

De zoektocht naar parameters die het optreden van onweer bepalen

AARNOUT VAN DELDEN, JEROEN VAN ZOMEREN EN ALWIN HAKLANDER
(IMAU, UNIVERSITEIT UTRECHT)

De kans op intense convectie en daarmee gepaard gaande verschijnselen zoals donder, bliksem, hagel en zware windstoten is gerelateerd aan de mate van convectieve onstabiele. Convectieve onstabiele hangt af van het temperatuurverschil tussen hogere en lagere luchtlagen en ook van de verdeling en de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer. Gebaseerd op dit inzicht, zijn in de jaren 50 en 60 van de vorige eeuw parameters (zogenaamde onweersindicatoren) bedacht waarmee de kans op onweer kan worden geschat uit de met radiosonde gemeten verticale profielen van temperatuur en waterdamp. In dit artikel worden de prestaties van enkele oude en nieuwe onweersindicatoren besproken.

Bij het KNMI wordt o.a. de Boyden index (B) gebruikt. De definitie van B is

$$B = [(Z_{700} - Z_{1000})/10] - T_{700} - 200.$$

Hierin zijn Z_{700} en Z_{1000} de geopotentiële hoogte van, respectievelijk, het 700 hPa vlak en het 1000 hPa vlak (in m) en T_{700} is de temperatuur op 700 hPa (in °C). De term tussen haakjes in het rechterlid van de bovenstaande vergelijking is evenredig met de gemiddelde temperatuur in de laag tussen 1000 hPa (dichtbij zeeniveau) en 700 hPa (op ongeveer 3 km hoogte). Het effect van het vocht is in deze index niet verwerkt. Toch blijkt deze index als onweersindicator in de praktijk redelijk

goed te werken. De vraag is nu: hoe goed? Omdat de objectieve vaststelling van het optreden van onweer tot in de jaren tachtig een probleem vormde is deze vraag niet of nauwelijks onderzocht.

Het bliksem detectie systeem

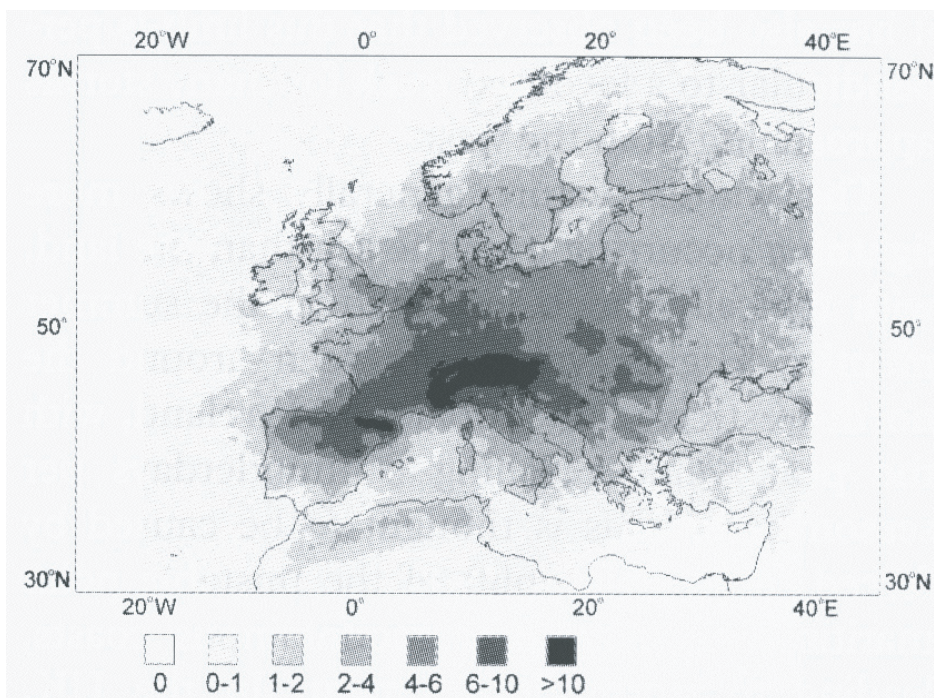
In de jaren tachtig werden in Europa en Noord Amerika bliksemdetectiesystemen geïnstalleerd. Het door de Engelse weerdienst geïnstalleerde systeem is het zogenaamde "Arrival Time Detection" (ATD) systeem. Dit systeem is in staat de tijd en de plaats van individuele bliksem tussen de wolk en de grond te detecteren over een gebied dat heel Europa en een groot deel van de Noord Atlantische oce-

aan beslaat. Het ATD-systeem bestaat uit 8 stations (ontvangers) verspreid over Europa die de elektromagnetische straling detecteren die bij een bliksemontlading in alle richtingen en met een bepaalde snelheid wordt uitgezonden. Uit de verschillen in aankomsttijd van dit signaal op de verschillende stations kan de plaats van de bliksemontlading worden bepaald. De nauwkeurigheid van de plaatsbepaling is beter dan 10 km over het grootste gedeelte van het Europese continent. Figuur 1 toont de geografische verdeling van het aantal dagen met bliksem in de zomermaanden (juni, juli en augustus) gemiddeld over de periode 1990-1999, volgens het ATD-systeem. De hoogste onweersfrequentie vinden we boven de Alpen en de Pyreneeën en in de brede omgeving van deze bergmassieven. In Nederland werd in de jaren 90 vooral in het westen en zuidwesten relatief veel zomeronweer waargenomen. Scandinavië, Ierland en het uiterste zuiden van Europa hebben relatief weinig onweer in de zomer.

De gegevens van het ATD-systeem kunnen worden gebruikt om de bruikbaarheid van diverse onweersindicatoren te testen. Dit is in eerste instantie gebeurd voor De Bilt. Tussen 6 januari 1993 en 31 december 2000 zijn in De Bilt om 0, 6, 12 en 18 UTC 11495 radiosondes opgelaten. Hieruit zijn de waarden van 32 onweersindicatoren bepaald waaronder de "Boyden index", de "lifted index" en CAPE (zie het kader). De vraag is nu: hoe verbinden we deze waarden met het optreden van onweer? We hebben het volgende criterium gehanteerd. Er is sprake van onweer als er tenminste één bliksemontlading ("sferic") wordt gedetecteerd door het ATD-systeem binnen een cirkel met een straal van 100 km rond De Bilt en binnen 6 uur na de radiosondeoplatting.

De kans op onweer en traditionele onweersindicatoren

Met dit criterium kunnen we de "Thunder Case Probability" (TCP) als functie van de waarde van de onweersindicator berekenen. Dit doen we door eerst alle waarden van de onweersindicator van hoog naar laag op volgorde te zetten. Daarna nemen we de 1ste tot en met de 200ste waarde, middelen deze en berekenen de standaard deviatie. De TCP wordt bepaald uit het percentage van deze 200 gevallen dat geassocieerd is met onweer. We herhalen dit voor de 2de tot en met de 201ste waarde, enzovoort. Dit resulteert in 10234 gemiddelde waarden en standaard deviaties van de onweersindicator en bijbehorende TCP's. In figuur 2 is de



Figuur 1. Het gemiddeld aantal onweersdagen in de zomer (juni, juli en augustus) boven Europa en omgeving volgens de waarnemingen van het ATD-systeem van 1990-1999. Een dag wordt op een bepaalde locatie als onweersdag geïdentificeerd als er in een cirkel met een straal van 7,5 km minstens één bliksem wordt waargenomen (zie Holt, et al., 2001)

De “Convective Available Potential Energy”, CAPE, wordt gedefinieerd met de volgende formule.

$$CAPE \equiv -R_d \int_{p_i}^{p_{EL}} (T_v' - T_v) d(\ln p)$$

Hier is p_i de initiële druk van het luchtpakketje dat wordt opgetild tot het uiteindelijk, bij een druk gelijk aan p_{EL} , in evenwicht is met de omgeving. R_d is de gasconstante voor droge lucht, T_v' is de virtuele temperatuur van een luchtpakketje dat pseudoadiabatisch wordt opgetild in een omgeving met virtuele temperatuur T_v . Alleen inkrimingen met $T_v' > T_v$ worden meegenomen in de integraal.

De “Surface based lifted index”, LI, is gelijk aan het verschil tussen de waargenomen temperatuur op 500 hPa en de temperatuur van een luchtpakketje dat vanaf het aardoppervlak met de waargenomen temperatuur, druk en vochtigheid, pseudoadiabatisch wordt opgetild tot 500 hPa.

De vertikaal geïntegreerde vochtfluxconvergentie, VIMFC:

$$VIMFC \equiv \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{g} \left(\frac{\partial u q}{\partial x} + \frac{\partial v q}{\partial y} \right) dp$$

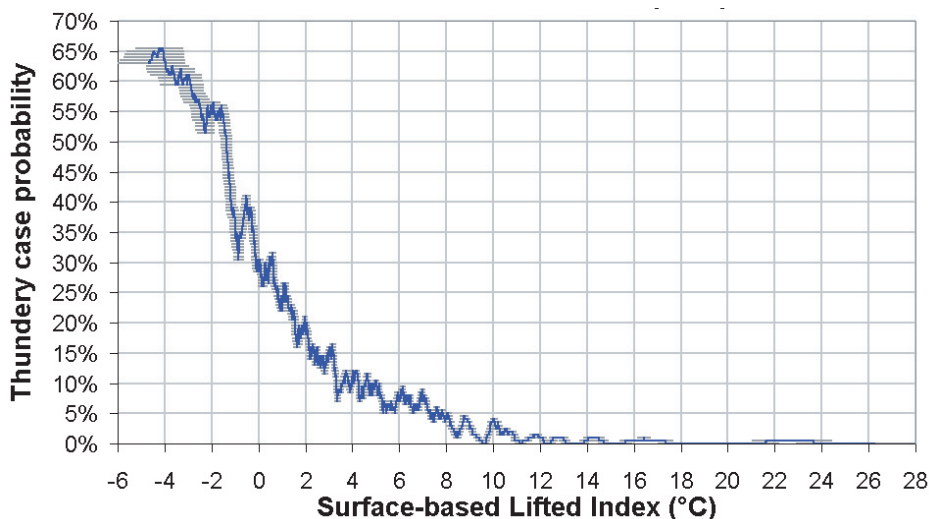
Hierin zijn p_1 en p_2 de hoogtes van de niveau's waartussen de vochtfluxconvergentie wordt bepaald (in ons geval 1000 hPa en 700 hPa); q is de specifieke vochtigheid, x en y zijn de coördinaten in, respectievelijk, de oost en de noord-richting, u en v zijn de snelheidscomponenten in, respectievelijk, de oost en de noord-richting en g is de versnelling door de zwaartekracht.

TCP in een grafiek uitgezet als functie van de “surface-based lifted index” (zie het kader). Voor De Bilt blijkt dit de best presterende algemeen bekende onweersindicator. Uit de figuur blijkt dat de kans op onweer binnen een tijdvak van 6 uur na de radiosondeoplossing en binnen een straal van 100 km rond De Bilt 60 % is als de “surface based lifted index” kleiner is dan -3.3°C . Als de “surface based lifted index” groter is dan $+4^\circ\text{C}$ is de kans op onweer minder dan 10%. CAPE doet het

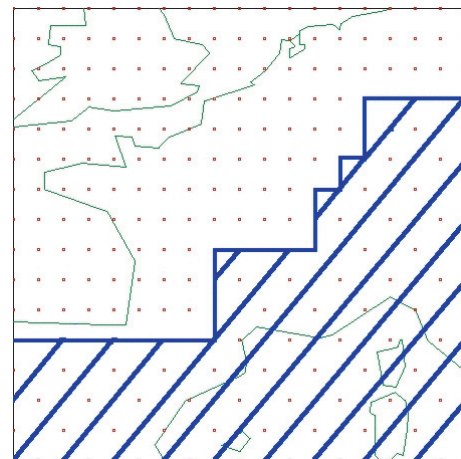
bijna even goed: als $CAPE > 980 \text{ J/kg}$ dan is de kans op onweer volgens het bovenstaande criterium 60%. De waarde van de Boyden index kan echter niet worden geassocieerd met een onweerskans groter dan 40% (meer details worden gegeven in het artikel van Haklander en Van Delden, 2003).

Vochtfluxconvergentie

De bruikbaarheid van onweersindicatoren gebaseerd op één enkel profiel van



Figuur 2. De TCP als functie van de surface based lifted index met de definitie van onweer als 1 sferic/100 km/6 uur. De horizontale strepen zijn de standaarddeviaties.

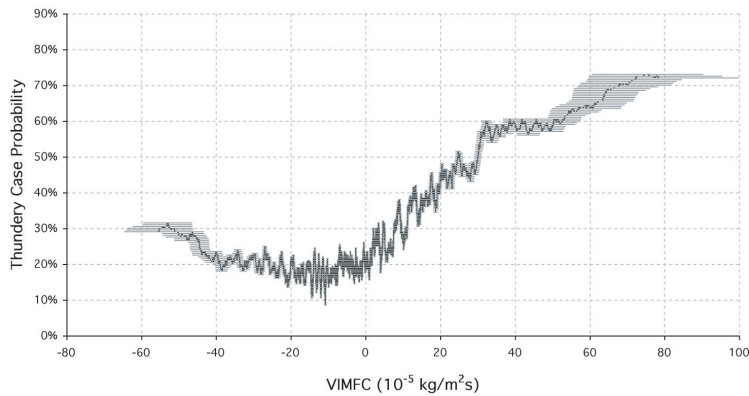


Figuur 3. Ligging van de roosterpunten van de ECMWF-analyse. De roosterpunten in het gearceerde gebied worden niet gebruikt, waardoor bergachtige gebieden (hoogte > 1000m) worden vermeden.

de temperatuur en de vochtigheid is dus beperkt. Er zijn meer factoren dan alleen de statische stabiliteit en de lokale vochtinhoud van de atmosfeer die bepalend zijn voor het optreden van onweer. Eén van deze factoren is de vochtfluxconvergentie. Deze grootheid kan gemakkelijk worden bepaald uit modelanalyses, die tegenwoordig bijna even snel beschikbaar zijn als de gegevens van radiosondeoplossingen.

Om de bruikbaarheid van vochtfluxconvergentie te onderzoeken zijn de ECMWF analyses op 146 roosterpunten boven West Europa en 119 interessante tijdstippen van de zomers van 1992 en 1994 gebruikt. De zomer van 1992 was zeer onweersrijk in West Europa, terwijl de maand juli 1994 zeer warm was. Bergachtige gebieden (hoogtes van het aardoppervlakte groter 1000 m) zijn niet meegenomen in de analyse (figuur 3). Uiteindelijk leverde dit 17206 bruikbare gebeurtenissen op. Met het criterium voor het optreden van onweer zoals eerder gedefinieerd (één ontlading in het 100 km gebied rond een roosterpunt) blijkt er in deze relatief onweersrijke dataset in ruim 26% van de gebeurtenissen sprake te zijn van onweer. Belangrijk is in te zien dat het nu niet gaat om De Bilt maar om 146 roosterpunten maal 119 tijdstippen = 17374 mogelijke gebeurtenissen (onweer of geen onweer). Uiteindelijk werden 17206 gebeurtenissen in de statistiek gebruikt omdat 168 gebeurtenissen waren geassocieerd met onbruikbare analyses (verdachte vochtanalyses)

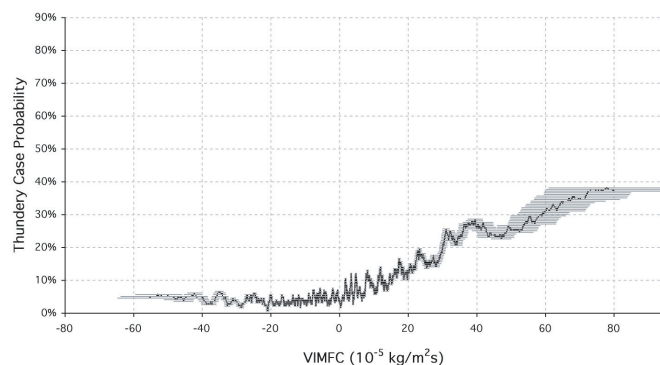
De kans op onweer als functie van de waarde van de verticaal geïntegreerde (tussen 1000 hPa en 700 hPa) vochtfluxconvergentie (VIMFC) (zie het kader) wordt



Figuur 4. De TCP als functie van de VIMFC met de definitie van onweer als 1 sferic /100 km/6 uur. De horizontale strepen zijn de standaarddeviaties.

in figuur 4 getoond. Het blijkt, zoals verwacht, dat grote positieve waarden van de VIMFC geassocieerd kunnen worden met een grote kans op onweer. Als er in de kolom tussen 100hPa en 700 hPa meer dan $75 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ waterdamp convergeert (dit correspondeert met een neerslagintensiteit van 2,7 mm per uur) is de kans op onweer volgens ons criterium 73%. We zien echter ook dat de kans op onweer toeneemt als er sprake is van grote vochtfluxdivergentie. Dit resultaat heeft te maken met het feit dat gebieden met aanzienlijke convergentie van vocht, vanwege massabehoud, altijd worden begrensd door gebieden met aanzienlijke divergentie van vocht. De vochtfluxconvergentie op een bepaald roosterpunt is kennelijk niet representatief voor het gebied met een straal van 100 km en een tijdsinterval van 6 uur. Daarom is onderzocht wat het effect is van een ander, meer beperkt, criterium voor het optreden van onweer. Volgens dit nieuwe criterium spreken we van onweer als drie sferics worden gedetecteerd door het ATD-systeem binnen een afstand van 50 km vanaf het gridpunt en binnen 3 uur na de analyse waaruit de waarde van VIMFC is berekend. Het resultaat van deze test wordt in figuur 5 getoond. De

kans op onweer bij VIMFC groter dan $75 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ is nu slechts 38%. Er is in dit geval geen toename van de onweerskansen bij grote negatieve VIMFC. Het blijkt dus dat lage statische stabiliteit, veel waterdamp in de onderste luchtlagen en grote convergentie van waterdamp significant positief correleerd zijn met het optreden van onweer. Het zou mooi zijn



Figuur 5. De TCP als functie van de VIMFC met de definitie van onweer als 3 sferics /50 km/3 uur. De horizontale strepen zijn de standaarddeviaties.

als dit inzicht kan worden gebruikt bij het maken van onweersverwachtingen.

Literatuur

A. van Delden, 2000: Onweersbuien in West Europa: klimaat en de rol van potentiële onstabiele. **Meteorologica**, 4-2000, 8-12.

A. J. Haklander and A. van Delden, 2003: Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. **Atmospheric Research**, 67-68, 273-299. (dit artikel kan worden gedownload vanaf <http://www.phys.uu.nl/~nvdelden/publications.htm>).

M. A., Holt, P. J. Hardaker, and G. P. McLelland, 2001: A lightning climatology for Europe and the UK, 1990-99. **Weather**, 56, 290-296.