verschil was de oorzaak van de afwijkingen tussen de twee modelberekeningen. Lorenz ontdekte dat complexe systemen, bijvoorbeeld de atmosfeer, sterk kunnen worden beïnvloed door schijnbaar onbelangrijke factoren, zoals bijvoorbeeld een graad verschil in temperatuur, of een windvlaag.

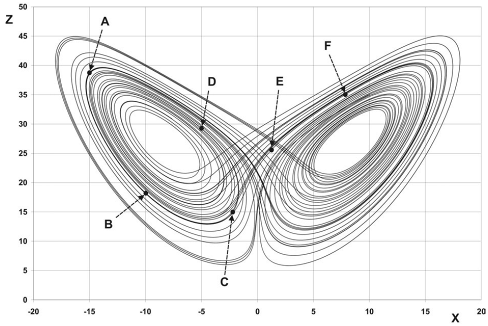
Vlinders van Lorenz

Beroemd is het verhaal dat de vleugelslag van een vlinder in Brazilië een tornado in Texas kan veroorzaken. Dit is een metafoor waarmee Lorenz wil uitdrukken dat kleine storingen in de atmosfeer, die op een bepaald ogenblik een kleine en niet-meetbare verandering veroorzaken, lastig voorspelbare gevolgen kunnen hebben voor het verloop van het weer. Hij heeft dit wiskundig uitgelegd aan de hand van een stelsel van vergelijkingen met drie parameters tegen de tijd:

$$
\begin{aligned}
x_t &= x_{t-1} + \mathrm{h} \cdot \mathrm{a} \cdot (y_{t-1} - x_{t-1}) \\
y_t &= y_{t-1} + \mathrm{h} \cdot (x_{t-1} \cdot (\mathrm{b} - z_{t-1}) - y_{t-1}) \\
z_t &= z_{t-1} + \mathrm{h} \cdot (x_{t-1} \cdot y_{t-1} - \mathrm{c} \cdot z_{t-1})
\end{aligned}
$$

met	h	=	0,001099
	a	=	10
	b	=	28
	c	=	8/3.

De initiële waarden voor x, y en z zijn vrij te kiezen, bijvoorbeeld 10, 0,8 en 35. In figuur 2 zijn de resultaten van z tegen x uitgezet voor de eerste 40.000 tijdstappen. Stel dat de initiële situatie voor het in de tijd doorrekenen van ons systeem gelijk is aan het punt A. Vanaf punt A zijn de toekomstige situaties via punt B tot en met punt C goed te voorspellen. Daarna wordt het veel lastiger, omdat bij C er een splitsing naar punt D of punt E optreedt. Of de situatie naar D of E gaat is afhankelijk van de beginwaarde bij punt A. Een kleine afwijking aan het begin van de berekening, de niet te meten vleugelslag van de vlinder, zorgt voor verschillende uitkomsten.



Figuur 2: Wiskundige vlinder van Lorenz.

Via punt D komt de situatie weer goed voorspelbaar bij punt A en als punt E wordt bereikt dan gaat de toestand via punt F over naar de rechterkant van de grafiek, waar hetzelfde proces zich afspeelt. De grafieken van y tegen x en z tegen y laten een zelfde vlindervorm zien.

De beide gebieden waaromheen de situatie zich in banen beweegt worden de attractors genoemd. Deze gebieden zijn bijvoorbeeld vergelijkbaar met of het wel of niet regent. Het maakt niet uit hoe dicht de situatie in de buurt van de attractors komt, zelfs vanuit de binnenste ring kan naar de andere toestand worden overgegaan. Met andere woorden: hoewel je soms even geduld moet hebben, komt na regen altijd zonneschijn.

Ofschoon het systeem precies gehoorzaamt aan deterministische wetten, gewoon de wiskundige vergelijkingen, is het gedrag van het systeem onregelmatig, met een beperkte voorspelhorizon. Beide vleugels van de vlinder worden achtereenvolgens bezocht, maar het moment waarop van de ene baan naar de andere baan wordt overgesprongen is chaotisch. In dit verband spreekt men ook wel van deterministische chaos. Het begrip chaos werd door deze ontdekking belangrijk uitgebreid. Eerst was chaos iets waarbij elke vorm van ordening ontbrak, terwijl Lorenz aantoonde dat chaos ook kan ontstaan in systemen die deterministische principes volgen.

Ensemble-berekeningen

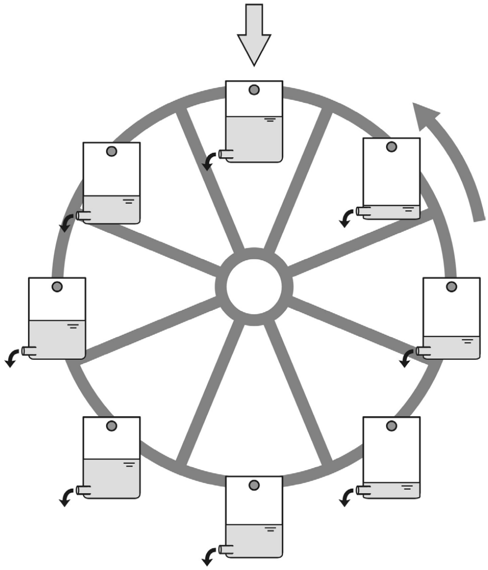
De chaostheorie wordt onder andere toegepast bij het maken van de weersverwachtingen. De initiële situatie wordt aan de hand van metingen zo goed mogelijk in het model gebracht, waarna het model de toekomstige toestand van de atmosfeer berekent. Dit gebeurt eerst met kleine afwijkingen, maar hoe langer de voorspeltermijn wordt gekozen, hoe groter de afwijkingen zullen zijn ten opzichte van de werkelijke situatie die zal optreden. De modelberekening wordt verschillende keren herhaald, een ensemble van berekeningen, met steeds een iets gewijzigde initiële toestand. De pluim van uitkomsten in de tijd vormen de verwachting, waarbij het gemiddelde van de verwachtingen de waarschijnlijke trend aangeeft en de bandbreedte iets zegt over de betrouwbaarheid van de voorspelling. Over het algemeen zal de bandbreedte in de tijd toenemen.

Niet alleen in de meteorologie wordt de chaostheorie toegepast, maar ook bij turbulente stroming van bijvoorbeeld vloeistoffen en verder in de natuurkunde, biologie en sociale wetenschappen.

Zelf een chaotisch systeem bouwen...

De wiskundige vlinder is aan de hand van de vergelijkingen vrij eenvoudig in een spreadsheet na te bootsen, maar voor de hydrologen onder ons die in aanleg wat praktischer zijn, is het volgende misschien een idee.

Rond 1970 bedachten Willem Malkus en Lou Howard het in figuur 3 getekende waterwiel. Aan een rad zitten een aantal reservoirs met een opening aan de onderkant. Aan de bovenkant van het rad worden



Figuur 3: Waterwiel van Malkus en Howard.

de reservoirs één voor één bijgevuld. Het is zogezegd een variant op de ideeën van Nash om het neerslag-afvoer-proces te simuleren en collega Warmerdam zou van een lekke-emmer-model spreken. Afhankelijk van de aanvoer, de initiële snelheid van het rad en de initiële hoeveelheden water in de reservoirs, zal het wiel in beweging komen. Hoewel alle elementen van dit systeem met behulp van klassieke mechanica kunnen worden berekend, zal dit ronddraaien uitdraaien op ronduit chaotisch gedrag.

Presentaties

Het middagprogramma in de Buys Ballotzaal, in het nieuwe gedeelte van het KNMI-gebouw, er stond overigens een waterwiel zoals in figuur 3 bij het koffiezetapparaat, zonder uitleg, dus dat zorgde voor de nodige discussie en verwarring, begon met twee inleidende presentaties over chaos en de onvoorspelbaarheid daarvan door professor Floris Takens en professor Henk Tennekes. Takens, verbonden als wiskundige aan de Universiteit van Groningen, publiceerde al in 1971 over attractors. Tennekes, onder andere van het KNMI en de Vrije Universiteit, heeft zich veel beziggehouden met turbulentie.

Figuur 4: Edward Lorenz.

In zijn presentatie behandelde Lorenz recent werk. Ik vond het indrukwekkend, ook al was het voor een niet-ingewijde moeilijk te volgen, om een dergelijke grootheid te mogen aanhoren. Het is heel bijzonder dat, ondanks zijn hoge leeftijd, Lorenz bijna elke dag op zijn werkplek op het MIT is te vinden en nog steeds bijdraagt in het onderzoek aan de atmosfeer. Dat ik terug naar huis reed vroeg ik mezelf af wiens prestige door de uitreiking nu het meest is toegenomen, die van Lorenz, of toch die van de Buys Ballot-medaille…?

Frank Smits

Bronvermelding

– Van chaos naar weerbericht, een moeizaam traject, National Geographic (NL), juni 2005.
– http://www.knmi.nl.
– http://nl.wikipedia.org.
– http://noorderlicht.vpro.nl/artikelen/17557090/.
– http://www.vuiksvertier.nl/wetenschap/lorenz.htm.
– http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/fractals/lorenz/.