

Kennen / KNMI

HET WEER IN NEDERLAND

thieme

**wisselend
bewolkt**

G. P. Können / KNMI

HET WEER IN NEDERLAND



THIEME-ZUTPHEN

HET WEER IN NEDERLAND

wisselend bewolkt

Een overzicht van ons weer door het KNMI,
onder redactie van G. P. Können

Met medewerking van:

A. Denkema, H. M. van den Dool, J. M. Koopstra, H. J. Krijnen,
J. Oerlemans, C. J. E. Schuurmans, B. Zwart

Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Bibliotheek,
Postbus 201,
3730 AE DE BILT,
Nederland.

EERSTE DRUK

Auteurs en medewerkers:

J. Oerlemans en H. M. van den Dool (hoofdstuk 1)
C. J. E. Schuurmans (hoofdstuk 2)
B. Zwart (hoofdstuk 5)
J. M. Koopstra (computeranalyses)
H. J. Krijnen (klimatologische adviezen)
A. Denkema (statistische analyses en adviezen)
G. P. Können (hoofdstuk 3, 4, 6 en algehele redactie)

A. J. de Bree-Van Dolderen (typewerk)
C. van Stralen (tekeningen)
H. B. Geist (div. berekeningen)
H. M. van Zoelen (achterzijde omslag)
KNMI, De Bilt

Buiten het KNMI is het manuscript kritisch doorgelezen door
L. Conrads (Inst. voor Meteorologie en Oceanografie,
Universiteit Utrecht), E. E. Können, H. Rowaan, E. H. Schaap,
H. Schaap-Ennema en W. A. van Zeist-Mantel. Binnen het
KNMI door T. A. Buishand, H. A. F. M. Otten,
H. R. A. Wessels en J. Wieringa.

Omslagfoto:

Beeld van Nederland, opgebouwd uit vier elkaar gedeeltelijk
overlappende opnamen van de Amerikaanse Landsat satelliet van
1 en 2 november 1980.
Deze opnamen zijn verwerkt door het Nationaal Lucht- en
Ruimtevaartlaboratorium tot één foto in natuurlijke kleuren.
Op de foto zijn kaartcoördinaten aangebracht met onderlinge
afstanden van 40 km in oost-west richting en 50 km in noord-zuid
richting.

© 1983: B.V. W. J. Thieme & Cie, Zutphen

*Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd
en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke wijze ook,
zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.*

ISBN 90 03 97685 6

Inhoud

Voorwoord	6	32. De valsnelheid van neerslagdeeltjes	71
HOOFDSTUK 1		33. Neerslag en droogte in Nederland	75
Het klimaat door de eeuwen heen		34. Zware neerslag en buien	78
1. Inleiding	8	35. Onweer in Nederland	80
<i>I. Het klimaat in de geologische oudheid</i>		36. De bedekking van de hemel	84
2. De reconstructie van het vroegere klimaat	9	37. Zonneschijn	84
3. De continentendrift en het klimaat van de afgelopen 400 miljoen jaar	10	38. Mist en zicht	86
4. De ijstijden	12	39. Wolkenvorming en wolktypen	87
5. Het Holocene (10.000 v. Chr. tot heden)	16	HOOFDSTUK 5	
<i>II. Het klimaat van de afgelopen paar eeuwen</i>		Extremen in ons weer	
6. Het systematisch waarnemen van het klimaat	18	40. Het breken van een wereldrecord	9
7. Het begin van de metingen en het combineren van meetreeksen	18	41. Nationale records en wereldrecords	91
8. Het combineren van directe en indirecte waarnemingen	18	42. 1980: Een jaar van extremen?	98
9. Systematische en toevallige variaties in temperatuur en neerslag sinds 1735	19	HOOFDSTUK 6	
10. De verdeling van temperatuurafwijkingen over land	22	Het weer en de samenleving	
11. Het klimaat van de toekomst	24	43. Klimaat en overleving	109
HOOFDSTUK 2		44. Rampen en calamiteiten	110
Hoe komt Nederland aan zijn weer?		45. De rol van het weer in de huidige samenleving	112
12. Vooroordelen en vragen	26	Tabellen	
<i>I. De luchtstromingen in de atmosfeer</i>		I. Klimatologische gegevens per maand 1951-1980	118
13. Temperatuurevenwicht en waterbalans	26	II. Lange klimaatreeksen	124
14. Westcirculatie	28	III. Klimatologische gegevens voor verschillende steden op Aarde	129
15. Lange golven	32	Woordenlijst	136
16. Superpositie en voorkeur	34	Literatuur en opmerkingen	140
17. Jaarlijkse gang	36	Alfabetisch register	142
<i>II. Onze ligging en ons weer</i>			
18. Invloed van ons land	40		
19. Invloed van de Noordzee	42		
20. Dagelijkse gang	43		
21. Weerverschillen binnen Nederland	45		
22. Zó ontstaat dus ons weer! (Samenvatting)	47		
HOOFDSTUK 3			
Ons weer en klimaat			
23. Weer, weerelementen en klimaat	49		
24. Het zeeklimaat van Nederland	51		
25. De rol van extremen en normalen	52		
26. De samenhang tussen weerelementen; de aangenaamheid van het weer	55		
27. Persistentie van weerelementen	59		
HOOFDSTUK 4			
Weerelementen in Nederland			
28. Temperatuur in Nederland	60		
29. Vorst en dooi	62		
30. Wind en storm in Nederland	63		
31. Neerslagvorming en neerslagvormen	69		

Voorwoord

'Wat een weer is het weer'

Het weer is zonder twijfel een van de meest geliefde gespreksonderwerpen die er bestaan. Of het nu verandert of gelijk blijft: vrijwel iedere dag levert het weer stof op tot gesprek, waarbij iedereen graag zijn mening of ervaringen kwijt wil. Deze betrokkenheid is te begrijpen, want de mens vertoeft nu eenmaal graag buiten en zijn doen en laten is dan nauw met het weer verweven. Zelfs meer dan wij doorgaans beseffen: een relaas over bijvoorbeeld vakantiebelevenissen gaat soms ongemerkt over in een soort weerrapportage! Een gesprek als: 'Hoe was de vakantie?' 'Leuk. Eerst regende het en was er veel bewolking, maar later klaarde het op en werd het lekker warm' is typerend.

Niet alleen wordt er veel gepraat over het weer, er wordt ook veel over geschreven. Er bestaan talloze boeken en artikelen over. Als wij een verzameling hiervan bij elkaar zien, dan blijkt opeens hoe enorm breed dit gebied is. Zo sterk zelfs, dat één mens het nauwelijks meer kan overzien – het weer ervaren kan iedereen, maar helemaal begrijpen vrijwel niemand.

Het doel van dit boek is, de lezer op een aanschouwelijke wijze inzicht in het weer te geven. Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van het weer, zoals wij dat ook aan den lijve ervaren. Om dit beeld op te roepen en verbanden in het weer aan te geven, was het noodzakelijk de klimatologische archieven van het KNMI te onderzoeken en de talloze waarnemingen die hierin bijeen gebracht zijn te bewerken. Computeranalyses en statistische berekeningen blijken in staat, om uit deze reeksen cijfers een levendig beeld te scheppen van het ons omringende weer met zijn vele facetten en mogelijkheden.

Zoals gezegd, is het schrijven van een algemeen boek over het weer geen éénmanswerk meer. Aan dit boek hebben dan ook verscheidene personen meegeworkt, ieder in zijn eigen specialisatie.

Het onderwerp van het boek is het weer van Nederland, of liever het klimaat van Nederland. In veel gevallen worden de woorden weer, gemiddeld weer en klimaat door elkaar heen gebruikt. Dit wordt veroorzaakt doordat de grenzen tussen deze begrippen niet scherp zijn. Het klimaat van een plaats is eigenlijk het totaal van alle weersverschijnselen die zich daar kunnen voordoen. Bij een *weersverandering* in gelijkblijvend *klimaat* maakt het ene bekende weertype dus plaats voor een ander bekend type. Bij een echte *klimaatverandering* worden echter weertypen mogelijk, die daarvoor niet op die plaats konden optreden. Daar waar in dit boek echte klimaatschommelingen of klimaatveranderingen over lange tijd ter sprake komen, gebruiken wij

het woord klimaat. Bij de besprekking van ons huidige klimaat gebruiken wij meestal de termen weer of gemiddeld weer. Zoals gezegd, is in dit boek er naar gestreefd de onderwerpen aanschouwelijk, d.w.z. zonder het gebruik van formules, te behandelen.

De indeling van dit boek is als volgt. In het eerste hoofdstuk reizen wij diep in de tijd terug en komt het klimaat van vroeger en van de ijstijden ter sprake, alsmede het klimaat van de afgelopen paar honderd jaar. Het tweede hoofdstuk beschouwt het klimaat in brede zin en vertelt hoe het tot stand komt. Hier reizen wij niet meer in de tijd, maar richten onze blik op de atmosfeer als geheel, zoals die onze Aarde omspannen en komen zo tot de achtergronden van het weer. In het derde hoofdstuk bespreken wij het weer in ons eigen land, met zijn samenhangen en plaatselijke verschillen, terwijl hier ook ter sprake komt hoe het weer op ons overkomt. Het vierde hoofdstuk behandelt de losse onderdelen van het weer – wind, temperatuur, neerslag enzovoort. Hier komen de variaties over een dag of over een jaar (dagelijkse en jaarlijkse gang) van de weersverschijnselen aan de orde, die zo karakteristiek zijn voor het weer. Hoofdstuk vijf geeft een overzicht van de extreme mogelijkheden van ons klimaat en de capriolen van het weer, die bij elkaar genomen ons klimaat zijn kenmerkende grilligheid verschaffen, terwijl het zesde hoofdstuk de invloed van het weer op de samenleving beschrijft. Het boek wordt gesloten met een aantal tabellen (over het vroegere weer) ter algemene informatie en met een woordenlijst.

Voor wat betreft het gebruik van fysische eenheden, hier bestaan tegenwoordig bepaalde richtlijnen voor. In dit boek is hier echter in een aantal gevallen van afgeweken, omdat andere eenheden ruimer bekend zijn. Voor snelheden is de gangbare eenheid km/uur gebruikt en voor temperatuur °C. Dit laatste is in het boek vaak kortweg aangegeven met 'graden'. Afstanden worden in meters of kilometers (km) gegeven. In plaats van massa, wordt gesproken van gewicht. Tijdstippen zijn voor het zomerhalfjaar (april–september) gegeven in de thans gangbare zomertijd; voor het winterhalfjaar wordt de wintertijd gehanteerd. In de meeste gevallen zijn de namen van eenheden uitgeschreven in plaats van dat er afkortingen voor zijn gebruikt.

Tenslotte nog een woord over de gepresenteerde grafieken. Deze grafieken zijn samengesteld op basis van veeljarige waarnemingen, en bevatten vaak informatie die nog niet eerder gepubliceerd is. De tijdvakken van de waarnemingen, waarop de grafieken gebaseerd zijn, kunnen van figuur tot figuur verschillend zijn. Dit wordt veroorzaakt door verschillen in betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de klimatologische gegevens. Uniformiteit is dus niet goed mogelijk. In deze benade-



Plaat I. Het strand na een storm (foto Th. H. M. van Doorn).

ring is dit echter van ondergeschikt belang en dan ook niet nagestreefd.

Door de toch nog eindige hoeveelheid van het basismateriaal dat aanwezig is, hebben de punten in de grafieken niet in alle gevallen de opperste nauwkeurigheid. Om dit aan te geven, zijn deze punten vaak voorzien van verticale streepjes die de onzekerheid aangeven: er is een waarschijnlijkheid van 68%, dat de 'echte' waarde binnen dit streepje valt. Als de waarnemingen langer verricht zouden zijn, dan waren deze streepjes korter. Door de punten heen is vervolgens de kromme getrokken, die aangeeft hoe het *gemiddelde* gedrag van de

grootheid moet worden gezien – ontdaan van de grilligheden, die het beeld van dag op dag zo vaak bepalen. Deze lijn gaat niet altijd door de streepjes, maar dat is – gezien het bovenstaande – ook niet noodzakelijk. Zulke krommen geven uiteindelijk de regelmatigheden en de begrenzingen van het klimaat weer of tonen de verbanden die tussen onderdelen van ons weer bestaan, zoals die kunnen worden afgeleid uit de beschikbare gegevens. Ze vormen de basis van het boek – zoals ze ook de basis vormen van ons eigenlijke weerbeleven.

Lente 1983

HOOFDSTUK 1

Het klimaat door de eeuwen heen

1. Inleiding

‘Wat er tegenwoordig met het weer aan de hand is . . . ik weet het niet. Vroeger had je nog hete zomers en echte winters, waarbij het vroor dat het kraakte, maar nu is het altijd maar kwakkelweer. Het lijkt wel, of de natuur helemaal van slag is . . .’ Hoe vaak wordt zo’n verzuchting al niet geslaakt! Zou het dan toch waar zijn, dat het weer vroeger anders was? Om met de deur in huis te vallen: de vraagsteller heeft in zeker opzicht gelijk. Héél vroeger heerde er zelfs een ijzig klimaat, waarin de mens zich maar met moeite kon handhaven. Onze streken waren veranderd in troosteloze sneeuwvlakten en er was sprake van een bar poolklimaat. Deze onvoorstelbare omstandigheden behoren echter tot een zeer grijjs verleden, want ze eindigen ruim 10.000 jaar geleden. Tegenwoordig zijn de ijskappen teruggetrokken naar het verre noorden en leven wij in een veel gematigder klimaat. Maar ook dit klimaat is in de loop der tijden aan schommelingen onderhevig geweest: soms werd het bij ons wat

kouder, dan weer wat warmer. Dit voltrekt zich echter zo langzaam, dat een mensenleven veel te kort is om er iets van te merken. In dit opzicht heeft de vragensteller zeker geen gelijk: de winters ‘van grootmoeder’ waren even streng of kwakkelig als de huidige, maar extremen onthoudt de mens nu eenmaal, dikt hij aan en vertelt hij door – zo zal het ook altijd wel blijven.

Het besef dat het klimaat langzame, maar op den duur zeer ingrijpende veranderingen ondergaat is nog niet zo oud: het stamt van het einde van de 18e eeuw. In die tijd werden de eerste aanwijzingen gevonden van vroegere ijsbedekkingen van onze bewoond wereld, die nu bekend staan als de ijstijden. Sindsdien zijn er vele pogingen ondernomen om het klimaat te reconstrueren en de ijstijden te verklaren – iets waar men tot op de dag van vandaag nog mee bezig is. Langzamerhand is hierbij een beeld ontstaan van de klimaatschommelingen die in de loop van eeuwen, millennia en miljoenen jaren zijn opgetreden. In dit hoofdstuk zal de huidige stand hiervan worden weergegeven.

Plaat 2. Heel vroeger was het ijzig koud en zag Nederland er uit als de Zuidpool (foto C. W. van Vliet).



De reconstructie van het vroegere klimaat is geen eenvoudige zaak. Pas de laatste twee of drie eeuwen zijn er systematische waarnemingen van meteorologische grootheden verricht, en deze tijdspanne is eigenlijk nog te kort om echte klimaatveranderingen aan te tonen. Wil men verder terug gaan in de tijd, dan bestaan er nog wel kronieken, waaruit men iets over het klimaat kan afleiden, maar als men het klimaat over duizenden of miljoenen jaren wil weten, dan moet men terugrijpen naar andere, indirecte methoden. Het zal duidelijk zijn, dat men op deze wijze slechts een globaal gemiddelde van het oerklimaat over duizenden jaren kan vinden, en zeker geen schommelingen over bijvoorbeeld tien of honderd jaar.

Hoe verder men het verleden induikt, des te globaler wordt het beeld. Toch is men er op deze wijze in geslaagd vele veranderingen van het klimaat op Aarde terug te vinden – ook al omdat ingrijpende klimaatveranderingen zich meestal bijzonder langzaam voltrokken.

In dit hoofdstuk zullen wij ons eerst bezig houden met de methoden die men gebruikt heeft om het oerklimaat op Aarde te reconstrueren. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de uitkomsten, waarbij eerst – noodgedwongen – met reuzenschreden door de tijd wordt gegaan. Naarmate wij dichter bij het heden komen, zijn de klimaatgegevens gedetailleerder en zien wij klimaatschommelingen op kortere tijdschaal. Zo ‘zoomen’ wij langzaam in naar onze eeuw, waarin het weer op vele plaatsen van uur tot uur geregistreerd is en waarin het klimaat is, zoals weergegeven in hoofdstuk 4. Het hoofdstuk eindigt met enkele gedachten over het klimaat van de toekomst.

I. Het klimaat in de geologische oudheid

2. De reconstructie van het vroegere klimaat

Het achterhalen van de klimatologische omstandigheden op geologische tijdschalen is, zoals gezegd, niet gemakkelijk. Hoe verder men teruggaat in de tijd, des te vager zijn de sporen die het klimaat heeft achtergelaten. Voor de vroegste tijden (in de orde van honderden miljoen jaar geleden), zijn het voornamelijk de gletsjersporen en resten van planten en dieren, waaruit men zich een beeld heeft moeten vormen van het toenmalige klimaat. Naarmate men echter dichter bij het heden komt, staan er direktere methoden ter beschikking om het klimaat te reconstrueren. Dit geldt dan speciaal voor het klimaat van de afgelopen 50 miljoen jaar.

Een van de meest succesvolle methoden, die hierover wordt aangewend, is gebaseerd op de analyse

van het gehalte van het zware zuurstofatoom O¹⁸ (zuurstof-18) in de fossiele resten van zeediertjes. Gedurende hun leven hebben deze dierjes kalk gevormd uit het water waarin zij leefden en legden in hun resten dus het toenmalige zuurstof-18 gehalte in de zee vast. Door nu kalkresten van verschillende ouderdom te analyseren, kan men zich een beeld verschaffen van het verloop van dit gehalte in de tijd.

Waarom is dit gehalte nu zo interessant? Water met zo’n zwaar zuurstofatoom, H₂O¹⁸, verdampst door zijn hogere gewicht wat moeilijker dan ‘gewoon’ water, H₂O¹⁶. Als er nu door verdamping water verdwijnt uit de oceanen, dan moet het zuurstof-18 gehalte (dat normaal 0,2% bedraagt) van het resterende water iets gaan toenemen. Er vindt dus een soort distillatie van de oceanen plaats op wereldschaal. Dit gebeurt echter alleen, als dit verdampende water niet terugvloeit, maar zich ergens als ijs in de poolkappen heeft vastgezet. Kortom: het zuurstof-18 gehalte zegt iets over het totale ijsvolume op Aarde, en daarmee ook iets over de gemiddelde temperatuur die toen op onze planeet heerste.

Hoewel krommen van het zuurstof-18 gehalte ons een goed beeld verschaffen van het klimaat van de Aarde als geheel, en op deze wijze een bijdrage aan bijvoorbeeld het ijstijdenprobleem leveren, is deze methode minder geschikt om het klimaat op één bepaalde plaats te achterhalen. Hiervoor neemt men zijn toevlucht tot andere technieken, die meestal gebaseerd zijn op de analyse van plantenresten. Speciaal het pollenonderzoek (dat is de analyse van stuifmeelkorrels in oude veengebieden) is hier ruim toegepast.

Door de samenstelling van deze pollenneerslag te onderzoeken, kan men aanwijzingen verkrijgen over de vegetatie en dus over het klimaat. Een bijkomend voordeel van de methodiek is, dat de datering, althans wat betreft de laatste 50.000 jaar, met grote nauwkeurigheid kan geschieden. Dit gebeurt aan de hand van de zgn. koolstof-14 (C¹⁴) methode. Deze methode komt er kortweg op neer, dat het gehalte van dit zware koolstofatoom in een organisme wordt bepaald. In tegenstelling tot het zware zuurstofisotoop dat hierboven ter sprake kwam, is koolstof-14 niet stabiel. In de loop van de tijd verdwijnt het dus uit een organisme door radioactief verval. Aangezien een plant slechts tijdens zijn leven dit atoom (samen met gewoon koolstof, C¹²) via fotosynthese opneemt uit de atmosfeer, bepaalt het koolstof-14 gehalte uit welke tijd het organisme stamt: hoe ouder het is, des te minder van dit atoom is nog aanwezig. Zoals gezegd is deze koolstofmethode, die overigens ook wordt gebruikt bij het dateren van mummies, bruikbaar voor ouderdomsbepalingen die niet verder dan

enkele tienduizenden jaren teruggaan, omdat dan het koolstof-14 gehalte te laag wordt. Voor het dateren van oudere resten moet men dus terugvallen op andere, onnauwkeuriger methoden.

Figuur 1 geeft een beeld van het verloop van de temperatuur, zoals dat gereconstrueerd is met dit soort methodieken. Men ziet, dat de krommen goed met elkaar in overeenstemming zijn. Duidelijk is, dat het klimaat in de loop van miljoenen jaren drastische wijzigingen heeft ondergaan en dus zeker niet altijd geweest is wat het nu is. Op deze klimaatveranderingen komen wij in de volgende paragrafen meer in detail terug.

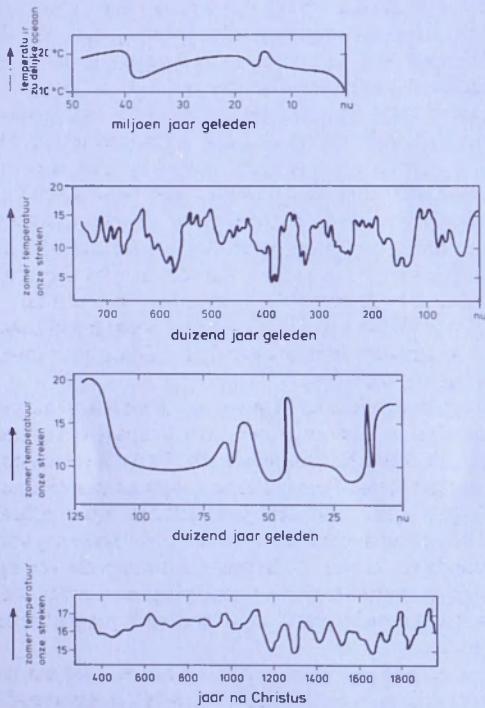


Fig. 1. Reconstructie van het globale verloop van de temperatuur in de afgelopen miljoenen en duizenden jaren. De bovenste twee grafieken zijn verkregen door analyse van zuurstof-18 in diepzeekernen; de derde door analyse van stuifmeelkorrels (pollenonderzoek) en de onderste kromme door de analyse van zuurstof-18 in het ijs van Groenland. De onderste drie curven zijn alle herleid tot de zomertemperatuur op hoge breedten. De ijstijden zijn gemakkelijk in de curven terug te vinden.

3. De continentendrift en het klimaat van de afgelopen 400 miljoen jaar

Bij een besprekking van ons klimaat over een tijdvak van honderden miljoenen jaren moet men in het oog houden, dat Nederland niet altijd heeft bestaan. West-Europa is regelmatig onderhevig geweest aan bodemdalingen en bodemstijgingen, terwijl ook de hoogte van de zeespiegel fluctuaties heeft vertoond.

Dit betekent, dat Nederland van tijd tot tijd onder water is verdwenen om dan vervolgens weer te voorschijn te komen. De nu volgende beschrijving van het vroegere klimaat houdt hier geen rekening mee, en is eigenlijk meer van toepassing op Noordwest-Europa als geheel dan specifiek op ons land. In figuur 2 is het oerklimaat schematisch weergegeven voor de verschillende geologische tijdvakken. De eerste echte aanwijzingen wat betreft ons klimaat stammen uit het Devoon, zo'n 400 miljoen jaar geleden. Resten van koraalriffen uit die tijd wijzen erop, dat er bij ons toen een tropisch of bijna tropisch klimaat heerste. Uit het aansluitende Carboontijdperk, ongeveer 300 miljoen jaar terug, stammen onze steenkoollagen. Deze zijn ontstaan door samopersing van dikke veenlagen, die weer duiden op een overvloedige plantengroei. Blijkbaar was er toen sprake van een warm en vochtig klimaat. Dit ging geleidelijk over in het drogere klimaat van het Perm en Trias, ongeveer 200 miljoen jaar geleden. In het hierop volgende Jura en Krijt (180-70 miljoen jaar geleden), het tijdperk van de grote dinosauriërs, was het nog steeds warmer dan tegenwoordig, terwijl plantenresten er op wijzen dat de omstandigheden weer vochtiger waren geworden. Hierna had West-Europa eerst nog een tijd te maken met eenzelfde klimaat, getuige de bruinkoollagen die uit die tijd stammen, maar vervolgens trad er een afkoeling op. Enkele miljoenen jaren geleden begon zich in het hoge noorden een ijskap te vormen, die zich vervolgens een paar keer enorm heeft uitgebreid en aldus aanleiding heeft gegeven tot ijstijden in onze streken. Deze gebeurtenissen weerspiegelen zich in de grafieken van figuur 1. De laatste ijstijd ligt nu ongeveer 12.000 jaar achter ons; sindsdien is het klimaat vergelijkbaar met dat wat wij nu kennen.

Al met al zijn de veranderingen die ons klimaat heeft ondergaan enorm groot geweest. Uit het bovenstaande leest men af, dat een warm, tropisch klimaat in de loop van honderden miljoenen jaren plaats heeft moeten maken voor koele omstandigheden, die zelfs zijn uitgemond in ijstijden. Men kan zich nu afvragen, of dit alles het gevolg is geweest van een algehele afkoeling van de Aarde, of dat er ook nog iets anders een rol heeft gespeeld.

Het antwoord op deze vraag blijkt tweeledig te zijn: inderdaad is de Aarde wel nu en dan afgekoeld, maar de globale trend van het Westeuropese klimaat heeft toch een andere oorzaak. Om dit weer te geven is in figuur 3 de positie van Nederland ten opzichte van de evenaar aangegeven in de loop van de tijd. Deze figuur geeft dus de geografische breedte van Nederland aan. Deze is nu 52°NB, maar uit de grafiek blijkt, dat Nederland vroeger veel zuidelijker heeft gelegen. De oorzaak hiervan is de *continentendrift*: het langzame uit elkaar drijven, maar vooral ook het verschuiven in zuid-noord richting

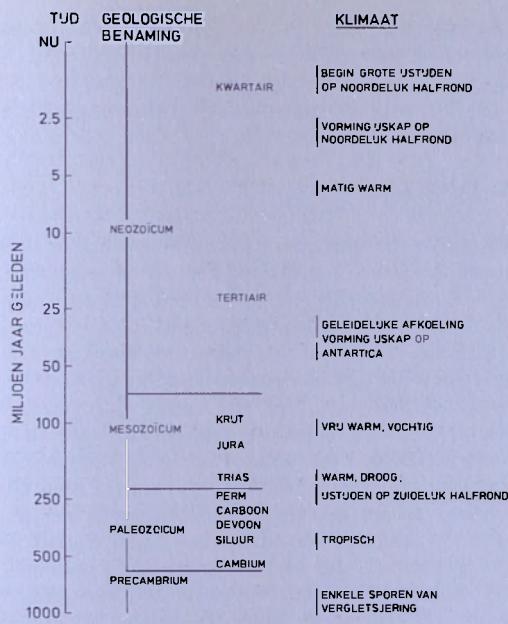


Fig. 2. Schematische weergave van het klimaat in de afgelopen miljard jaar.

van de continenten over de Aardbol. Nu is het meteen duidelijk waarom het vroeger zoveel warmer was dan nu: Nederland bevond zich toen in het gebied waar ook nu nog een tropisch klimaat heerst, en is toen vervolgens met een snelheid van enkele centimeters per jaar via de droge subtropische gordel, naar zijn huidige positie toegedreven! Ons klimaat is dus wel veranderd, maar dit is vooral het gevolg van een positiewijziging en minder van werkelijke klimaatveranderingen van de Aarde als geheel.

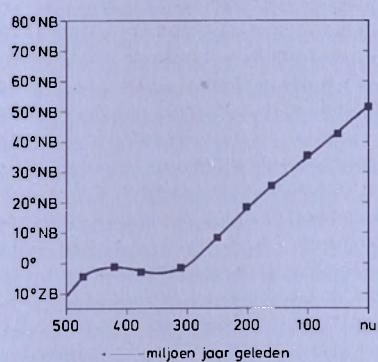


Fig. 3. De positie van Nederland ten opzichte van de evenaar in de afgelopen 500 miljoen jaar. Ten gevolge van de continentendrift is ons land geleidelijk van de tropen naar zijn huidige positie gedreven, waardoor ons klimaat zich wijzigde. Tevens is er sprake geweest van oost-west verschuivingen, maar deze zijn hier niet weergegeven.

Toch heeft dit laatste ook een rol gespeeld. De klimaatveranderingen, die de Aarde als geheel heeft ondergaan, zijn zo groot geweest, dat zij wel degelijk van invloed waren op het verloop van het Nederlandse klimaat zoals hierboven geschatst. Op dit moment is de situatie op Aarde zo, dat er sprake is van permanente ijsbedekking bij beide polen, maar als men de geologische geschiedenis nagaat, dan blijkt dat dit niet altijd het geval is geweest. Het is zelfs zo, dat een ijsbedekking geen regel, maar uitzondering is op onze planeet: voordat de ijskappen zich vormden zijn de polen zeer lange tijd ijsvrij geweest. Pas als men teruggaat tot het Perm, 250 miljoen jaar terug, vindt men weer resten van een eerdere ijsbedekking. Deze vond plaats aan de Zuidpool (gaf daar ook aanleiding tot grote ijstijden) en duurde naar schatting zo'n 20 miljoen jaar. Sporen van een nog eerdere ijsbedekking zijn nog eens 300 miljoen jaar ouder en stammen uit het Precambrium; in de tussenliggende tijd was de Aarde wederom ijsvrij. Wij maken nu dus een van de zeldzame, koele perioden door van onze planeet. Men moet hierbij echter in het oog houden, dat dit soort afkoelingen zich vooral tot de gebieden rond de polen heeft beperkt en zich niet echt heeft doorgestreden tot bijvoorbeeld de evenaar, zodat het klimaat in die streken de afgelopen half miljard jaar maar weinig veranderd is.

Hoe verder Nederland naar het noorden is gedreven, des te sterker is ook het klimaat beïnvloed door de klimaatschommelingen die zich daar hebben afgespeeld. Terwijl het verloop van ons klimaat tot zo'n tiental miljoen jaar geleden bijna geheel verklaard kan worden uit de positieverandering van Nederland, komen de klimaatfluctuaties die hierop volgden voornamelijk op rekening van echte klimaatschommelingen, op hogere geografische breedten.

Men kan zich tenslotte nog afvragen, wat nu de oorzaak is geweest van deze periodiek terugkerende vorming van poolkappen. Het blijkt, dat ook dit verschijnsel weer terug te voeren is op de continentendrift. Als er namelijk bij een pool een open oceaan aanwezig is, dan kan daar nooit permanent zeeijs op ontstaan: door de voortdurende aanvoer van water door zeestromingen uit warmere streken blijft de temperatuur hiervoor altijd te hoog. De omstandigheden voor het vormen van een ijskap zijn dus alleen gunstig als er zich bij een pool een uitgestrekte landmassa bevindt. Wanneer een continent naar een van de polen toedrijft, dan kan zich daar een ijskap vormen; drijft hij er weer vandaan, naar warmere streken, dan verdwijnt de ijskap weer. Dit verklaart ook, waarom er zich in het Perm alleen aan de Zuidpool een ijskap heeft gevormd: in dit tijdperk lag een deel van het oorspronkelijke oercontinent over de Zuidpool heen, terwijl er bij de Noordpool alleen een open oceaan

aanwezig was. Toen de continenten wegdroegen van de Zuidpool verdween daar de ijskap; deze vormde zich pas weer opnieuw toen het relatief kleine Antarctica, 40 miljoen jaar geleden, opnieuw deze pool naderde. Al die tijd bleef het bij de Noordpool echter ijsvrij. Inmiddels waren Groenland, Europa en Amerika steeds verder naar het noorden gedreven; de Poolzee kreeg hierdoor steeds meer het karakter van een binnenzee. Ongeveer drie miljoen jaar gele-

den begonnen zich ook in het hoge noorden ijskappen te vormen. Pas sinds die tijd heeft de Aarde, voor het eerst in zijn geologische geschiedenis, te maken met een permanente ijsbedekking bij beide polen.

4. De ijstijden

De meest dramatische, en in ieder geval de meest tot de verbeelding sprekende klimaatveranderingen, zijn die geweest die tot de ijstijden hebben geleid. Deze ijstijden werden gekenmerkt door de aanwezigheid van kilometers dikke (tot ca. 3 km toe) ijskappen op de Noordamerikaanse en Euraziatische continenten. Ook het zeeijs, dat normaal slechts de Poolzee bedekt, breidde zich dan sterk naar het zuiden uit, met name in de Atlantische Oceaan. Dit alles resulteerde in enorme ijsbedekkingen van het noordelijk halfrond, zoals weergegeven in figuur 4. Eén van deze ijstijden is zelfs zo streng geweest, dat de Scandinavische ijskap zich tot ons land uitbreidde. Noord-Europa werd bedekt door een kilometers hoge ijslaag en Nederland kreeg te maken met een echt poolklimaat; stuwwallen als de Veluwe en Utrechtse Heuvelrug markeren in ons landschap de plaatsen tot waar het ijs toen gekomen is (zie figuur 5). Tegenwoordig weten wij, dat er de afgelopen miljoen jaar zeker sprake is geweest van zeven ijstijden, die alle geleid hebben tot ijsbedekking van de noordelijke delen van Europa, Azië en Amerika. Tussen deze ijstijden in verdwenen deze continentale ijskappen en werd ons klimaat warmer; men noemt deze perioden *interglaciale*.

De gevolgen van een ijstijd zijn bijzonder ingrijpend. Terwijl op dit moment ongeveer 10% van de Aarde door permanent land- of zeeijs is bedekt, liep dit getal tijdens een grote ijstijd op tot wel 25% of meer. Dit betekende, dat ruim een kwart van het landoppervlak van de Aarde – tien keer zoveel als nu – veranderde in een troosteloze sneeuwvlakte met ijzige temperaturen, zoals weergegeven in fig. 4. Ondanks deze enorme ijskap handhaafden de gebieden bij de evenaar gewoon hun tropische klimaat. Nu is het zo, dat de sterkte van de winden die om de Aarde waaieren, verband houdt met temperatuurverschillen tussen noord en zuid. Omdat bij een ijstijd de afstand tussen de poolkap en de evenaar relatief klein is, heeft het net ten zuiden van deze kap enorm hard gewaaaid, terwijl de depressies die hiervoor verantwoordelijk waren hun neerslag vaker in zuidelijker gebieden gebracht hebben dan nu het geval is. Gebieden als Spanje, Frankrijk en Italië kregen hierdoor te maken met een vochtiger klimaat, maar ten zuiden hiervan, in Tunesië en Algerije, was het juist droger dan nu. Zo ondergingen niet alleen de gebieden die door de ijstijden werden getroffen, maar ook zuidelijker streken een



Fig. 4. De permanente ijsbedekking op het noordelijk halfrond. Het bovenste kaartje geeft de toestand zoals die nu is en het onderste kaartje de situatie tijdens een grote ijstijd. Dit laatste geeft ongeveer de ijsbedekking weer zoals die 20.000 jaar geleden was. Boven het vasteland bevond zich toen een enorme, kilometers hoge ijskap, terwijl grote delen van de oceanen bevroren waren. De zeespiegel was meer dan honderd meter lager dan nu, zodat op veel plaatsen de zee droogviel. (Overgenomen uit Imbrie and Imbrie: Ice ages, solving the mystery, McGraw Hill, 1979).



Fig. 5. Tijdens een van de ijstijden breidde de ijskap zich tot Nederland uit. De maximale uitbreiding van het permanente ijs is hier weergegeven. Stuwwallen als de Veluwe markeren tot de dag van vandaag deze positie; deze zijn eveneens op het kaartje aangegeven.

drastische klimaatverandering, zij het op een geheel andere wijze.

De invloed van een ijstijd beperkt zich niet tot het klimaat alleen. Gedurende zo'n periode zijn namelijk zulke grote hoeveelheden oceaanwater als ijs op het continent opgeslagen, dat de zeespiegel merkbaar lager is. Tijdens de grote ijstijden is deze daling van het water niet minder dan 120 meter geweest, wat bijvoorbeeld betekende dat de gehele Noordzee droogviel. Als een ijstijd dan vervolgens plaats maakte voor een interglaciaal, dan kwam ook de zeespiegel weer omhoog, zodat dit interglaciaal werd ingeluid met een periode waarin steeds meer overstromingen plaatsvonden. In dit opzicht is het verdwijnen van een ijstijd voor flora en fauna bijna even ingrijpend als het uitbreken ervan.

Wat zijn nu de oorzaken van ijstijden? Hoewel op deze vraag nog steeds geen volledig antwoord te geven is, zijn er in de loop van de jaren steeds meer puzzelstukjes gevonden die tot de oplossing van het probleem bijdragen. Ten eerste is het noodzakelijk, dat er ijskappen op Aarde aanwezig zijn. Zoals wij in de vorige paragraaf hebben gezien, is dit alleen maar mogelijk als er zich bij de polen ook landmassa's bevinden. Een ijstijd houdt echter in, dat zo'n ijskap zich dan ook nog ver moet kunnen uitbreiden. Dit impliceert, dat de landmassa's bij de pool ook van zeer grote afmetingen moeten zijn: in zee kan de ijskap zich niet uitbreiden. Hoewel Antarctica op dit moment te maken heeft met een

verijsd klimaat en bedekt is met een kilometers hoge ijskap (als deze zou smelten stijgt het oceaanwater met zo'n 60 meter), zal zich vanaf dit kleine continent dus nooit een echte ijstijd kunnen ontwikkelen: het is geheel omringd door een oceaan.

Op het noordelijk halfrond is de situatie echter anders. Weliswaar is er op de Noordpool zelf geen land, maar de continenten liggen hier zó dicht bij, dat de vorming van een grote ijskap in principe mogelijk is. Dit gebeurt echter alleen, als de permanente ijskap zich op het continent vormt; het zeeijs in de poolzee (overigens maar 3 meter dik) is hier niet geschikt voor, omdat dit bij een aangroei aan de bovenkant dieper in het water zinkt en aan de onderkant weer afsmelt. Op dit moment is er maar weinig permanent landijs bij deze pool aanwezig: alleen Groenland heeft te maken met een verijsd klimaat en is bedekt met een dikke ijskap (als dit ijs zou smelten, dan komt de zeespiegel overigens slechts 6 meter omhoog). Het Groenlandse ijs kan zich echter niet verder over land uitbreiden, en zal dus evenals het ijs van Antarctica, nooit een ijstijd kunnen bewerkstelligen.

Waarschijnlijk is de aanzet tot een ijstijd gelegen in een op zichzelf geringe afkoeling op hoge breedten, veroorzaakt door bijvoorbeeld een kleine wijziging in de baanelementen van de Aarde. Door de gerin gere instraling van de zon die hiervan tijdelijk het gevolg is, kan zich dan een permanente ijskap op die continenten vormen, die zich dicht genoeg bij de pool bevonden. De weg naar het zuiden is vrij, zodat een ijskap zich in principe kan gaan uitbreiden.

Figuur 6 geeft de ijsbedekking op Aarde van de afgelopen 700.000 jaar weer, zoals die bepaald is

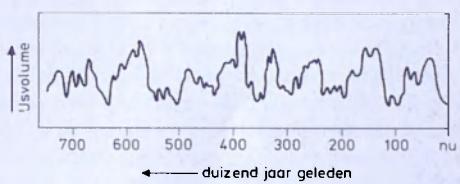


Fig. 6. Het verloop van de hoeveelheid permanent landijs op Aarde gedurende de afgelopen 700 duizend jaar, bepaald met de zuurstof-18 methode. Een maximum in de kromme geeft weer dat er een ijstijd plaatsvond. Uit de figuur leest men af, dat de opbouw van ijskappen veel langzamer gaat dan de afbraak.

met de zuurstof-18 methode. Deze grafiek is dezelfde als die in figuur 1, alleen is hij nu omgedraaid. Toppers in de curve corresponderen met een maximale ijsuitbreiding en dus met een ijstijd; een dal geeft een interglaciaal weer. Blijkbaar is het zo, dat als de omstandigheden gunstig zijn voor het optreden van een ijstijd, de ijskap zich niet onbeperkt uitbreidt, maar zich ook weer van tijd tot tijd terugtrekt. In plaats van met een algehele verijzing rond de pool hebben wij dus met een *serie* ijstijden te

maken, die elkaar met een duidelijke regelmaat van ongeveer één maal per honderdduizend jaar opvolgen. Wat ook opvalt in de figuur, is dat ijskappen langzaam komen en relatief snel gaan: kennelijk is het afbreken ervan simpeler dan de opbouw.

Volgens de klassieke opvattingen, gebaseerd op geologische onderzoeken, zijn er in Europa vier grote ijstijden geweest: de Günz-, de Mindel-, de Riss- en de Würmijstijd, resp. zo'n 600.000, 400.000, 140.000 en 50.000 jaar geleden. Slechts tijdens de Rissijstijd bereikte de ijskap ook Nederland. Het inpassen van deze vier 'Europese' ijstijden (waarvan de geologische datering ook nog niet geheel zeker is) in het beeld van figuur 6 is nog steeds een punt van discussie. De figuur duidt evenwel op zeven ijstijden in plaats van vier, maar men moet hierbij niet uit het oog verliezen, dat de ijstijden elkaars geologische sporen kunnen hebben uitgewist. Bovendien geeft de figuur de *totale ijsbedekking* op Aarde weer en is het helemaal niet vanzelfsprekend, dat een ijskap zich altijd op alle continenten even sterk heeft uitgebreid.

De vraag rijst onmiddellijk, hoe een ijskap zich onder invloed van een kleine temperatuurverandering zo enorm kan uitbreiden, en waarom deze uitbreiding dan weer zo abrupt stopt. Het antwoord op het eerste deel van deze vraag is lang gezocht in de zgn. albedo-temperatuur terugkoppeling van ijs. Kort gezegd komt dit er op neer, dat de temperatuur van een ijskap maar weinig door de zonnestraling kan oplopen, aangezien een groot deel van deze straling door het witte oppervlak wordt weerkaatst. Als een ijskap dus eenmaal is gevormd, wordt het nog kouder en zal hij zich dus ook gemakkelijker kunnen uitbreiden.

Hoewel dit een bijzonder plausibele verklaring lijkt, is men geleidelijk toch tot de overtuiging gekomen, dat dit effect niet groot genoeg is om de ijstijden te verklaren. Tegenwoordig meent men echter nog een andere sleutel voor dit probleem in handen te hebben. Om dit te illustreren, is in figuur 7 de zgn. 'eeuwige sneeuwlijn' getekend. Boven deze lijn is de atmosfeer zo koud, dat er op een eenmaal gevormde ijskap ophoping van sneeuw plaatsvindt; onder

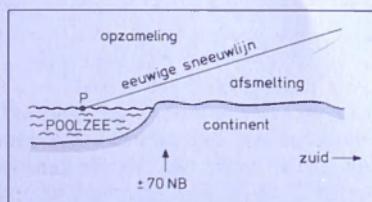


Fig. 7. Boven een bepaalde hoogte in de atmosfeer is het zo koud, dat er op een eenmaal gevormde ijskap ophoping van sneeuw plaats vindt. De hoogte waar dit mogelijk wordt, noemt men de *eeuwige sneeuwlijn*. In de tropen ligt deze op ongeveer 5 km hoogte, maar in de Poolzee raakt hij de grond. Dit is aangegeven met een P.

de lijn domineert de afsmelting. Hoe noordelijker wij komen, des te geringer is de hoogte van deze lijn. Bij de tropen ligt hij op zo'n 5 km hoogte ('eeuwige sneeuwgrens'), in de Alpen op 2800 meter, in Noord-Scandinavië ongeveer 1000 meter en in de Poolzee raakt hij de grond. Dit punt is in de figuur aangegeven met een P. Als er nu een geringe afkoeling optreedt, dan verplaatst punt P zich honderden kilometers zuidwaarts en kan het land bereiken. Er kan zich dus een ijskap op het continent gaan vormen. Tijdens zijn groei breidt deze zich verder boven de eeuwige sneeuwlijn uit in de hogere, koudere delen van de atmosfeer, zodat deze aangroei steeds gemakkelijker gaat (de temperatuur van de atmosfeer neemt gemiddeld met ongeveer 6 graden per kilometer hoogte af). Op deze wijze kan de ijskap gemakkelijk een hoogte van drie kilometer bereiken. Nu kan de ijskap zich ook steeds verder naar het zuiden uitbreiden op de wijze zoals afgebeeld in figuur 8, aangezien het

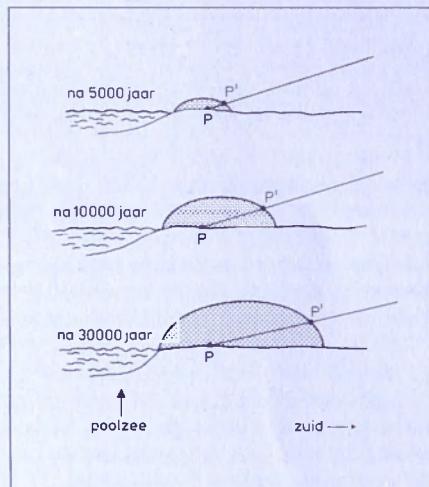


Fig. 8. Als de eeuwige sneeuwlijn het vasteland bereikt kan zich daar een ijskap beginnen te vormen. Hoe hoger deze wordt, des te gemakkelijker gaat de aangroei, want het snijpunt P' van de eeuwige sneeuwlijn met een hoge kap ligt veel zuidelijker dan het snijpunt P op zeeniveau.

snijpunt P' van de eeuwige sneeuwlijn met de bovenkant van de hoge ijskap veel zuidelijker ligt dan het snijpunt P op zeeniveau. Bovendien stroomt het ijs in de vorm van gletsjers uit de hoge ijskap naar het zuiden. Op deze wijze is een geringe temperatuurdaling inderdaad voldoende om tot de vorming van een zeer grote ijskap aanleiding te geven.

De aangroei van een ijskap gaat overigens veel langzamer dan men wel eens denkt. Dit is begrijpelijk, want zelfs als alle neerslag in bijvoorbeeld Nederland als sneeuw zou blijven liggen, dan duurt het nog duizenden jaren voordat dit aangegroeid is

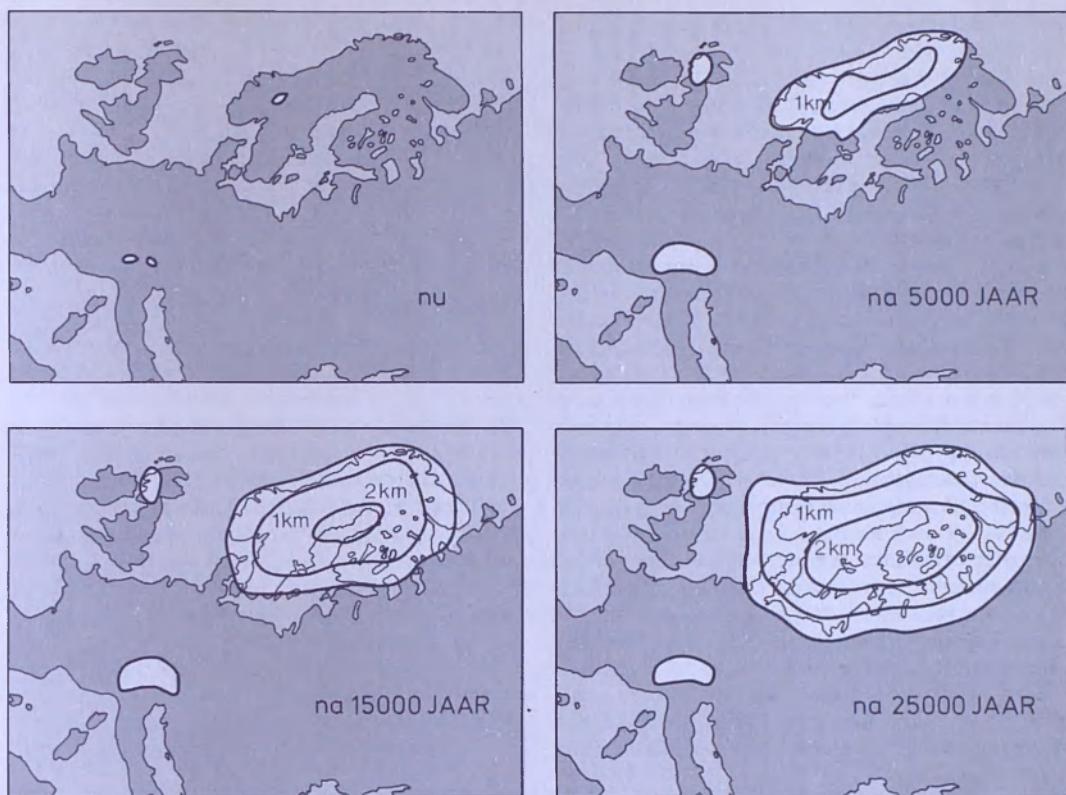


Fig. 9. Als de temperatuur zes graden lager wordt kan de sneeuw van de Noorse bergen de vlakten bereiken en zich verder uitbreiden, zodat er een ijstijd ontstaat. In deze kaartjes is weergegeven hoe een ijskap zich zou uitbreiden als de temperatuur vanaf nu zeven graden lager zou worden en hierna constant blijft. De lijnen die in de ijskap zijn getekend geven de dikte ter plaatse aan. Uit de kaartjes blijkt, dat de aangroei van de kap zo langzaam gaat, dat het tienduizenden jaren duurt voor ook Nederland er onder verdwenen is en met een echte ijstijd te maken krijgt.

tot een ijskap met een hoogte van 3 km. In de praktijk gaat deze opbouw echter nog veel langzamer. In figuur 9 is weergegeven, hoe een ijskap op het noordelijk halfrond zich zou ontwikkelen, als de temperatuur op hoge breedten vanaf nu zeven graden lager zou komen te liggen. Men ziet, dat het zelfs bij zo'n drastische temperatuurdaling nog eens 30.000 jaar duurt vóór de kap Nederland kan bereiken. Dus zelfs als de eeuwige sneeuw in Noorwegen de vlakten al bereikt zou hebben (hiervoor is de temperatuur thans echter zes graden te hoog) dan zal het nog tienduizenden jaren duren voordat ook Nederland met een echte ijsbedekking te maken kan hebben. Van een 'plotseling binnenvallen' van een ijstijd kan dus nooit sprake zijn. Rest ons tenslotte nog het probleem hoe vervolgens de snelle afbraak van een ijskap plaatsvindt, en waar de regelmaat in de ijstijden in figuur 6 vandaan komt. Tegenwoordig begint de gedachte

veld te winnen, dat dit niet zo zeer veroorzaakt wordt door astronomische invloeden (variaties in de hoeveelheid zonnestraling bijvoorbeeld), maar eerder doordat een ijskap bij een bepaalde grootte onstabiel wordt en zichzelf vernietigt. Dit gebeurt dan, omdat het geweldige gewicht van de kilometers dikke kap een bodemdaling teweegbrengt, zodat de ijskap voor een groot deel onder de eeuwige sneeuwlijn terechtkomt en afsmelt. Bovendien kan, als de ijskap dik is geworden, de warmte die via de bodem uit het binnenste van de Aarde komt niet meer genoeg naar boven afgevoerd worden. Hierdoor bereikt de onderkant van het ijs het smeltpunt en zakt vervolgens de ijskap in, zodat het nog voor een groter deel onder de eeuwige sneeuwlijn terechtkomt. Dit bespoedigt de vernietiging ervan. Als de kap verdwenen is, kan de bodem weer stijgen; als punt P weer op het land terechtkomt, begint de ijsvorming opnieuw.

Hoewel met deze verklaring ongetwijfeld het laatste woord nog niet over dit probleem is gezegd, blijkt het wel mogelijk op deze wijze zowel de regelmaat van 100.000 jaar in de ijstijden te verklaren als de langzame aangroei en de snelle afbraak van de kap. Het meest verrassende hierbij is, dat het dus de eigenschappen van de ijskap zelf zijn die verantwoordelijk zijn voor het komen en gaan van de ijstijden.

5. Het Holoceen (10.000 v. Chr. tot heden)

Het tijdperk waarin wij nu leven noemt men ook wel het Holoceen. Als beginpunt hiervan wordt het einde van de laatste ijstijd genomen. In figuur 10 is het verloop van de juli-temperatuur van de afgelopen 70.000 jaar weergegeven voor Nederland, zoals die verkregen is uit pollenanalyse. Men ziet hieruit, dat de laatste ijstijd nog maar kort achter ons ligt. Ongeveer 12.000 jaar geleden nam de gemiddelde juli-temperatuur in korte tijd toe met niet minder dan 15 graden; dit markeert het einde van de Würmijstijd en dus het begin van het Holoceen. Ook deze grafiek geeft duidelijk weer, dat een ijstijd snel ten einde liep; in enkele duizenden jaren veranderde Nederland van een arctische woestijn in een toendragebied, waarin zich vervolgens bossen begonnen te ontwikkelen. Sinds die tijd heeft het klimaat ook nog wel enige fluctuaties gekend, maar deze waren relatief gezien maar klein: in het veeljarige gemiddelde hoogstens een enkele graad. Toch zijn dit soort variaties zeker van belang, omdat die voldoende groot zijn om bijvoorbeeld de kans op een strenge winter sterk te beïnvloeden.

Van het klimaat in het begin van het Holoceen is al redelijk veel bekend, hoewel er toen natuurlijk nog geen sprake was van geschiedschrijving. Uit het pollenonderzoek is bijvoorbeeld duidelijk gewor-

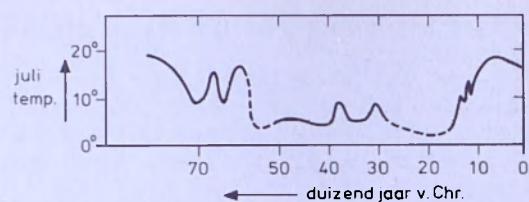


Fig. 10. Het verloop van de juli-temperatuur in Nederland gedurende de afgelopen 70.000 jaar, zoals die is afgeleid uit pollenonderzoek. De laatste ijstijd is goed uit de figuur te lezen; juli was toen ongeveer even koud als maart nu is. Sinds het vrij abrupte einde van de ijstijd zijn de klimaatvariaties veel kleiner (naar H. W. Zagwijn).

den, dat het rond 5000 v. Chr. iets warmer was dan nu. Naarmate wij echter dichter bij het heden komen, krijgen wij langzamerhand steeds meer aanwijzingen over het precieze verloop van het klimaat. Logboeken en notities bevatten steeds meer verwijzingen naar de klimatologische omstandigheden, zodat het beeld wat duidelijker wordt. Natuurlijk moet men bij de interpretatie van deze gegevens met enige voorzichtigheid tewerkgaan, omdat meestal slechts extremitelen werden vermeld en de waarnemingen weinig systematisch waren. Toch vormen deze bronnen een aanvulling op de gegevens die men met pollenonderzoek, de

Plaat 3. Uit de lengteveranderingen van gletsjers leest men temperatuurschommelingen op korte tijdschaal af, zoals hier aan de Argentiëregletsjer in de Franse Alpen. Links de situatie in 1850, rechts de situatie nu.



zuurstof-18 methode en andere technieken voor die tijd heeft gevonden.

In de periode 1000-1750 (vanaf 1750 begonnen de meteorologische metingen op grote schaal) is het verloop van het klimaat meer gedetailleerd bekend. Vóór 1400 had Europa te maken met een vrij warm klimaat, vooral wat betreft de zomers. Ook op andere plaatsen op het noordelijk halfrond is er toen sprake geweest van warmere omstandigheden. Zo troffen de Noormannen bij de ontdekking van Amerika (rond het jaar 1000) daar een weelderige vegetatie en druivengroei aan, ofschoon ze vlak bij het Canadese deel van dit continent landden. Zij noemden dit nieuwe land dan ook zeer toepasselijk Vinland, hetgeen wijnland betekent.

Ook Groenland had in die periode met een vrij leefbaar klimaat te maken, getuige het feit dat de Eskimo's zich toen tijdelijk zelfs op het noordoostelijke deel van dit eiland vestigden. Uit figuur 1, verkregen met de zuurstof-18 methode, leest men af dat de metingen inderdaad wijzen op betere omstandigheden rond het jaar 1000.

Na deze warme periode trad er in de late middeleeuwen een afkoeling op, die in de 17e eeuw culmineerde in de zogenoamde '*kleine ijstijd*'. Strenge winters kwamen in die periode veel voor en ook de zomers waren vrij koud. Ook deze klimaatverandering voltrok zich tevens op andere delen van het

noordelijk halfrond (zie de grafiek in figuur 1).

Na de 18e eeuw werd het weer wat warmer en sindsdien verschilt het klimaat niet veel van dat wat wij nu kennen. Wij zijn nu echter zo dicht bij het heden aangeland, dat het klimaat ook uit directe waarnemingen bekend is. Ons beeld is dus nog gedetailleerder, en wij kunnen van de laatste paar eeuwen ook fluctuaties bestuderen op tijdschalen van 10 jaar of nog korter. Dit soort schommelingen valt echter niet meer onder klimaatveranderingen, maar wordt veroorzaakt door de 'gewone' grilligheden van het weer, zoals wij die ook van dag tot dag kennen. Op de resultaten van deze metingen gaan wij in het resterende deel van dit hoofdstuk nader in.

Men kan zich tenslotte afvragen, of met het bovengeschetste, toch vrij globale beeld, het laatste woord is gezegd over het klimaat van het Holocene, of dat er nog uitzicht is op een meer gedetailleerde reconstructie. Dank zij een nieuwe methodiek, die thans wordt ontwikkeld, zal dit laatste binnen afzienbare tijd inderdaad mogelijk worden. Deze methode is gebaseerd op de studie van jaarringen van bomen. Door hout te verzamelen van levende en van dode, geconserveerde bomen waarvan de levenstijden elkaar overlappen, blijkt het mogelijk te zijn deze jaarringen door tellingen absoluut te dateren, in principe tot vele duizenden jaren terug.



Omdat de dikte van een jaarring mede bepaald wordt door klimatologische factoren, is het dan ook mogelijk het weer van het Holocene van jaar tot jaar te achterhalen. Men verwacht, dat wij met deze methode over een niet al te lange tijd althans voor een aantal gebieden op Aarde een veel nauwkeuriger beeld van het klimaat van het Holocene zullen hebben dan nu het geval is.

II. Het klimaat van de afgelopen paar eeuwen

6. Het systematisch waarnemen van het klimaat

In de vorige paragrafen hebben wij een beeld gegeven van het klimaat van vroegere tijden, zoals dat is gereconstrueerd aan de hand van de sporen die het weer op Aarde heeft achtergelaten. De gebruikte methoden zijn tamelijk ruw, zodat deze reconstructie een vrij globaal karakter draagt. Voor de laatste paar eeuwen hebben wij echter ook de beschikking over beschrijvingen van het weer door ooggetuigen. Deze maken het in principe mogelijk het klimaat uit die tijden gedetailleerder te achterhalen.

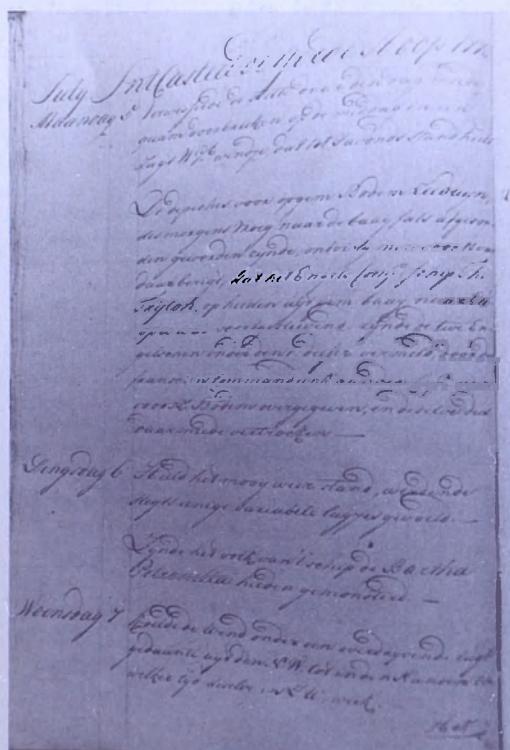
Historische waarnemingen van het weer zijn echter

alleen maar bruikbaar voor klimaatreconstructie als ze op systematische wijze zijn verricht. Dit betekent, dat het voor de studie van gemiddelden zeker niet voldoende is, als alleen maar bijzondere gebeurtenissen zijn opgetekend. Anderzijds is het natuurlijk wel zo, dat echte rampen (overstromingen en dergelijke) zo diep op de maatschappij hebben ingegrepen, dat de geschiedschrijving hierover al vanaf de middeleeuwen betrekkelijk volledig is. Hierdoor kan men voor de studie van dergelijke gebeurtenissen uit historische bronnen tot in de middeleeuwen terug gaan.

Pas uit de laatste paar eeuwen stammen documenten die systematische waarnemingen omtrent het weer bevatten. Sommige hiervan zijn eigenlijk helemaal niet met deze bedoeling verricht, maar blijken achteraf gezien toch informatie te bevatten die bruikbaar is. Het gaat hier om bloedata van planten, oogstgegevens, de aanwezigheid van ijs op de binnenwateren, de hoogte van de sneeuwgrens, de afmetingen van gletsjers in het hooggebergte, enz. Om uiteenlopende redenen hebben belanghebbenden dit soms jaar in, jaar uit systematisch bijgehouden en dit eeuwen lang volgehouden. Men kan bij deze gegevens spreken van *indirecte* weerwaarnemingen. *Directe* waarnemingen van het weer met behulp van instrumenten zijn veel recenter en stammen op zijn vroegst uit de 17e eeuw. In de afgelopen tientallen jaren zijn deze directe metingen in Nederland bijeengebracht en waar mogelijk gecombineerd tot één lange waarnemingsreeks voor een representatief station. In de afgelopen paar jaar is men bovendien in staat gebleken deze directe waarnemingen te combineren met sommige indirecte, waardoor deze meetreeks op bepaalde onderdelen uitgebreid kon worden naar een verder verleden. Hoe dit alles in zijn werk is gegaan en wat de resultaten van al deze inspanningen uiteindelijk zijn, is beschreven in de volgende paragrafen.

7. Het begin van de metingen en het combineren van meetreeksen

Wat betreft de klimaatbeschrijving kan het begin van het instrumentele tijdperk gezet worden rond het jaar 1640. In 1641 werd namelijk de eerste bruikbare thermometer uitgevonden en in 1643 volgde de barometer. Terwijl op sommige plaatsen in het buitenland al in de tweede helft van de 17e eeuw meteorologische waarnemingen met deze instrumenten werden verricht, duurde het tot het einde van die eeuw voor men in Nederland dit voorbeeld volgde. De oudst bewaard gebleven waarnemingen van temperatuur en luchtdruk in ons land werden in Leiden verricht door Senguerdus en dateeren uit 1697 en 1698. Hierna duurde het tot 1705 voor er opnieuw systematische waarnemingen van



Plaat 4. Dagboekfragmenten stellen ons soms in staat het weer van vroeger te reconstrueren.



Plaat 5. Rampzalige weergebeurtenissen zijn beter opgetekend dan gewone gebeurtenissen.

de temperatuur werden verricht. Het eerst gebeurde dit in Delft, maar spoedig daarop volgden meer plaatsen. Hierdoor zijn er uit de eerste helft van de 18e eeuw elf waarnemingsreeksen beschikbaar van verschillende lengten, die door hun onderlinge overlappend dit hele tijdperk beslaan. Bijzonder belangrijk is vervolgens de oprichting van een meetstation in Zwanenburg, waar gedurende de enorm lange periode van 1735 tot 1861 meteorologische gegevens zijn vastgelegd. Door deze metingen te vergelijken met die van het KNMI (van 1848 tot 1897 in Utrecht, hierna in De Bilt) is het mogelijk gebleken één lange temperatuurreeks samen te stellen voor De Bilt die loopt vanaf 1735; door toevoeging van de Delftse gegevens gaat deze zelfs terug tot 1706. Men heeft lang getwijfeld of dit laatste verantwoord is, maar zoals wij in de volgende paragraaf zullen zien, is men door vergelijking met indirecte waarnemingen later tot de overtuiging gekomen dat deze vroege waarnemingen voldoende nauwkeurig waren.

Door meetreeksen van andere meteorologische elementen op eenzelfde wijze te behandelen (vergelijk-

ing van overlappende delen en vervolgens combineren van deze reeksen) is men er in geslaagd tevens een continue windrichtingreeks voor Amsterdam vanaf 1700 samen te stellen en een neerslagreeks voor Hoofddorp vanaf 1735. Hiermee behoort Nederland tot de landen met de langste ononderbroken klimaatreeksen. Er zijn maar enkele plaatsen op Aarde waar men de beschikking heeft over reeksen van vergelijkbare lengte. Een beroemd voorbeeld is Engeland, waar men wat de temperatuur betreft zelfs terug kan gaan tot 1659. Maar voor de meeste landen geldt, dat het weer pas sinds een eeuw of nog korter systematisch is vastgelegd. Men moet zich bij dit alles natuurlijk wel realiseren, dat met het vastleggen van temperatuur en neerslaghoeveelheden slechts een klein facet van het klimaat als geheel is geregistreerd. Metingen van andere grootheden (zonneschijn, straling, minimum- en maximumtemperatuur etc.) zijn veel later begonnen en leveren maar in een enkel geval een reeks op die langer is dan honderd jaar. Wil men het klimaat van de Aarde als geheel beschrijven, dan zijn ook deze gegevens niet voldoende, maar moet men tevens de toestand van de atmosfeer op grotere hoogte kennen. Dit kan gebeuren door het oplaten van instrumenten aan ballonnen, maar dit gebeurt pas sinds 1950 op grote schaal. Wat dit betreft staat de beschrijving van ons klimaat dus nog in de kinderschoenen, maar naarmate de tijd verstrijkt zullen ook zulke meetreeksen steeds langer en betrouwbaarder worden.

8. Het combineren van directe en indirecte waarnemingen

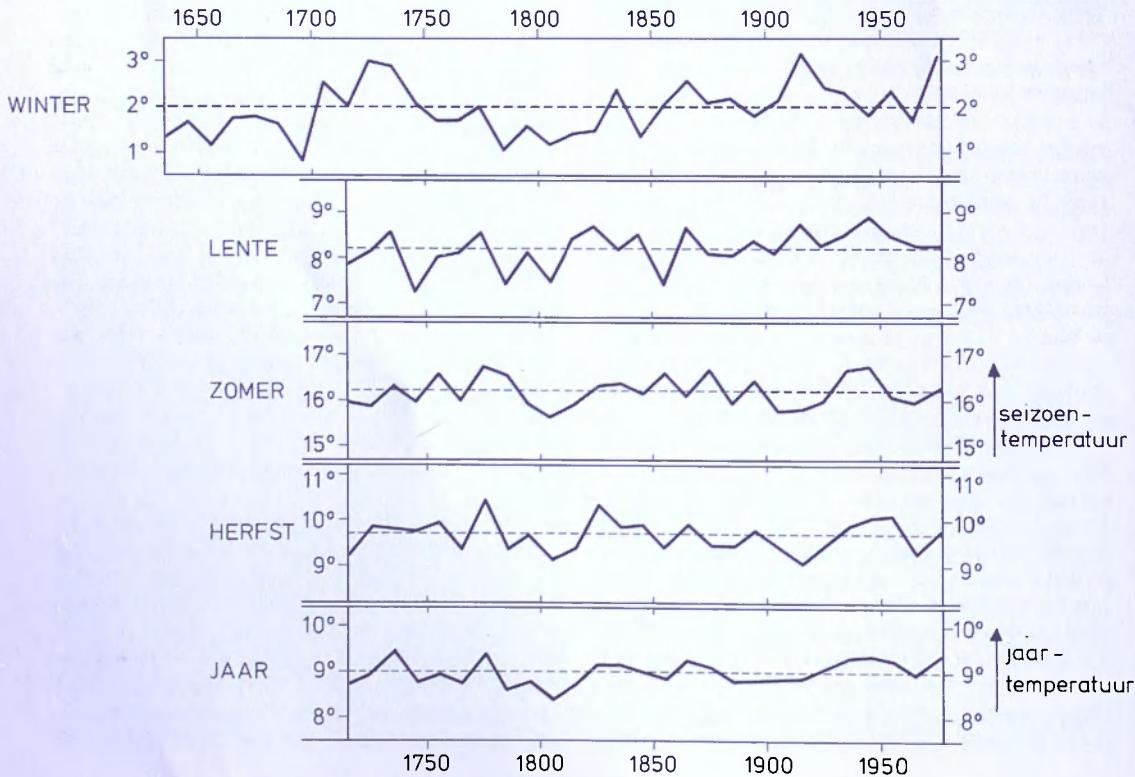
Toen men er eenmaal in was geslaagd om lange, klimatologische reeksen samen te stellen, rees de vraag of de oudere, indirecte waarnemingen hieraan iets konden toevoegen. Hiervoor moeten deze reeksen aan twee voorwaarden voldoen: ten eerst moeten zij lang genoeg zijn en voldoende overlappen vertonen met een bestaande reeks, en ten tweede moet het duidelijk zijn wat het verband is tussen het weer en de waargenomen grootheden.

De indirecte waarnemingen die ter beschikking staan, vallen uiteen in twee verschillende soorten. De eerste betreft bloeidata van planten en oogstgegevens van gewassen. Hiervan bestaan in de wereld zeer lange reeksen. De beroemdste hiervan is een Japanse reeks van waarnemingen van het begin van de bloei van kersebomen, die maar liefst tot 812 teruggaat. Toch stuit de vertaling van dergelijke gegevens naar klimaatgrootheden op moeilijkheden. De bloei- en oogstdatum van een plant wordt namelijk op ingewikkelde wijze bepaald door een combinatie van factoren, zoals zonneschijn, temperatuur en neerslag. Hoewel men misschien uit

deze gegevens iets kan zeggen over het globale verloop van het klimaat als geheel, is het tot op heden vrijwel onmogelijk gebleken hieruit het verloop van aparte grootheden als de temperatuur af te leiden. De tweede soort indirecte waarnemingen hebben betrekking op de ijstoestand van meren en kanalen. Ook hiervan staan zeer lange reeksen ter beschikking. Zo gaan bijvoorbeeld systematische aantekeningen van het dichtvriezen van het Japanse Suwa-meer terug tot 1443. Een groot voordeel van deze gegevens boven de vorige soort is, dat ze duidelijk verband houden met één onderdeel van het weer, namelijk de wintertemperatuur. Aan de andere kant kan men uit ijsrapporten alleen iets met nauwkeurigheid afleiden voor plaatsen waar de winters niet te koud zijn en niet te warm: in het eerste geval is er vrijwel iedere winter sprake van een constante ijsbedekking, in het tweede geval is ijsbedekking zo zeldzaam, dat zulke observaties niets zeggen over het verloop van de winter als geheel.

Fig. 11. Gemiddeld verloop van de seizoens- en jaartemperatuur, voor De Bilt, afgeleid uit de lange meetreeksen. De temperaturen zijn over tien jaar gemiddeld (de temperatuur bij 1925 stelt dus het gemiddelde over 1921-1930 voor). De winterreeks is langer dan de overige, omdat deze is uitgebreid met indirecte (trekvaart) gegevens. In de winter- en lentereeksen is een flauwe tendens van opwarming te zien, in de overige seizoenen niet. Merk op, dat de wintertemperatuur het grilligste beeld toont.

Wat betreft de indirecte waarnemingen blijkt Nederland zich in een bijzonder gelukkige situatie te bevinden. Enkele jaren geleden (rond 1975) zijn er in de boekhouding van vervoersmaatschappijen systematische aantekeningen gevonden van dagen, waarop de trekvaarten tussen Amsterdam, Leiden en Haarlem niet te gebruiken waren vanwege te veel ijs. Deze aantekeningen beslaan de periode 1634-1839 met een onderbreking tussen 1758 en 1813. Dankzij de overlapping met de instrumenteel gemeten meetreeks vanaf 1735, is het mogelijk gebleken deze gegevens te interpreteren in termen van gemiddelde wintertemperatuur. Omdat de gegevens zo gedetailleerd waren (in de loop van een winter vroren de vaarten regelmatig dicht en ontdooiden dan weer), was het zelfs mogelijk de wintertemperatuur met een nauwkeurigheid van 0,7° vast te stellen. Als men bedenkt, dat de lange Zwanenburgreeks een nauwkeurigheid van 0,5° in de gemiddelde wintertemperaturen oplevert, dan ziet men dat deze trekvaartgegevens hier nauwelijks voor onder doen. Een nadere analyse van deze indirecte methode bracht aan het licht, dat hij bruikbaar is voor wintertemperaturen tussen de +4,2 en -3,0 graden. Aangezien in ons gematigde klimaat deze temperatuur de laatste twee en halve eeuw altijd tussen de -3,1 en +5,5 graden heeft gelegen, is deze methode voor vrijwel alle in ons land voorkomende winters geschikt. Hierdoor kon





Plaat 6. IJspret in de 17e eeuw (H. Avercamp, Ijsvermaak, Rijksmuseum).

de wintertemperatuurreeks voor De Bilt tot 1634 worden uitgebreid en behoort daarmee tot de langste temperatuurreeksen met een dergelijke betrouwbaarheid ter wereld.

Door deze uitbreiding was het ook mogelijk de vroege Delftse gegevens (1706-1734) te testen op betrouwbaarheid. Uit een vergelijking met de trekvaartgegevens bleek, dat deze een nauwkeurigheid van ongeveer 1,1° in de wintertemperatuur hadden, hetgeen betekende dat ze wel degelijk bruikbaar waren – iets wat tot op dat moment niet duidelijk was. Het was dus verantwoord de lange temperatuurreeks voor alle seizoenen uit te breiden met de Delftse gegevens. Merkwaardigerwijze zijn voor de winters de trekvaartgegevens nauwkeuriger dan de direct gemeten Delftse temperaturen, zodat het voor dat seizoen beter is de reeks uit te breiden met de indirecte verkregen waarden. Deze reeksen zijn als tabel 10-13 opgenomen achter in dit boek.

In figuur 11 is het temperatuurverloop voor de verschillende seizoenen grafisch uitgezet. Om de lijnen niet te veel te laten slingeren, zijn deze over 10 jaar gemiddeld. In plaats van tussen de -3,1 en +5,5 graden, slingert de winterlijn nu tussen de +0,9 en +3,1 graden; dit is vergelijkbaar met de slingering die de zuurstof-18 methode onderaan in figuur 1 vertoont. Door deze middeling is de nauwkeurig-

heid van de gegevens groter: voor de trekvaartgegevens bedraagt deze nu ongeveer 0,2°. Uit de figuur leest men af, dat de temperatuurvariaties zich lang niet altijd in alle seizoenen op dezelfde wijze hebben voltrokken. Zo kunnen koele zomers gepaard gaan met zachte winters (1911-1920), maar ook met strenge winters (1801-1810). Het tijdvak van 1780-1820 is het enige waar alle seizoenen aan de koude kant waren: het staartje van de kleine ijstijd in alle seizoenen! Uitgesproken warme tijdvakken zijn in de figuur moeilijk te vinden. Ondanks de grote variaties die de temperatuur zelfs bij middeling over 10 jaar vertoont, blijkt uit figuur 11 toch dat de winters en de lentes de neiging hebben vertoond wat warmer te worden. Dit geldt vooral voor de periode na 1800. Geen wonder, dat volgens sommigen de ‘kleine ijstijd’ pas rond 1850 is opgehouden, terwijl het einde meestal op 1700 wordt gesteld.

In feite is deze opwarming na 1800 de enige systematische klimaatverandering die uit de figuur blijkt. De overige variaties moet men zien als toevalligheden, zoals die bij gelijkblijvend klimaat worden veroorzaakt door de bekende grilligheden van het weer. Zou men de temperatuurgegevens middelen over een nog langere tijd dan 10 jaar, dan worden ze gladder maar zou de winter- en lentegrafiek nog een duidelijke toename laten zien. Hieruit ziet men

hoe langzaam echte klimaatveranderingen zich voltrekken: de gemiddelde toename van de wintertemperatuur bedraagt slechts 0,8 graad in driehonderd jaar. Als men bedenkt, dat deze van jaar op jaar verschillen kan vertonen van wel 8 graden, dan is het duidelijk dat een mensenleven inderdaad veel te kort is om ook maar iets van echte klimaatveranderingen te merken. Ze vallen volledig in het niet bij de fluctuaties, die de seisoenen door hun grilligheid van nature al vertonen.

9. Systematische en toevallige variaties in temperatuur en neerslag sinds 1735

De temperatuurvariaties, die zich sedert 1735 in De Bilt hebben voorgedaan, zijn in figuur 12 in gecompliceerde vorm weergegeven. In deze figuur kan men in één oogopslag de koude en warme tijdvakken signaleren en tevens vaststellen in welke maanden

den van het jaar ze zich voordeden. Meer precies wordt in de figuur het volgende weergegeven. Eerst zijn voor iedere maand de 10-jaar gemiddelden bepaald en het gemiddelde over alle 246 jaar. De afwijking van de 10-jaar gemiddelden ten opzichte van het 246-jaar gemiddelde is gedeeld door de zgn. *standaarddeviatie*. Het getal dat wij op deze wijze krijgen, geeft dan weer hoe *uitzonderlijk* een te hoge of te lage temperatuur was; dit getal varieert van ongeveer -3 tot +3. Eenmaal de standaarddeviatie van het 10-jaar gemiddelde komt overeen met 0,4 graad temperatuurverschil voor de zomermaanden en met bijna één graad voor de wintermaanden. Dit verschil leest men ook af uit figuur 11, waar de wintertemperatuur duidelijk meer slingerd dan die van de overige sezoenen. In figuur 12 zijn rond de cijfers hoger dan 1, 2 of lager dan -1, -2 lijnen getrokken. Deze markeren dus tijdvakken die gemiddeld veel te warm of veel te koud zijn geweest.

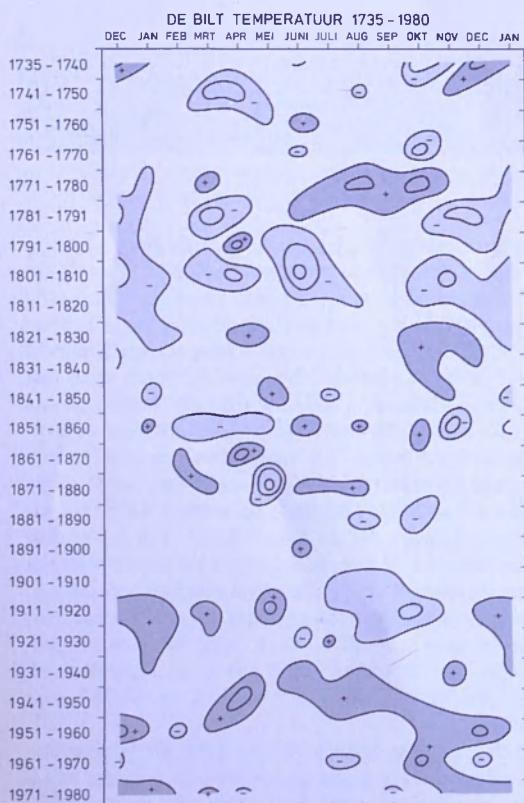


Fig. 12. Temperatuurvariaties sinds 1735 voor De Bilt. De maandtemperaturen zijn over tien jaar gemiddeld. Abnormaal warme tijdvakken (gemiddeld over tien jaar) zijn donkergris aangegeven en abnormaal koude tijdsperiodes lichtgris. Ondanks het grillige beeld is de geleidelijke opwarming in de winter- en lentemaanden te herkennen in de figuur.

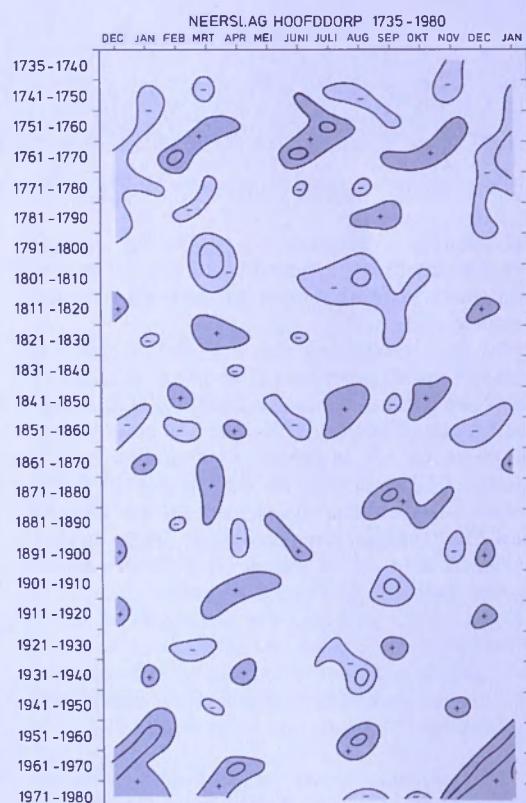


Fig. 13. Neerslagvariaties sinds 1735 voor Hoofddorp. De neerslaghoeveelheden zijn over tien jaar gemiddeld. Abnormaal natte tijdsperiodes zijn donkergris aangegeven en abnormaal droge tijdsperiodes lichtgris. De wintermaanden december en januari lijken systematisch natter geworden te zijn.

Het beeld dat zo ontstaat is in z'n geheel nogal chaotisch. Warme en koude tijdvakken deden zich grillig voor, maar zelden in alle maanden tegelijk. Vele van deze variaties zouden ook optreden bij een in wezen gelijk gebleven klimaat. In de jaren 1770-1830 vinden wij veel afwijkingen naar de koude kant. Met name zijn november t/m maart ongeveer 1 graad te koud. In het decennium 1801-1810 zijn zelfs liefst elf van de twaalf maanden aan de koude kant. De afwijkingen naar de warme kant zijn wat meer verspreid. Deze komen vooral voor na 1910, eerst in de winter en later ook in de andere seizoenen.

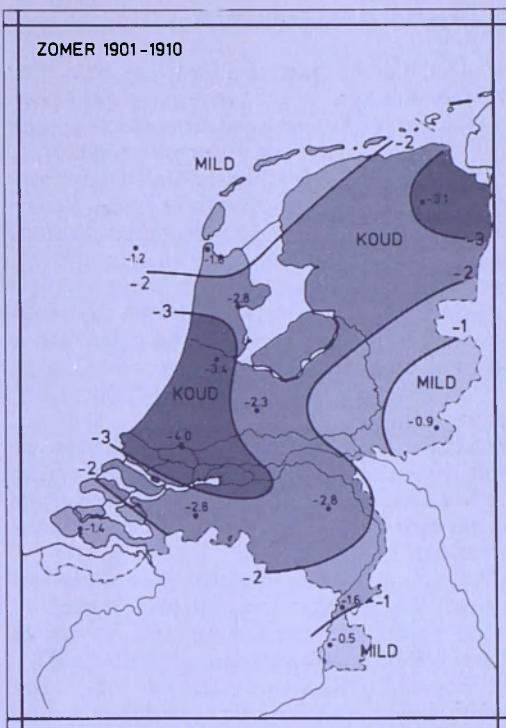
Het geleidelijk warmer worden van winters en lentes door de eeuwen heen (figuur 11) vindt men ook terug in deze figuren. In de opeenvolging van warme en koude tijdvakken voor de andere maanden is echter geen enkel systeem te vinden. Het is dan ook onmogelijk, uit de figuur een trend voor de toekomst te halen.

Op dezelfde manier als bij de temperatuur is in figuur 13 de neerslaghoeveelheid uitgezet. In één oogopslag kunnen we hier de tijd van het jaar zien waarin het gedurende een bepaald tijdvak in Hoofddorp te nat of te droog was. Evenals bij de temperatuur levert dit een grillig beeld op; het merendeel van de variaties is ook hier op te vatten als natuurlijke variaties zonder dat een speciale (aardse of buitenaardse) oorzaak nu beslist noodzakelijk is.

In de maanden december en januari valt op dat de belangrijk te droge tijdvakken alleen vóór 1860 optreden en alle te natte na 1860. Hier is blijkbaar wel sprake geweest van een systematische klimaatverandering. Dergelijke trends zijn ook hier in andere maanden minder duidelijk. Wel zijn er tijdvakken aan te wijzen die over de hele linie te droog of te nat zijn uitgevallen. Bijvoorbeeld 1741-1750 en 1791-1810 waren te droog, 1951-1970 te nat. Zulke variaties hangen echter niet samen met echte klimaatveranderingen, maar moet men weer zien als een gevolg van de 'gewone' grilligheden van het weer.

10. De verdeling van temperatuurafwijkingen over het land

Bij klimaat is men geneigd te denken aan een gegeven over een groot gebied. Het zou inderdaad ondenkbaar zijn dat in Utrecht de winters snel warmer en in Amsterdam snel kouder worden. Toch blijkt de kou of warmte, waarmee we in ons land op een bepaald moment te maken hebben gehad, niet in alle delen van het land even hevig geweest te zijn. Dit geldt ook nog voor gemiddelden over 10 jaar.



11. Het klimaat van de toekomst

Uit al het klimaatonderzoek, zoals dat in de afgelopen eeuw is verricht, is onomstotelijk vast komen te staan dat het klimaat geen onveranderlijk gegeven is, maar in de loop van eeuwen duidelijke variaties heeft vertoond. Men kan zich nu de vraag stellen, of het mogelijk is zich met deze gegevens een beeld te vormen van het klimaat van de volgende eeuwen. Het antwoord hierop blijkt echter ontkenend te zijn: voorspellingen van een geleidelijke opwarming of een aanstaande ijstijd, zoals die regelmatig de pers halen, hebben geen enkele waarde. Op dit moment schiet onze kennis nog te kort om zelfs maar de geringste aanwijzing in deze richting te kunnen geven.

Anderzijds is het wel mogelijk aan te geven, op welke *vragen* een antwoord gegeven moet worden alvorens men aan een oplossing van dit probleem kan denken. Deze blijken uiteen te vallen in twee onderdelen:

1. Wat zijn de klimaatbepalende factoren en hoe zullen deze zich in de toekomst ontwikkelen?
2. Hoe werken de veranderingen hierin door op de atmosferische stromingen en op het weer zelf?

Het antwoord op de eerste vraag lijkt eenvoudiger dan het is. Natuurlijk is bijvoorbeeld de hoeveelheid zonnestraling een klimaatbepalende factor (als de zon meer licht zou geven wordt het warmer), maar het is zeker niet de enige. Ook de stand van de Aardas in de ruimte, de vorm van de Aardbaan, de hoeveelheid stof in de atmosfeer, de land-zee verdeeling over de wereld, de ligging van de koude en warme zeestromen in de oceaan, de aanwezigheid van ijskappen aan de polen en de samenstelling van de dampkring zijn klimaatbepalend. Wat dit laatste betreft is vooral het koolzuurgehalte belangrijk: dit gas heeft de neiging de uitstraling van de warmte tegen te houden, zodat een toename in de concentratie tot een temperatuurverhoging moet leiden. Van sommige klimaatbepalende factoren is nu het toekomstige verloop goed bekend (bijv. de stand van de Aardas), maar van andere is het absoluut niet duidelijk hoe ze zich in de toekomst zullen ontwikkelen. Daarbij komt, dat sommige factoren (koolzuurgehalte, bijvoorbeeld) ook nog beïnvloed worden door activiteiten van de mens zelf. Hierdoor is het voorspellen van het verloop van de klimaatbepalende factoren vrijwel onmogelijk – laat staan dat men hieruit tot een zinnige prognose van het klimaat zelf kan komen.

Waar de laatste jaren wel enige duidelijkheid in is gekomen, is de *invloed* van deze klimaatbepalende factoren op het weer. Het blijkt, dat deze schakel een vrij gecompliceerd karakter heeft, en dat de uitwerking ervan op een minder voor de hand liggende wijze plaatsvindt dan men misschien zou denken. Indien bijvoorbeeld de zonnestraling sterker zou

worden, dan veranderen hiermee ook de luchtstromingen in de atmosfeer. Dit betekent, dat de binnenkomende warmte op een andere wijze herverdeeld wordt dan thans het geval is (zie hoofdstuk 2), en tevens dat bijvoorbeeld de regenzones op Aarde gemiddeld gesproken noordwaarts of zuidwaarts verschoven worden. Tel daarbij het effect van een veranderende vegetatie (dus een ander absorptievermogen van de grond voor zonnestraling) en verdwijnende ijskappen op, dan is het wel duidelijk dat de invloed van zo'n verandering zeer ver kan reiken.

In de afgelopen jaren zijn er verschillende pogingen ondernomen, om de respons van het weer op diverse klimaatbepalende factoren door te rekenen. Hierbij zijn een aantal interessante resultaten bereikt. Zo blijkt bijvoorbeeld het volgende.

1. Indien de zonnestraling met één procent zou afnemen, dan daalt de temperatuur bij het aardoppervlak met 1 à 2 graden, met dien verstande dat aan de polen deze daling wat groter is dan bij de evenaar. Als de zonnestraling met één procent zou toenemen, dan voltrekt de opwarming zich op dezelfde manier.
2. Indien het koolzuurgehalte van de atmosfeer een verdubbeling zou ondergaan, dan heeft dit een temperatuurtoename van 1 à 3 graden tot gevolg. Wederom is deze toename het grootst nabij de polen.
3. Een opwarming van de Poolgebieden met een paar graden leidt niet alleen tot een grotere afsmelting vanaf de randen van de ijskappen, maar ook tot een grotere sneeuwval *op* de kappen en dus een dikker worden ervan. Op Groenland zou de afsmelting overheersen, maar op de Zuidpool eerder de aangroei: het ijsvolume neemt daar toe als het warmer wordt! Doordat deze twee ijskappen tegengesteld reageren, verandert het totale ijsvolume op Aarde, en daarmee het niveau van de zeespiegel, niet zo sterk als men op het eerste gezicht zou denken. Het is zelfs nog niet geheel duidelijk, of een opwarming in eerste instantie tot een toename of tot een afname van de hoogte van de zeespiegel zal leiden. Als er echter sprake is van een sterke opwarming (bijvoorbeeld 10 graden), dan overheert op beide ijskappen de afsmelting en komt de zeespiegel met misschien wel een paar meter omhoog.
4. Bij een afkoeling van de Aarde breidt het ijs bij de polen en in de hooggebergten zich geleidelijk uit en veroorzaakt een daling van de zeespiegel. Maar pas als de temperatuur op hoge breedten met 6 graden zou afnemen, dan kan het ijs van de Noorse bergen de vlakten bereiken en bij verdere uitbreiding aanleiding geven tot een ijstijd. In de 'kleine ijstijd' was men dus zeer ver van een echte ijstijd verwijderd, want toen was het

hoogstens één graad kouden dan nu. Bij een afkoeling van 7 graden duurt het overigens nog 30.000 jaar voordat de ijskap Nederland kan bereiken (zie ook figuur 9) en bij een (extreme) afkoeling van 15 graden duurt dit minstens 15.000 jaar.

Hierbij benadrukken wij nogmaals, dat het hier gaat om een onderzoek naar de gevolgen van *eventuele* veranderingen in de klimaatbepalende factoren. Of de temperatuur op Aarde hoger of lager gaat worden, is bij de huidige stand van zaken niet te zeggen. Wat wel vaststaat, is dat momenteel, als gevolg van het verstoken van fossiele brandstof, het koolzuurgehalte in de atmosfeer toeneemt. Indien deze ontwikkeling zich voortzet (wat lang niet zeker is), dan zou een verdubbeling van het gehalte over een eeuw een feit kunnen zijn. Maar zelfs als dit

gebeurt, dan is het nog niet zeker of er sprake zal zijn van een merkbare opwarming, omdat deze best verloren zou kunnen gaan in een afkoeling van onze atmosfeer door andere oorzaken.

Hoewel resultaten, zoals hierboven genoemd, zeker niet voldoende zijn om tot klimaatvoorspellingen te komen, kan men wel stellen dat zij het inzicht in de werkelijke achtergronden van klimaatveranderingen sterk hebben vergroot. Dit soort onderzoek is van vrij recente datum, en heeft ervoor gezorgd dat er een geheel nieuwe kijk is ontstaan op de oorzaken van klimaatveranderingen. Onderzoeken op dit gebied worden op veel plaatsen voortgezet, zodat het te verwachten is, dat wij over een aantal jaren aanzienlijk meer kennis zullen hebben verzameld. Of men echter met deze kennis ooit in staat zal zijn om het toekomstige klimaat ook daadwerkelijk te voorspellen, lijkt vooralsnog uiterst dubieus.

HOOFDSTUK 2

Hoe komt Nederland aan zijn weer?

12. Vooroordelen en vragen

'De wereld is door God geschapen maar Nederland is door de Nederlanders zelf gemaakt'. Sommigen schijnen dit te beweren. Waarschijnlijk wordt daarbij gedacht aan onze dijkenbouw, inpolderingen etc. Wat ons weer betreft wordt zoets nooit beweerd. Hierover bestaan andere vooroordelen.

Inderdaad, veel buitenlanders denken dat we hier gebukt gaan onder mist en regen die vanaf de Noordzee continu ons landje overspoelt. De Nederlander zelf weet wel beter, al ontkomt ook hij niet aan de nodige vooroordelen over ons weer. Zo wil het er bij hem niet in dat het in ons land ongeveer 90% van de tijd droog is. Toch is dat zo, zoals we verderop in dit boek zullen zien. Over het ontstaan van ons weer, waar het in dit hoofdstuk over gaat, bestaat ook de nodige onbekendheid en veel onbegrip. Ons weer ontstaat in hoofdzaak buiten onze grenzen, we voeren het dus in, maar de zo spreekwoordelijke veranderlijkheid van ons weer heeft niet alleen te maken met de bekende depressie bij IJsland, en evenmin alleen met de stand van onze barometer thuis. Weet de Nederlander trouwens dat hij beter ten zuiden dan ten noorden van zijn werk kan wonen? Iemand die ten zuiden van zijn werk woont heeft een grotere kans om zowel 's ochtends als 's avonds wind mee te hebben!

Ook dit laatste is een soort veranderlijkheid, van de wind in dit geval en wel een zuiver periodieke, die nu eens niet ingevoerd wordt maar ter plekke onder invloed van de zon en bepaalde eigenschappen van het aardoppervlak ontstaat. Een deel van het weer vormt zich blijkbaar dus wel ter plaatse. Anders gezegd, ons aardoppervlak met zijn onneffenheden, begroeiing, vochtgehalte enzovoort brengt wijzigingen aan in het weer dat we van elders krijgen aangeboden. Een storm zal landinwaarts over het algemeen luwen, maar gaat de invloed van het aardoppervlak zo ver dat bijvoorbeeld een rivier een onweersbui kan tegenhouden? Extrem in de beïnvloeding van het weer is de stad; die houdt er bij voldoende omvang zo langzamerhand een eigen klimaat op na.

In een aantal processen die ons weer bepalen zal in dit hoofdstuk enig inzicht worden verschafft. In het eerste deel beginnen wij in het groot en beschouwen het weer en de luchtstromingen op wereldschaal. In het tweede gedeelte kijken wij in meer detail naar het verband tussen onze ligging en ons weer, waarbij klimaatverschillen tussen de kust en het binnen-

land ter sprake komen en de invloed van ons landmassief op ons weer wordt behandeld. Hierna komen klimaatverschillen op lokale schaal aan de orde. Ook in de tijd gaan wij van groot naar klein: wij kijken in het eerste deel hoe het weer gemiddeld is, dan naar verschillen binnen een jaar en in het tweede deel tenslotte naar het weersverloop op een dag. Het hoofdstuk wordt besloten met een samenvatting van dit alles.

I. De luchtstromingen in de atmosfeer

13. Thermisch evenwicht en waterbalans

In de tropen is de gemiddelde temperatuur ruim 25 graden en aan de polen is de temperatuur minstens zoveel graden onder het vriespunt, maar gemiddeld over de gehele Aarde is de luchttemperatuur op manshoogte ongeveer 15 graden. Dat blijft zo jaar-in-jaar-uit, ondanks het feit dat de Aarde bij voortdurend door de zon wordt beschoten.

De zon vormt onze energiebron van ongeveer 1360 Watt/m². Dit is de zogenaamde *zonnewaarde*. Het stelt de hoeveelheid energie voor, die – bij afwezigheid van een dampkring – iedere seconde door een zwart vlak van één vierkante meter zou worden opgevangen, als dit loodrecht op de zon zou worden gericht. De hitte die deze zonnewaarde vertegenwoordigt is vergelijkbaar met die van een flinke straalkachel op één meter afstand. Maar, de hoeveelheid energie die in werkelijkheid per vierkante meter aardoppervlak wordt opgenomen is aanzienlijk minder. Om te beginnen wordt onze planeet maar van één kant door de zon beschoten en vallen de zonnestralen bijna overal schuin in. Hierdoor blijft er gemiddeld over de Aarde maar een vierde deel, dus 340 Watt per vierkante meter over. Daarvan wordt nog eens 30% naar het heelal teruggekaatst door wolken en door het aardoppervlak, zodat er van de oorspronkelijke 1360 Watt per vierkante meter uiteindelijk maar gemiddeld 238 Watt per vierkante meter overblijft die als warmte door de Aarde en zijn atmosfeer wordt opgenomen. Deze 238 Watt/m² vertegenwoordigt toch nog een aanzienlijke toevoer van warmte, en omdat die altijd maar doorgaat, zou men verwachten dat het op Aarde steeds warmer moet worden. Maar dit gebeurt niet: de tempera-

tuur blijft ongeveer 15 graden. Dit wordt veroorzaakt, omdat de Aarde precies evenveel warmte in de vorm van onzichtbare, infrarode straling de wereldruimte instuurt als zij aan zonneenergie heeft opgenomen. De Aarde in zijn geheel is dus in 'stralingsevenwicht' en zijn temperatuur blijft gelijk. Dit stralingsevenwicht heerst echter niet in ieder gebied apart. Bijvoorbeeld Nederland met de atmosfeer erboven is zeker niet in stralingsevenwicht. Ons land ontvangt gemiddeld maar zo'n 140 Watt/m² aan zonnestraling, waarvan ongeveer 30 Watt/m² door de atmosfeer opgenomen wordt. De rest bereikt de grond, waarbij het voor een gedeelte weer wordt teruggekaatst. Dank zij metingen door satellieten weten wij thans dat de totale uitstraling van ons land met zijn atmosfeer erboven aanmerkelijk hoger is dan deze 140 Watt/m², namelijk ongeveer 200 Watt/m² (zie figuur 15). Dit betekent dus, dat wij flink wat straling te kort komen. Toch koelen wij in Nederland niet voortdurend af. Blijkbaar wordt er warmte van elders aangevoerd, en dit gebeurt dan door de winden die in de atmosfeer waaien. Op deze wijze voeren gebieden die een stralingsoverschat hebben hun te veel aan warmte af naar gebieden als Nederland. Dit houdt in, dat

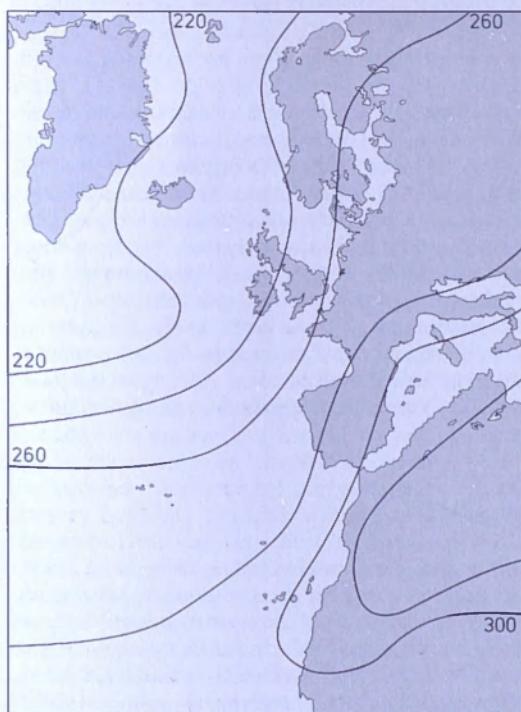


Fig. 15. Warmteuitstraling boven Europa voor de periode 16-31 juli 1969, uitgedrukt in Watt/m². Gemiddeld over een heel jaar is de uitstraling minder dan hier weergegeven. Duidelijk zijn warme en koude plekken te herkennen. Deze figuur is samengesteld aan de hand van infraroodmetingen vanuit de ruimte, verricht door de weersatelliet Nimbus 3.

gemiddeld door het jaar heen, de lucht bij ons afkomstig moet zijn uit warmere streken. Natuurlijk stroomt er niet alleen lucht ons land binnen, maar verdwijnt er evenveel weer over de grenzen. Deze is gemiddeld dus iets kouder dan de lucht die erin kwam.

Ons land met zijn atmosfeer erboven is dus weliswaar niet in stralingsevenwicht, maar wel in *temperatuurevenwicht* (we voeren de hoeveelheid warmte die nodig is om het stralingstekort te dekken in). Daardoor blijft onze jaargemiddelde temperatuur van ruim 9 graden jaar-in-jaar-uit vrijwel constant. Men zou zich kunnen afvragen in hoeverre ons eigen energieverbruik (grotendeels ook op basis van energie-import) hierbij nog een rol speelt. Het totale energieverbruik in Nederland bedroeg in 1980 ongeveer $2,5 \times 10^{18}$ Joule, hetgeen overeenkomt met zo'n 2,5 Watt/m². vergeleken bij de ontvangen zonneenergie is dat nog maar één procent, maar zoals uit onderstaande tabel blijkt, kan de mens in de grote steden en industriegebieden al zowat met de natuur concurreren. Voor de volledigheid is in de tabel ook de beschikbare windenergie opgenomen. Men moet zich echter wel realiseren dat de opgegeven hoeveelheden voor zon en wind door geen enkele machine volledig kunnen worden benut.

TABEL I. Vergelijking van ons energieverbruik per oppervlakteenheid met de hoeveelheid zonne- en windenergie in Nederland.

Nederland	energieverbruik 1980	2,5 Watt/m ²
Amsterdam	energieverbruik 1980	30 Watt/m ²
Rotterdam	energieverbruik 1980	70 Watt/m ²
De Bilt	invallende zonnestraling	109 Watt/m ²
Nederland	aanwezige windenergie in de hele atmosfeer	ca. 5 Watt/m ²

Keren wij terug tot de atmosfeer. Niet alleen zorgt deze ervoor dat er warmte wordt ingevoerd, hij doet ook iets dergelijks met vocht. Als waterland bij uitstek zou men misschien van ons land kunnen verwachten dat we water en waterdamp 'uitvoeren', ook via de lucht. D.w.z. dat we meer water in de lucht verdampen dan er als regen (of sneeuw) naar beneden valt. Dit is echter niet het geval. Aan neerslag ontvangen we gemiddeld in Nederland per jaar bijna 800 mm (liter per m²), terwijl de verdamping (die we veel minder goed kunnen bepalen) niet veel meer dan 500 mm bedraagt. Het overschat van 300 mm wordt uiteindelijk door de rivieren afgevoerd naar zee. Dit verschil tussen neerslag en verdamping zorgt er voor, dat de lucht die ons luchtruim verlaat gemiddeld droger is (bevat minder waterdamp en wolken) dan de lucht die er in komt. Ook in dat opzicht is er dus geen evenwicht.

Uit dit alles volgt dat de luchtstroming bij ons gemiddeld zo is, dat er warmte en vocht wordt inge-



Plaat 7. Tengevolge van de overheersende zuidwestelijke wind zijn deze bomen scheefgegroeid (foto H. M. van den Dool).

voerd. We zouden hier nog aan kunnen toevoegen dat iets dergelijks ook geldt voor windsnelheid: deze is gemiddeld lager geworden als de lucht ons land verlaat, zodat er 'beweging' in Nederland is achtergebleven. Door veel windmolens te bouwen kunnen we dat proces nog versterken.

Uit de bovenstaande voorbeelden blijkt duidelijk, hoe belangrijk het bestaan van luchtstromingen rond de Aarde is. Primair is het de zon die voor de toevoer van de warmte zorgt, terwijl het vocht zijn oorsprong in de oceaan vindt, maar deze warmte en dit vocht worden vervolgens door onze atmosfeer verplaatst en dus *herverdeeld* over de Aarde. Omgekeerd geldt, dat de atmosfeer (en trouwens ook de oceanen) door de ongelijkmatige verdeling van de zonnewarmte over onze planeet 'gedwongen' wordt om te gaan stromen, op dezelfde wijze als het water in een pan boven het vuur dit doet. Hierbij worden dan temperatuur- en vochtigheidsverschillen in de dampkring enigszins vereffend. In feite hebben wij hier dus met een soort motor te doen.

Maar hiermee is dit verhaal nog niet af. Deze luchtstromingen rond de Aarde blijken, althans nabij het aardoppervlak, een onregelmatig karakter te hebben. Onder invloed van de draaiing van de Aarde hebben zij namelijk de neiging zich te splitsen in afzonderlijke wervels (b.v. depressies) en andere individuele weersystemen. Hierdoor veroorzaken

de luchtstromingen niet alleen een herverdeling van warmte en vocht, maar brengen tevens de vorming van storm- en neerslaggebieden met zich mee. Op deze manier is de atmosferische motor in feite de oorzaak van *alle* weersverschijnselen die wij ervaren. Om het weer echt te kunnen begrijpen moet men dus inzicht hebben in de grootschalige, herverdelende luchtstromingen in de atmosfeer, welke men aanduidt met de term *algemene circulatie*. In onze gebieden, zoals ook elders op de gematigde breedten wordt het patroon van deze algemene circulatie vooral gekenmerkt door de zg. *westcirculatie*.

14. Westcirculatie

Een beschrijving van de luchtstroming is altijd wat moeilijker dan van de temperatuur of de neerslag. Dat komt omdat het bij de luchtstroming over twee dingen tegelijk gaat: nl. de richting waar de lucht vandaan komt en de snelheid waarmee hij stroomt. Wij letten nu in de eerste plaats vooral op de *windrichting*. Wie deze een tijdje in de gaten houdt bemerkt, dat als het behoorlijk gaat waaien, dit betrekkelijk vaak vanuit het zuidwesten is. Dit geldt ook voor de landen om ons heen. Op veel plaatsen is dit zelfs duidelijk te zien aan de scheve stand van de bomen. (Zie plaat 7). Zuidwest is bij ons inder-

daad de overheersende wind en de lucht die daarmee wordt aangevoerd zal haar *brongebied* dus ergens ten zuidwesten van Europa moeten hebben, vermoedelijk ergens op het warme zuidelijker deel van de Atlantische Oceaan.

Een brongebied verdient echter die naam pas als de lucht er ook echt wordt *gevoed*, bijvoorbeeld met warmte, kou, vocht of droogte. Dit kost evenwel tijd, vandaar dat een gebied alleen als brongebied kan fungeren als de lucht er een tijds (enkele dagen) kan verblijven. Op de Atlantische Oceaan zijn het de gebieden rond de Azoren, die vanwege de zwakke winden nabij het centrum van een hogedrukgebied aan deze voorwaarden voldoen, en waarin de lucht door het oceaanwater wordt opgewarmd en van vocht voorzien.

Hiermee is het welbekende *Azorenhogedrukgebied* geïntroduceerd. Dit vormt het gebied waar de bij ons aangevoerde lucht het meest haar oorsprong vindt, en dus ook het gebied van waaruit ons vochten stralingstekort wordt aangevuld.

Hiermee is ons *gemiddelde* weer verklaard (aanvoer van warme en vochtige lucht), maar nog niet de zo kenmerkende *veranderlijkheid* van ons weer. Om die te verklaren moet men een stap verder gaan en de luchtstromingen nader bekijken. In het kort ontstaat de veranderlijkheid als volgt. De warme en vochtige subtropische lucht, afkomstig uit bijvoorbeeld het Azorenhogedrukgebied, ontmoet op zijn weg naar het noorden de koude en droge lucht die uit de poolstreken afkomstig is. Deze luchtsoorten vermengen zich hierbij echter niet, maar botsen en glijden als het ware tegen elkaar op. Hierdoor is er een smalle grenszone aan te wijzen, ten weerszijde waarvan er grote verschillen in de luchtttemperatuur en luchtvuchtigheid bestaan. Dit smalle gebied, het *polaire front*, dat zich kenmerkt door regen en veel bewolking, ligt in principe vrijwel oost-west over de oceaan en markeert zo de positie tot waar de vochtige en warme lucht kan komen. Langs dit front blijken echter de omstandigheden gunstig te zijn voor de vorming van depressies. Dit zijn gebieden met een eigen windveld. Als zo'n depressie ontstaat, dan verstoort deze dus het oorspronkelijke, grootschalige windveld. Een nieuwe depressie ligt bovendien meestal niet stil, maar heeft de neiging zich van west naar oost langs het polaire front te verplaatsen. Hierbij verandert zijn windveld tevens de positie van het polaire front, omdat het de warme lucht verder naar het noorden of terug naar het zuiden kan blazen. Bevindt het front zich nu oorspronkelijk ter hoogte van ons land (iets wat vaak voorkomt), dan zullen de depressies die zich langs dit front een weg naar het oosten banen, de heersende windrichting bij ons gaan veranderen. Omdat de wind rond een depressie op het noordelijk halfrond altijd tegen de wijzers van de klok indraait, zal de aanvankelijke zuidwestenwind op de nadering van

zo'n windveld eerst draaien naar zuid of zuidoost. Als de depressie vervolgens onze meridiaan (onze 'oosterlengte') is gepasseerd, draait de wind naar het noordwesten. Hierdoor is het oorspronkelijke brongebied bij de Azoren tijdelijk van ons afgesneden. In plaats van de warme, vochtige lucht vanuit dit gebied, ontvangen wij nu een geheel ander type lucht, dat afkomstig is van de koude noordelijke Atlantische Oceaan of de Noordelijke IJsszee. Pas als de depressie zover naar het oosten is getrokken dat het oorspronkelijke windveld zich weer hersteld heeft, is de weg vanuit het Azorenhogedrukgebied weer open en kan deze lucht weer naar ons toekomen, waarna de cyclus zich kan herhalen.

Dit alles introduceert in het weer een veranderlijkheid, die niet eens zo onaangenaam is. Zij vormt het kenmerk van de koude zomers en de zachte winters, waarbij de depressies afwisselend lucht uit het warme, vochtige zuidwesten en het koude, droge noorden naar ons toe laten stromen. In deze situatie ligt het Azorenhogedrukgebied netjes op zijn plaats en vindt zijn tegenhanger in een min of meer permanent lagedrukgebied bij IJsland, dat als het belangrijkste brongebied voor de koude lucht fungert. Afgezien van de plaats van de trekkende depressies ziet de weerkaart er dan praktisch steeds hetzelfde uit, en lijkt veel op die van 26 juli 1961, figuur 16. In deze kaart verplaatsen de depressies zich van west naar oost. Dit type luchtstroming heet een *westcirculatie*, ook al komt de wind aan de grond gemiddeld uit het zuidwesten. Uit de bijbehorende *bovenluchtkaart* (figuur 16, onder), zien wij echter dat de stroming in de hogere delen van de atmosfeer over de hele oceaan wel overwegend westelijk is en overeenkomt met de trekrichting van de depressies. In paragraaf 15 gaan wij hier nader op in. Van belang is hier vooral, dat als er zich een westcirculatie heeft ingesteld, wij niet zo zeer te maken krijgen met een bepaald weertype, maar met een speciale *opeenvolging* van weerverschijnselen, die vaak als volgt verloopt. In een warm, vochtig en heilig weertype drijven egale wolken binnen (door de nadering vanuit het noordwesten van het polaire front) waaruit het vervolgens gaat regenen. Deze regen wordt steeds heviger maar houdt dan abrupt op. De hemel klaart sterk op en de lucht is helder, maar het is aanmerkelijk koeler. In deze koude lucht uit noordelijker streken ontwikkelen zich vervolgens wat verspreide buien, die worden afgewisseld door felle opklaringen; kenmerkend voor dit weertype zijn natte wegen bij heldere lucht (zie plaat 22 op blz. 72). Na enige tijd worden de buien minder hevig. Er drijft vanuit het zuidwesten weer egale bewolking binnen en vervolgens valt hier regen uit, dit als voorbode van een nieuwe nadering van de 'Azorenlucht'. Als deze zich boven ons land bevindt, heeft het oorspronkelijk weertype zich hersteld en kan de cyclus zich weer herhalen. Een

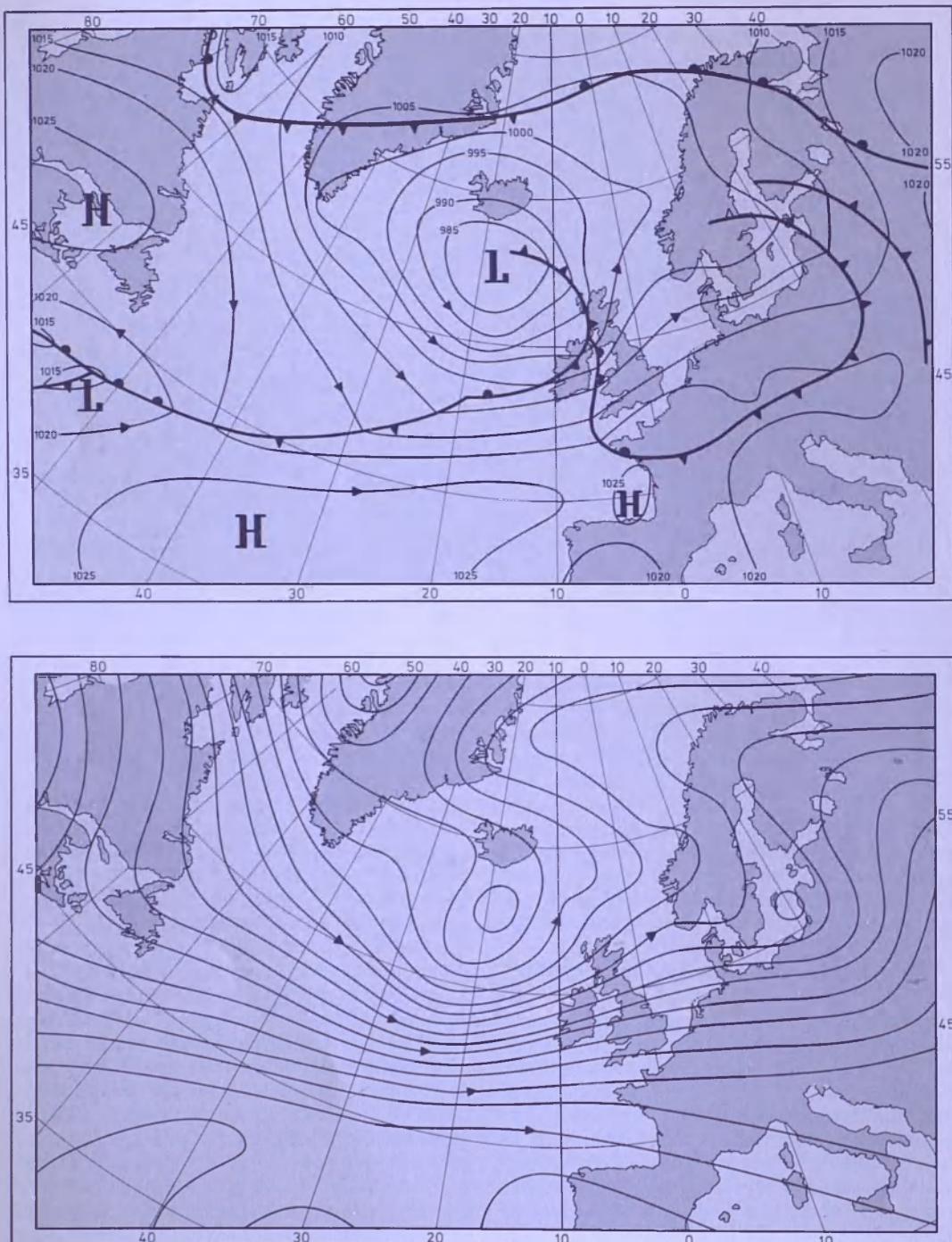


Fig. 16. Weerkaart van 26 juli 1961, 14 uur zomertijd. De bovenste kaart geeft de luchtdruksituatie op zeeniveau weer, waar een diepe, van west naar oost trekkende depressie is te herkennen met bijbehorende fronten. L geeft de kern van een depressie (lagedrukgebied) aan, H van een hogedrukgebied. De luchtdruk is in millibar aangegeven. De onderste kaart is de luchtdrukverdeling op ongeveer $5\frac{1}{2}$ km hoogte (bovenluchtdrukkaart). De wind waait evenwijdig aan de druklijnen; de onderste kaart geeft dus de algehele stroming in de atmosfeer weer. Het hier afgebeelde stromingstype heet een westcirculatie: de depressies en de fronten trekken met de stroming van de bovenlucht van het westen naar het oosten.

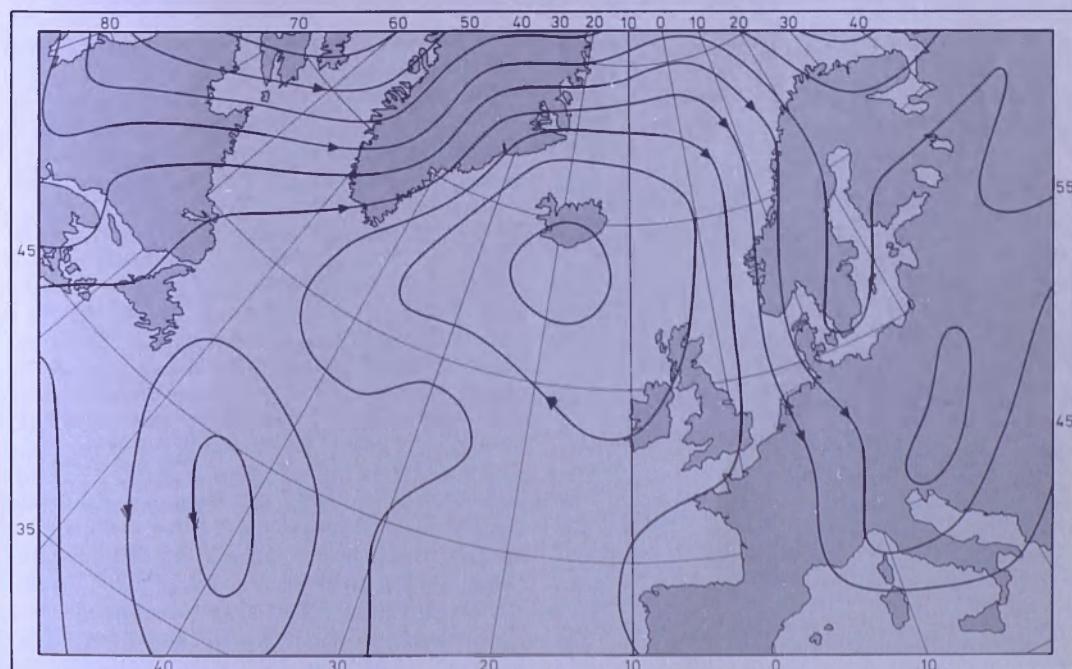
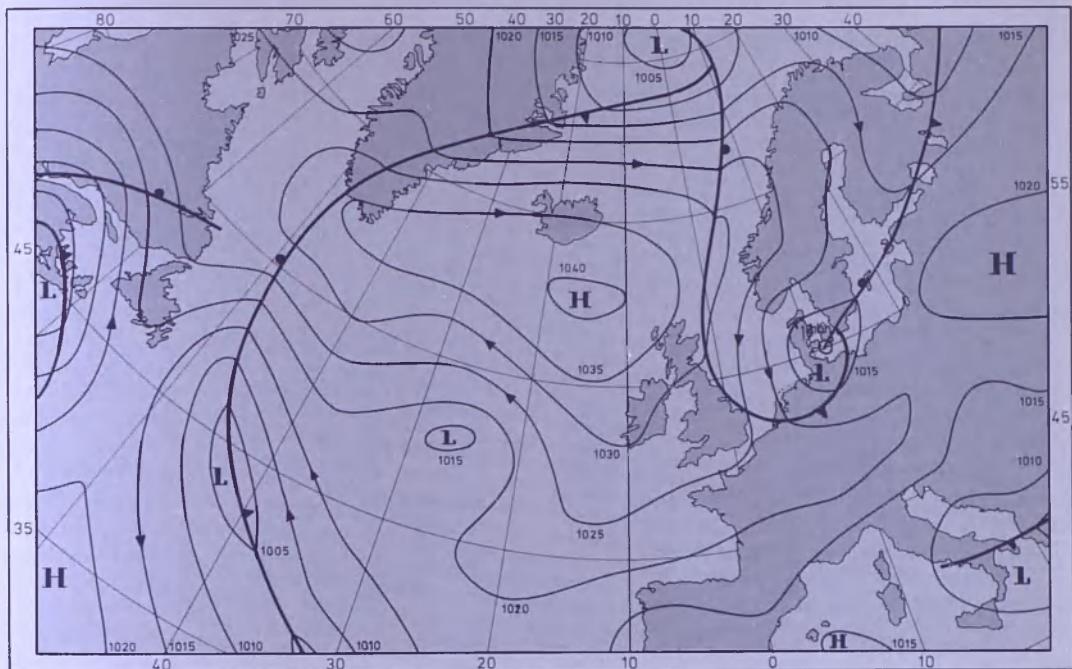


Fig. 17. Weerkaart van 19 april 1981, 2 uur zomertijd, met de bijbehorende stromingskaart van de bovenlucht. De algemene luchstroming komt nu vanuit het noorden en voert daar vandaan koude lucht en depressies naar ons toe.

westcirculatie kan soms dagenlang aanhouden en leidt meestal tot veel neerslag, maar nooit tot extreme temperaturen. Voor dit laatste is het noodzakelijk dat de depressies langs geheel andere banen trekken, zodat er sprake is van een geheel andere circulatie in de atmosfeer.

15. Lange golven

De bovengenoemde westcirculatie met z'n depressies die van west naar oost over de Atlantische Oceaan en Noordwest-Europa bewegen is nl. maar één, zij het de meest voorkomende, van de mogelijke stromingspatronen (*circulatietypen*) van de atmosfeer. Echte extremen in het weer heeft deze circulatie echter nooit ten gevolge. Dit komt omdat de brongebieden van de lucht die bij westcirculatie wordt aangevoerd zich hoofdzakelijk boven zee bevinden. Omdat de temperatuur van het zeewater zich altijd binnen betrekkelijk nauwe grenzen beweegt, zal ook die van de aangevoerde lucht geen extreme verschillen vertonen. Hierbij komt, dat de twee brongebieden (bij de Azoren en bij IJsland) toch nog tamelijk dicht bij elkaar liggen (tussen de 40° en 60° NB) zodat ook de temperaturen in die gebieden vrij dicht bij elkaar liggen.

Feitelijk is de enige mogelijkheid om bij ons een zeer hoge of zeer lage temperatuur te krijgen, als de lucht wordt aangevoerd van gebieden op Aarde die een veel extremer klimaat kennen dan wij. Dit zijn gebieden als de Sahara, Noord-Rusland, Siberië of de Poolzee. De lucht hiervan moet dan bovendien snel van zulke brongebieden naar ons toe getransporteerd worden, omdat ze anders de kans krijgt onderweg van karakter te veranderen en hierbij haar extreme eigenschappen verliest. Om lucht uit zulke streken naar ons toe te transporteren, is echter een geheel ander circulatiepatroon in de atmosfeer vereist dan de bovengenoemde westcirculatie. Een voorbeeld van zo'n stroming is weergegeven in figuur 17; de stroming is hier sterk *noord-zuid* gericht en brengt koude lucht uit het verre noorden naar ons toe.

Maar wat is er met deze stroming aan de hand? Waar is in dit geval het Azorenhogedrukgebied? En het IJslang gedrukgebied? De zaak staat hier vrijwel op z'n kop! D.w.z. bij de Azoren ligt een lagedrukgebied en bij IJsland een hogedrukgebied. Dat komt voor, gedurende 5 à 10% van de tijd. Een onderzoek over 31775 dagen, nl. van 1 januari 1881 t/m 31 december 1967, wees het volgende uit over de luchtdruk bij IJsland (65°NB, 20°WL) en bij de Azoren (40°NB, 25°WL).

IJsland laag – Azoren hoog	57,6%
IJsland hoog – Azoren laag	7,7%
IJsland en Azoren beide laag	12,7%
IJsland en Azoren beide hoog	21,9%

In deze tabel is met laag een luchtdruk op zee-niveau van 1015 millibar of lager bedoeld; hoog betekent een luchtdruk boven 1015 millibar. Gelet op de luchtdrukverdeling aan het aardoppervlak komt een westcirculatie (IJsland laag – Azoren hoog) dus iets meer dan de helft van de tijd voor. Maar die andere helft van de tijd laat de luchtdrukverdeling en daarmee de luchtcirculatie een patroon zien dat min of meer sterk afwijkt van de 'normale' westcirculatie.

Een nauwkeurige beschouwing van die abnormale circulatie toont ons, dat ook daar duidelijk systeem in zit. Maar daarvoor is het wel nodig om weerkaarten over een groter gebied te bekijken, bij voorkeur zelfs voor het gehele noordelijke halfrond. En dan niet alleen de luchtdrukverdeling op zee-niveau, maar vooral ook die op enkele kilometers hoogte in de atmosfeer, zoals wij dat al in figuur 16 deden en ook in figuur 17. Dat heeft grote voordelen. In de eerste plaats is de luchtdrukverdeling op enige hoogte boven het aardoppervlak meestal eenvoudiger en minder gestoord dan op zee-niveau waardoor de aanwezige systematiek beter bewaard blijft. In de tweede plaats vertelt het luchtdrukpatroon op grotere hoogte ons iets over de gemiddelde *stroming* in de atmosfeer. De richting van de luchtstroming is nl. vrijwel parallel aan de lijnen op de kaart; als men met het gezicht in de wind zou staan, dan is de laagste druk aan de rechterkant. Men noemt zo'n kaart dan ook wel een *stromingskaart*. Hoe dichter de lijnen bij elkaar staan, des te sterker is de stroming; de sterkste stromingen blijken plaats te vinden langs het eerder genoemde polaire front, maar dit gebied van grote windsnelheden is in feite vrij smal.

Zoals de wolken meedrijven met de wind, doen de depressies dat met de stroming in de bovenlucht. Kleine depressies zijn in de bovenluchtkaarten nauwelijks terug te vinden: ze manifesteren zich slechts als kleine slingeringen in het stromingspatroon. Hierdoor laat de 'weerkaart' van de bovenlucht ons (mits hij niet te snel verandert) zelfs direct zien waar de lucht die ons bereikt zijn brongebied heeft. Eigenlijk demonstreert deze stromingskaart ons ook nog, dat er een soort glijbaan in de atmosfeer is, waarlangs de lucht (en de depressies) ons van ver kan bereiken – voor lucht op andere delen van de Aarde is deze weg dan afgesloten. Deze glijbaan (d.i. het gebied met de grootste windsnelheden) manifesteert zich aan de grond als een keten van depressies. Zie figuur 16 en 17.

Een ruim 40-jarige ervaring met stromingskaarten van de bovenlucht – meestal kaarten van de luchtdrukverdeling op ongeveer 5½ km hoogte, waar de druk ongeveer de helft van de gronddruk is – heeft de weerkundige het inzicht verschafft dat abnormale weerpatronen bij ons niet op zichzelf staan, maar een onderdeel vormen van één groot, samen-

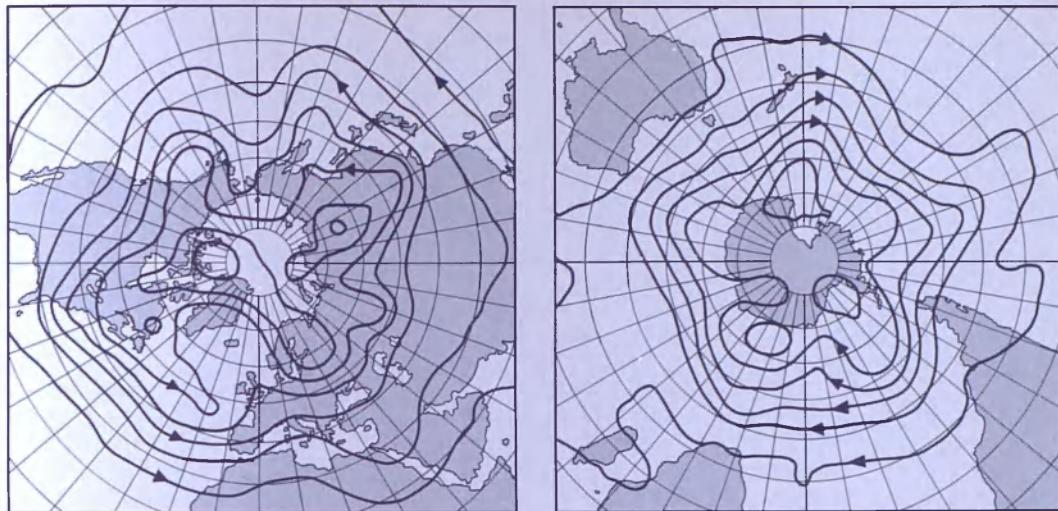


Fig. 18. Stromingskaart van de bovenlucht op 10 februari 1979, 1 uur wintertijd. De linker kaart geeft de situatie op het noordelijk halffrond en de rechter kaart de situatie op het zuidelijk halffrond weer. De gebieden rond de polen met een hevige, overwegend westelijke stroming noemt men de westenwinddriften, die kenmerken zich door een hoge depressieaktiviteit aan de grond. Hoe dichter de lijnen bijeen zijn, des te sterker is de stroming. Hoewel de westenwinddriften min of meer cirkelvormig zijn, vertonen ze toch slingeringen. Dit zijn de lange golven. Merk op, dat de westenwinddrift op het noordelijk halffrond uitgestrekter is, omdat het daar op die datum winter is.

hangend atmosferisch stromingssysteem. Om dit te illustreren, is in figuur 18 een bovenluchtkaart van de hele Aarde afgebeeld. Hier is te zien dat op gematigde breedten een westelijke stroming is, die de gehele Aarde omspant. Deze wereldomvattende atmosferische stroming noemt men de *westenwinddrift*; de 'glijbaan' hierin met de grootste windsterkte heet de *straalstroom*. Deze westenwinddriften kenmerken zich door een veelvuldig optreden van depressies en door een overheersende westelijke wind aan de grond. Uit figuur 18 zien wij, dat wij op Aarde met twee van zulke westenwinddriften te maken hebben: één op het noordelijk halffrond en één op het zuidelijk halffrond. Omdat deze twee stromingen geen verbinding met elkaar maken, ontwikelt het weer op de twee halffronden zich vrijwel onafhankelijk van elkaar; de luchtmassa's die met een westenwinddrift ronddollen blijven op hun halffrond.

Op één halffrond is dit echter anders. Dan is de westenwinddrift in zichzelf gesloten en zorgt voor een samenzang in de weersverschijnselen van plaats tot plaats, bijvoorbeeld op een wijze zoals hierboven ter sprake kwam bij de westcirculatie. Uit figuur 18 ziet men, dat de westenwinddriften met hun straalstromen niet glad zijn, maar sterk

kunnen slingeren. Juist dit slingeren van de stroming geeft nu aanleiding tot abnormale weerpatronen. Zulke slingeringen van de westenwinddrift dragen de naam *lange golven* (in de zin dus van kronkelingen zoals die plaats vinden in een rivier: geen verticale golven zoals op wateroppervlakken!). De positie van deze slingeringen (*lange golven*) bepaalt nu het circulatietype waarmee wij te maken hebben. Als er bij ons en boven de oceaan geen slingeringen in de westenwinddrift aanwezig zijn, dan hebben wij te maken met een westcirculatie als in figuur 16. Hierbij manifesteert de westenwind-



Plaat 8. De wolkenlijnen boven de noordelijke Atlantische Oceaan en boven Europa markeren de plaats van de westenwinddrift op het noordelijk halffrond. De wolkenlijnen boven de zuidelijke Atlantische Oceaan en de Zuidpool geven de positie van de westenwinddrift op het zuidelijk halffrond aan.

drift zich bij ons in zijn zuiverste vorm. Als echter een slingering er voor zorgt dat de luchtstroming in ons gebied van de pool af gericht is, dan krijgen wij een circulatietype als in figuur 17, waarbij koude lucht uit het hoge noorden kan worden aangevoerd. De lengte van de lange golven, dat wil zeggen de afstand tussen twee opeenvolgende slingeringen, is zo enorm groot, dat er meestal drie tot zes van zulke golven al voldoende zijn om de hele Aarde te omspannen. De golfslengte ligt dus ruwweg tussen de 5000 en 10.000 km. Dit is veel groter dan de afmetingen van de depressies, die meestal tussen de 300 km en 2000 km liggen en zich dus alleen maar als kleine golfjes in het stromingspatroon uiten. In figuur 18 is er op het noordelijk halfrond sprake van 7 lange golven en op het zuidelijk halfrond van 5. Deze lange golven zorgen voor een samenhang van weersverschijnselen over een groot gebied. Maar zoals gezegd beïnvloeden het noordelijk- en zuidelijk halfrond elkaar hoegenaamd niet; wat betreft het weer is de Aarde een soort 'dubbelplaneet'.

Evenals de depressies staan ook de lange golven meestal niet stil, maar bewegen van west naar oost. Alleen als hun golfslengte erg groot is staan ze stil (ze heten dan stationaire golven) of bewegen zelfs langzaam in tegengestelde richting, dus van oost naar west.

Door de abnormale stromingspatronen die ze tweegbrengen, zijn deze lange golven de eigenlijke rustverstoorders van ons weer: ze veroorzaken het veranderlijke karakter en bepalen uiteindelijk of een winter streng of zacht is, en of de zomer droog of nat is. Na de passage van een *golfdal* (trog) kunnen de lucht en de depressies uit het koude noorden naar ons toe komen. Dit veroorzaakt dus een weersverslechtering: koud en nat weer. Het passeren van een *golfstop* (rug) gaat meestal gepaard met weersverbeteringen. In de zomer leidt dit tot droog en zonnig weer; in de winter tot helder vriesweer. Omdat de golven zo langzaam bewegen, zou men kunnen denken dat het weervoorspellend eigenlijk niet erg moeilijk is. Helaas blijkt de praktijk anders. De oorzaak hiervan is, dat de lange golven niet altijd regelmatig bewegen, en dat bovendien van tijd tot tijd hun aantal verandert. Dit laatste kan gebeuren als een depressie zich bijvoorbeeld uitdiept (wat zich aan de grond manifesteert als een enorme storm); het kleine golfje in de bovenluchtkart dat samenhangt met deze depressie groeit dan in korte tijd uit tot een nieuwe, lange golf (kronkel) in het bovenluchtpatroon. Dergelijke verstoringen zorgen er voor dat andere lange golven zich plotseling geheel afwijkend gedragen; ze gaan bijvoorbeeld stilligen, versnellen, of ze verdwijnen. Dit betekent, dat men *achteraf* gezien wel kan zeggen hoe variaties in het weer door het passeren van lange golven tot stand zijn gekomen, maar dat het in de praktijk

bijna onmogelijk is de positie, snelheid en het aantal lange golven in de westenwinddrift meer dan enkele dagen vooruit te voorzien. Aangezien juist het optreden van deze lange golven in de atmosfeer de diepere achtergrond vormt van de variatie in ons weer, bepaalt dit tevens de grenzen van de voorspelbaarheid van het weer.

16. Superpositie en voorkeur

Uit het voorafgaande kan worden geconcludeerd dat het antwoord op de vraag 'hoe komt Nederland aan zijn weer?' luidt: 'door de westenwinddrift (want die bepaalt onze gemiddelde temperatuur, neerslaghoeveelheid, enz.) en de lange golven erin (want die zorgen voor de extreme weersomstandigheden); verder dragen de depressies die met de westenwinddrift en zijn lange golven meedrijven tot de veranderlijkheid van ons weer bij'.

Dit antwoord is correct en daar zouden we het bij kunnen laten. Het geeft alleen onvoldoende weer dat de westenwinddrift, de lange golven erin en de depressies met elkaar samenhangen. Met andere woorden, we noemen de hoofdrolspelers en hun rollen, maar we zeggen niets over de regie van het stuk. Daarom gaan we in deze paragraaf nader in op de samenhang tussen de genoemde luchtstromingen en op bepaalde kenmerken van hun gedrag die voor ons weer van belang zijn.

Bij depressies denkt men al gauw dat ze van de Atlantische Oceaan afkomstig zijn, maar dat hoeft helemaal niet. Een depressie kan ons ook bereiken vanuit de Balkan of uit Finland of van welke richting en plaats rond Europa dan ook. Een depressie bepaalt nu eenmaal niet zijn eigen koers maar wordt *gestuurd*. Gestuurd door de luchtstroming waarin zij a.h.w. is ingebed: zoals gezegd fungeert deze als een soort glijsbaan. Vaak wordt de stromingskaart van de bovenlucht dan ook gekenmerkt door een duidelijke *superpositie* van systemen: de basisstroming is de westenwinddrift met de lange golven, waarvan op een weerkaart van Europa en aangrenzende gebieden vaak slechts een enkele rug en trog te zien is, met daarop gesuperponeerd de korte golven van een aantal depressies. Binnen de depressies, die zoals gezegd afmetingen hebben van 300-2000 km in doorsnede, bevinden zich dan weer systemen van nog kleinere omvang, zoals fronten en buien, die zich in de bovenlucht manifesteren als nog kleinere slingeringen of helemaal niet zichtbaar zijn. Figuur 19 geeft een schets van een situatie, waarin alleen de grootste systemen te herkennen zijn. Ook op satellietfoto's herkent men deze structuren (zie plaat 8). Hoe kleiner de systemen, des te korter is hun levensduur. Op deze wijze zijn de weerkaarten aan voortdurende verandering onderhevig, maar toch vooral in de kleinere systemen.

Dat depressies bij ons zo vaak van de Atlantische Oceaan komen, komt alleen vanwege het feit dat de sturende stroming van de westenwinddrift bij ons meestal westelijk is. Een westcirculatie komt hierbij overeen met een bepaald patroon van lange golven in de westenwinddrift. Omdat deze circulatie zo vaak voorkomt, moeten we dus tot de conclusie komen dat de lange golven in de sturende westenwinddrift er bepaalde voorkeurpatronen op na houden. Dat is ook zo. Weliswaar hebben de meeste lange golven in principe de eigenschap om zich naar het oosten te verplaatsen, maar zo nu en dan staat de zaak ook geruime tijd stil en blijven ruggen en troggen dus langdurig op dezelfde plaats liggen.

Zoals in de vorige paragraaf al aangestipt, bestaan er in feite twee typen lange golven: de zich verplaatsende en de vrijwel stilliggende. Van deze twee hebben de laatste de grootste golflengte. Deze is ongeveer 10.000 km, zodat drie van de golven het hele noordelijk halfrond omspannen. Stilliggende golven blijken echter duidelijk voorkeurposities te hebben, zoals te zien is in figuur 20, die de gemiddelde stromingskaart voor januari aangeeft. Bij Oost-Canada bevindt zich op de kaart een diep golfdal (een trog); dat wil zeggen dat de troggen van de lange golven een sterke voorkeur hebben juist daar stil te liggen. Boven onze streken is een golftop (een rug) te zien. Blijkbaar is er bij ons een voorkeurpositie voor ruggen. Dit betekent dat het in onze winters vaak rustig weer is. De rug in figuur 20 boven onze streken is echter veel zwakker dan de trog boven Canada. Dit wil zeggen, dat Canada veel meer een voorkeurpositie is voor troggen dan Europa dit is voor ruggen. Wij hebben dus nog tamelijk vaak te maken met een trog boven Europa. In het algemeen geldt hierbij, dat de neiging van de

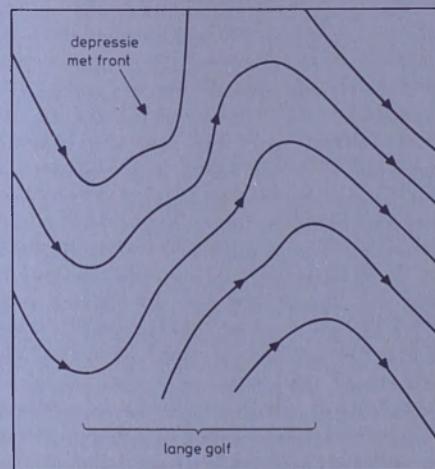


Fig. 19. Schets van de samenhang en superpositie van weersystemen van verschillende schaal in een stromingskaart van de bovenlucht.

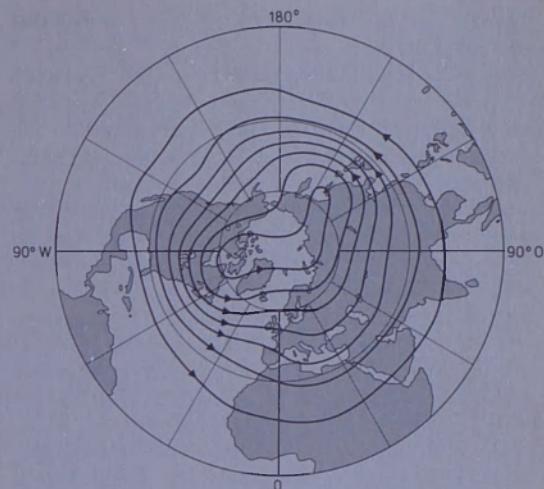


Fig. 20. Gemiddelde stromingskaart van de bovenlucht voor januari. De stromingskaart wordt gekenmerkt door 3 ruggen en 3 troggen, die de voorkeurposities van de lange golven markeren.

atmosfeer om zijn ruggen en troggen te verankeren varieert met het seizoen. In de winter, als de westenwinddrift het sterkst is, treedt het verschijnsel het meeste op.

Voor de weerkundige begint het nu eigenlijk pas. Hij is niet tevreden met de vaststelling dat de lange golven er bepaalde voorkeurpatronen op nahouden. Hij wil weten waarom dat zo is, waarom b.v. zoals in figuur 20 de trog vaak boven Noord-Amerika blijft liggen en de hieropvolgende rug boven de Atlantische Oceaan of West-Europa. Onderzoek heeft aan het licht gebracht dat vooral twee factoren hierin een rol spelen, nl. de invloed van de gebergten op de luchtstroming en het temperatuurverschil tussen de oceaan en het continent. Kortom, het voorkeurpatroon van de westenwinddrift op het noordelijk halfrond hangt onmiddellijk samen met de land-zee verdeling en met hoogteverschillen op het noordelijk halfrond, op dezelfde wijze als het optreden van draaikolken op vaste plaatsen in een rivier veroorzaakt wordt door oneffenheden in de bedding.

In het hier getoonde voorbeeld zijn het vermoedelijk vooral de gebergten in Noord-Amerika die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van deze voorkeursituaties. Achter de Rocky Mountains vormt zich hier een trog (dus lage luchtdruk achter een obstakel, zoals men dit ook verwacht), en deze trog pakt de rest van de lange golven op hun plaats vast. Achter deze 'vaste' trog moet zich nu een rug bevinden, en hierachter de volgende trog (het volgende golfdal). Als de lengte van de lange golven gering is, dan ligt deze rug boven de oceaan – is deze golflengte groter, dan ligt hij boven Europa. Omdat juist bij de langste golven de kans op stilligen het grootst is, veroorzaakt de trog in Amerika

meestal juist een rug bij ons, en weer een trog boven Rusland.

Hierbij komen wij op een belangrijk punt. De golfsystemen in de atmosfeer zijn zo enorm groot, dat er zelfs over geweldige onderlinge afstanden op Aarde nog een samenhang van weertypen bestaat. Dit geldt vooral voor de winter. Tropen zijn gevuld met koude lucht en ruggen met zachte lucht; alleen al door het bestaan van deze voorkeursituatie moet oostelijk Canada gemiddeld veel strengere winters hebben dan Europa! Sterker nog: als om de een of andere reden in Europa toch een strenge winter optreedt, is er een grote kans dat de winter in Amerika juist zacht is, omdat dit continent zich gemiddeld een halve golflengte van ons af bevindt. Stroomafwaarts geldt hetzelfde: Rusland is eveneens zo'n halve golflengte van ons verwijderd, zodat een strenge Europese winter gepaard gaat met een relatief zachte Russische winter en omgekeerd. Dat Russische winters vaak zo enorm koud kunnen zijn, is weer te verklaren uit de trog die zich daar vaak bevindt.

Toch is dit niet het hele verhaal. Wat Europa betreft komt er nog een belangrijk effect bij, nl. de invloed van de Atlantische Oceaan. De lucht die ons met de westenwinddrift in de winter via de oceaan bereikt is bij zijn tocht over het zeewater warmer geworden. Door de aanwezigheid van de bekende warme Golfstroom in de Noord-Atlantische Oceaan is deze opwarming zelfs groter dan men op het eerste gezicht zou denken, want dankzij deze Golfstroom is het oceaanwater zelfs tot op hoge geografische breedten nog vrij warm. Berekeningen laten zien dat de wintertemperatuur in de Europese kustgebieden gemiddeld ruim 10 graden lager zou zijn als de oceaaninvloed er niet was. Volgens dezelfde berekening strekt die invloed zich nog uit tot voorbij het Oeralgebergte, zij het in geleidelijk afnemende mate; pas in Siberië is de invloed verdwenen.

Samengevat kan men stellen, dat het betrekkelijk zachte winterweer in West-Europa met zijn overwegend westelijke winden, een gevolg is van een drietal omstandigheden: de gunstige voorkeurpositie van de lange atmosferische golven, de ligging aan de westkant van een uitgestrekte oceaan en het feit dat zich aan deze westkust een warme Golfstroom bevindt. Het koude klimaat van de zuidpunt van Chili (52° ZB), het klimaat in de noordpunt van China en vooral ook de beruchte Russische, Siberische en Canadese winters demonstreren ons, hoe het weer op onze breedten is als een of meer van die factoren afwezig is.

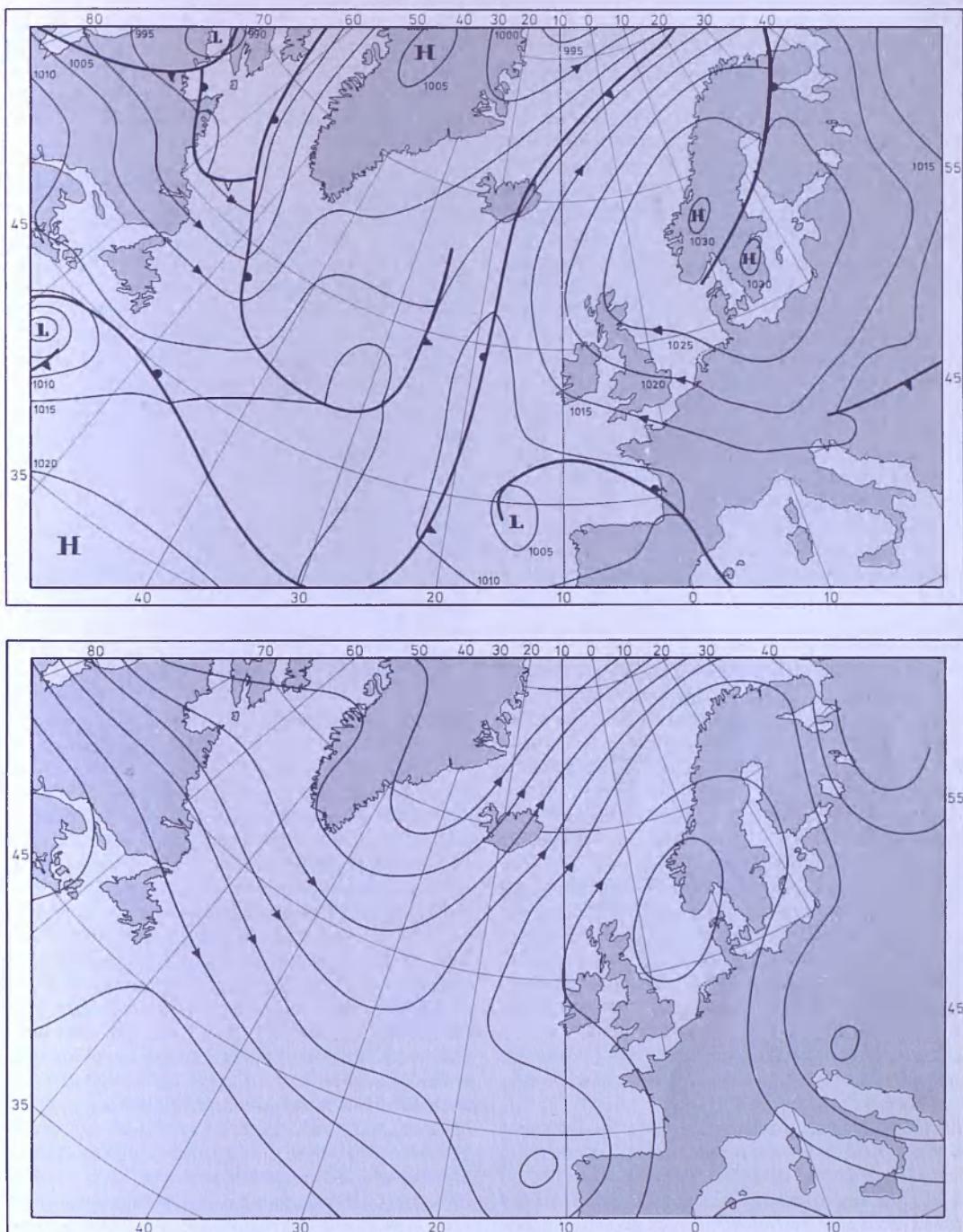
Tenslotte mag een tweede voorkeurseffect van de lange golven niet onvermeld blijven, nl. de plaats van zgn. *blokkeringen*. Bij een blokkering zijn de lange golven doorgeshoten waarbij, net als bij een overslaande zeegolf, een golfdal niet naast, maar

onder de golftop terecht komt. In hun meest extreme vorm zien we dan een groot lagedrukgebied pal ten zuiden van een groot hogedrukgebied liggen, waardoor de wind over grote gebieden en tot op grote hoogte, uit het oosten in plaats van uit het westen komt. Figuur 21 geeft een voorbeeld van zo'n blokkering, zoals die optrad in de droge zomer van 1976.

Waar het ons hier vooral om gaat is dat er ook duidelijk voorkeurplaatsen zijn voor het ontstaan van blokkeringen. Eén daarvan is Scandinavië. Treedt dan zo'n blokkade op, dan veroorzaakt dat bij ons 's zomers heet weer en 's winters koud weer. Ook bij het blokkingsverschijnsel wordt de oorzaak gezocht in de land-zee verdeling. Maar ook op het zuidelijk halfond komen blokkeringen voor en zijn hier voorkeurgebieden voor aan te wijzen, ook al is in de breedtegrond van 30° tot 70° ZB vrijwel geen land aanwezig. Daarom wordt het optreden van blokkeringen soms ook gezien als een algemene eigenschap van luchtstromingen op een draaiende planeet. Zo van: een planeetatmosfeer heeft meerdere mogelijkheden om het transport (van warmte en vocht) van de evenaar naar de polen te verzorgen. De ene keer 'kiest' de atmosfeer voor een patroon in de westenwinddrift met nette golven, de andere keer maakt hij gebruik van een geblokkeerd patroon. Hoe die keuze uitvalt zou een kwestie van toevallige factoren kunnen zijn. Maar het optreden van voorkeurplaatsen wijst desalniettemin ook op een zekere ordening. Hoewel deze zeker samenhangen met de land-zee verdelingen, is dit verschijnsel nog niet volledig verklaard.

17. Jaarlijkse gang

Zoals uit het voorafgaande blijkt kan ons weer niet los gezien worden van de algemene circulatie van de atmosfeer op ons halfond. Het zijn de lange golven in de westenwinddrift met daarop gesuperponeerde depressies, die bij ons (en ook elders op de gematigde breedten) voor sterk wisselend weer zorgen. Deze wisseling wordt nog geaccentueerd door het komen en gaan van de seizoenen. Want ieder seizoen heeft nog een andere voorkeur in circulatietypen (samenhangende met seizoenverschillen in de golflengte, voortplantingssnelheid en andere eigenschappen van de lange golven), terwijl bovendien het weer dat bij een bepaald circulatietype hoort, per seizoen verschilt (zie bijvoorbeeld de blokkeringen, die hierboven werden besproken). Uit het samenspel van deze twee factoren ontstaat zoets als de 'jaarlijkse gang' van ons weer: 's winters gemiddeld enkele graden boven nul, vaak bewolking en van tijd tot tijd regen of sneeuw. Het voorjaar droger, afgezien van de bekende maartse buien terwijl het weer bij weinig wind en veelzon



soms al zeer aangenaam kan zijn. 's Zomers een temperatuur van gemiddeld 16 graden (rond de 20 graden overdag), zelden langdurig droog en zonnig, vaak eerder somber en nat. De herfst tot half oktober kent vaak redelijk nazomerweer (warm, droog en zonnig), maar daarna van tijd tot tijd veel wind

Fig. 21. Voorbeeld van een blokkering. (22 augustus 1976, 2 uur zomertijd). De stromingskaart laat een aparte hogedrukcel boven Scandinavië zien. Ook aan de grond is sprake van een hogedrukgebied boven Scandinavië. In dit geval bleef deze situatie lang bestaan en zorgde voor dagenlang droog, warm en zonnig weer bij ons.

en regen of beginnende kou. Dit is natuurlijk slechts een ruwe schets van de jaarlijkse gang van ons weer. In hoofdstuk 3 en 4 wordt een en ander in meer detail beschreven; in dit hoofdstuk gaat het meer om de achtergrond van dit alles.

De jaarlijkse gang in het weer wordt natuurlijk in de eerste plaats veroorzaakt door de wisseling van de zonshoogte en de daglengte door het jaar heen, die dan voor een jaarlijkse gang in de instraling zorgen. Zoals gezegd heeft dit als gevolg, dat er zowel een jaarlijkse gang in voorkeurpatronen van de westenwinddrift optreedt (d.w.z. een jaarlijkse gang in de algemene circulatie) als een jaarlijkse gang in het verband tussen het type luchtstroming en het weer. Op beide onderdelen gaan wij hier wat nader in.

De jaarlijkse gang in de algemene circulatie komt in de eerste plaats tot uiting in de afmetingen van het gebied dat door de westenwinddrift wordt beheerst. De straalstroom in de westenwinddrift, d.w.z. de band met de grootste windsterkten (zie paragraaf 15) vormt namelijk eigenlijk de begrenzing van de koudste lucht bij de pool. Doordat de straalstroom hier omheen kronkelt, blijft deze lucht op zijn plaats en kan niet wegstromen. Dit gebied binnen de straalstroom is dus een soort 'poolkap' van koude lucht in onze atmosfeer. Aangezien er 's winters meer koude lucht aanwezig is dan 's zomers, zal de straalstroom in de winter een groter gebied moeten omsluiten en verder van de pool af komen te liggen.

De jaarlijkse gang in de hoeveelheid koude lucht veroorzaakt dus een periodiek inkrimpen en uitzetten van deze 'poolkap', waardoor ook het gebied dat door de westenwinddrift wordt beheerst periodiek kleiner en groter wordt. In figuur 18, waar het winter is op het noordelijk halfrond en zomer op het zuidelijk halfrond, is duidelijk te zien dat de noordelijke 'poolkap' groter is dan de zuidelijke en de westenwinddrift op het noordelijk halfrond een veel groter gebied omvat. Als men figuur 18 voor een half jaar later zou maken, dan zou dit omgekeerd zijn: het gebied met westenwinddrift op ons halfrond is dan ingekrompen en op het andere uitgebreid, waarbij de laatste nog het zuidelijk deel van Nieuw-Zeeland kan beheersen.

Bij het vergelijken van het weer en de circulatie van de beide halfronden moet men wel in het oog houden dat er grote verschillen bestaan. Doordat de Zuidpool één ijsmassa is die helemaal omringd wordt door een enorme oceaan, is de westenwinddrift op het zuidelijk halfrond veel aktiever. Het waait er dus veel harder dan op ons halfrond. In zeevaartkringen staat het gebied ten zuiden van 40° ZB bekend als de 'bulderende veertigers' (roaring forties) terwijl het gebied beneden de 50° ZB ook wel eens de 'gillende vijftigers' (howling fifties) wordt genoemd. Het is dan ook een ongelukkige

beslissing geweest van Fernao de Magelhaes om bij zijn tocht rond de wereld in 1519 voor de westwaartse route te kiezen. Het gevolg hiervan was, dat hij bij Zuid-Amerika met zijn scheepjes precies tegen deze bulderende westenwinddrift op heeft moeten zeilen.



Plaat 9. Fernao de Magelhaes koos bij zijn tocht om de wereld de ongunstigste route.

De jaarlijkse gang van de algemene circulatie heeft niet alleen betrekking op het inkrimpen en uitzetten van de westenwinddrift, maar ook op de voorkeurposities van de lange golven hierin. Terwijl de trog bij Oost-Canada min of meer verankerd blijft aan de Rocky Mountains, verschuiven de voorkeurposities van de rug bij Europa en de tropen boven Rusland in de loop van het jaar heen en weer in oost-west richting. Dit hangt vooral samen met een verandering van de golfengte van de stilstaande golven. Bovendien zijn de slingeringen van deze golven in het koude halfjaar aanzienlijk groter dan in het zomerhalfjaar. Aangezien de posities en sterkte van de lange golven in de westenwinddrift bepalen met welk circulatietype wij te maken hebben, veroorzaakt dit alles een jaarlijkse gang in de kans op een bepaald circulatietype.

In figuur 22 is deze jaarlijkse gang weergegeven voor het meest voorkomende type, namelijk de westcirculatie. Hierbij komt duidelijk naar voren dat de westcirculatie in de tweede helft van het jaar vaker voorkomt dan in de periode rond het voorjaar. De verankering van de lange golven, die aanleiding geeft tot een langdurige westcirculatie bij ons, lukt blijkbaar minder goed in het voorjaarsseizoen. Dit seizoen wordt dan ook eerder geken-

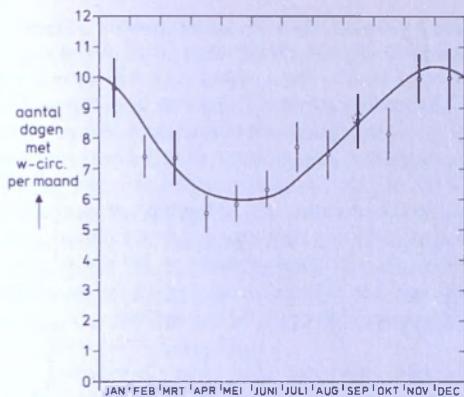


Fig. 22. Gemiddeld aantal dagen per maand met een west-circulatie. De aantallen zijn ontleend aan stromingskaarten van de bovenlucht van 1949-1975. De jaarlijkse gang van de algemene circulatie komt hier duidelijk tot uiting.

merkt door een relatief vaak voorkomen van blokkeringen (zoals figuur 21) of van circulatietypen met een noord-zuid stroming (zoals figuur 17). In het voorjaar is de voorkeurpositie van de rug bij Europa meer naar het westen verschoven, zodat wij vaker onder invloed van de trog bij Rusland komen; in het najaar bevindt de voorkeurpositie van de rug zich meer boven onze streken. Naast de invloed van het 'naijlen' van de temperatuur van het zeewater (zie paragraaf 24) is dit ook één van de redenen dat het voorjaar koud is in vergelijking met het najaar.

Behalve dat men kan onderzoeken welke voorkeuren het circulatiepatroon van de westenwinddrift er in een bepaalde tijd van het jaar op na houdt, kan men ook onderzoeken hoe sterk deze voorkeuren door het jaar heen zijn. Hoe geringer namelijk deze voorkeur, des te onberekenbaarder is ook het weertype. Men vindt nu, dat het voorjaar wat betreft deze wispeturigheid de kroon spant. In dit seizoen hebben de lange golven in de westenwinddrift blijkbaar de meeste moeite een vaste 'ankerplaats' te kiezen. Ze zullen dus vaker op een willekeurige plaats stil komen te liggen en hierbij aanleiding geven tot circulatietypen die in andere seizoenen meer tot de zeldzaamheden behoren. Van het weer is deze extra wispeturigheid in het voorjaar wel bekend ('april doet wat hij wil'), maar de eigenlijke achtergrond hiervan is dus het gebrek aan voorkeurpositie voor de lange golven in dit seizoen.

De tweede factor die de jaarlijkse gang in het weer bepaalt is de relatie tussen circulatietypen en het weer. De verandering van de zonnestraling in de loop van het jaar zorgt er namelijk voor, dat de lucht die van een bepaald bronengebied afkomstig is, in de zomer andere eigenschappen heeft dan in de winter, terwijl bovendien de wijze van verandering

van de luchtmassa's tijdens het transport per seisoen verschilt.

Het meest duidelijk is deze invloed echter bij die circulatietypen, waarbij het transport gering is. Een voorbeeld hiervan is het circulatietype waarbij een groot hogedrukgebied Europa bedekt. De bijbehorende temperatuur in de verschillende maanden van het jaar wordt gegeven in figuur 23. De verschillen met de gemiddelde temperatuur zijn zeer frappant en kunnen in dit geval door het nauwelijks ontbreken van de transportfaktor ook eenvoudig worden verklaard. In het zomerhalfjaar staat de zon namelijk hoog en is in zo'n situatie meestal in staat de bewolking en mist snel op te lossen. De straling van de zon op de verder heldere dag zorgt dan vervolgens voor warm weer (vergelijk figuur 31 in hoofdstuk 3): een hogedrukgebied is in de zomer bijna synoniem met mooi weer. In de winter zit zo'n hogedrukgebied echter meestal vol met mist en bewolking, terwijl de zon niet genoeg kracht heeft deze afdoende op te ruimen. Het blijft dus vaak vrijwel de hele dag bewolkt en de temperatuur wijkt hierdoor zowel 's nachts als overdag niet veel af van het gemiddelde. Voor helder weer in de winter, waarvan de temperatuur weergegeven is in figuur 31 en 32, is duidelijk een geheel ander circulatietype nodig.

Voor de meeste circulatietypen geldt echter, dat de relatie met het weer nogal ondoorzichtig is. Men moet zich dan vaak tevreden stellen met de bestudering van vele weersituaties uit het verleden met eenzelfde circulatiepatroon om te weten te komen hoe die relatie is. Het zoeken van de best gelijkende gevallen uit het verleden is dan echter weer strijdig met de noodzaak om zoveel mogelijk van deze gevallen per circulatietype te verzamelen: door het grote aantal mogelijkheden zijn er nu eenmaal niet zoveel goed gelijkende gevallen. Men zegt wel eens, dat er iedere dag een unieke weersituatie optreedt. Zo erg is het echter niet, en in de loop van de jaren is men er in geslaagd om ten behoeve van de weervoorspelling voor alle maanden het verband tussen

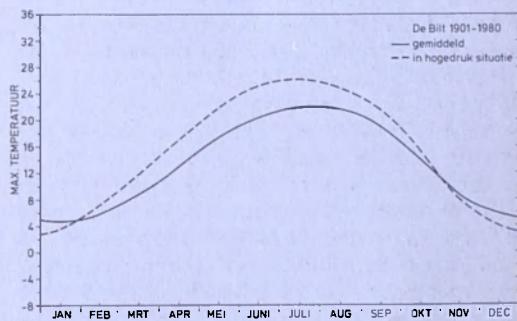


Fig. 23. Maximumtemperatuur De Bilt. De getrokken lijn geeft de gemiddelde jaarlijkse gang; de streeplijnen de jaarlijkse gang in situaties met een groot hogedrukgebied boven Europa.

circulatietype en weer vast te leggen. Het zal echter nog wel enige tijd duren, voor al die verbanden ook werkelijk begrepen zijn.

II. Onze ligging en ons weer

18. Invloed van ons land

Nu wij gezien hebben dat ons weer voornamelijk bepaald wordt door gebeurtenissen van buitenaf die ons via de westenwinddrift 'aan komen waaien', gaan wij in dit deel meer in op de vraag in hoeverre ons land en zijn ligging nog in staat is dit 'aangeboden' weer te veranderen. Eén effect is al genoemd, namelijk de invloed van de Atlantische Oceaan en zijn warme Golfstroom op ons weer. Wat hiernaast overblijft aan effecten is kleiner doch zeker niet verwaarloosbaar: ze bepalen uiteindelijk ons klimaat en zijn dagelijkse gang en veroorzaken weverschillen van plaats tot plaats. In dit deel wordt dit alles besproken aan de hand van bekende of minder bekende voorbeelden. Achtereenvolgens komen aan bod de invloed van ons land op het weer, de invloed van de Noordzee, de dagelijkse gang en klimaatverschillen binnen Nederland.

De effecten die in de rest van dit hoofdstuk ter sprake komen hebben geen invloed op de vorm van de westenwinddrift zelf. In paragraaf 13 kwam al ter sprake dat de hoeveelheid energie die wij met z'n allen in Nederland gebruiken veel kleiner is dan de energie die wij gemiddeld van de zon ontvangen. Aangezien deze zonneenergie de drijvende kracht is van de algemene circulatie, is het duidelijk dat de energieproduktie van ons land hier totaal geen invloed op heeft. Ook al weten we het fijne er nog niet van, alle berekeningen tot nu toe wijzen er op dat systematische wijzigingen van de algemene circulatie slechts tot stand gebracht kunnen worden door tamelijk drastische veranderingen van het aardoppervlak over een groot gebied, bijvoorbeeld temperatuurveranderingen van het zeewater van meerderen graden over een gebied van tenminste 1000 bij 1000 km, of ontbossing van een gebied van dergelijke afmetingen. Daar staat tegenover, dat ons land en de aangrenzende Noordzee wel invloed kunnen uitoefenen op het weer dat bij een bepaald circulatietype hoort. Met andere woorden: het eerder genoemde verband tussen circulatietype en weer hangt voor een deel af van de toestand van het aardoppervlak in eigen land en zijn directe omgeving. Dit zullen wij illustreren aan de hand van drie voorbeelden.

Het eerste voorbeeld is de invloed van een sneeuwdek op de temperatuur bij helder weer in de winter. Boven zo'n sneeuwdek worden onder overigens

gelijke omstandigheden de temperaturen veel lager dan wanneer er geen sneeuw ligt. Daar is een goede verklaring voor. Het sneeuwoppervlak straalt namelijk beter warmte uit dan het aardoppervlak, terwijl de sneeuwlaag nauwelijks de warmte uit de bodem doorlaat. Om beide redenen koelt de lucht boven de sneeuw 's nachts sneller af dan zonder sneeuw het geval zou zijn. Daarbij komt nog dat overdag een groter deel van het zonlicht door de sneeuwlaag wordt teruggekaatst, zodat ook hiervan minder aan het oppervlak ten goede komt en de lucht hierboven dus maar weinig opwarmt.

Het tweede voorbeeld gaat over de vorming van buien. Buien komen in Nederland in ieder jaargetijde voor. Het verschil met gewone regens is dat een bui meestal vrij kort duurt (je kunt er voor schuilen!) maar dat de neerslagintensiteit (de hoeveelheid water die in bijv. vijf minuten naar beneden komt) tamelijk groot is. Buien zijn het gevolg van onstabielheid van de lucht, d.w.z. dat relatief warme en dus lichtere lucht zich onder koudere en daardoor zwaardere lucht bevindt (zie ook paragraaf 28). Zo'n opbouw van de atmosfeer is niet stabiel en de warme lucht zal op een gegeven moment omhoog kunnen gaan, waarbij zijn oorspronkelijke plaats wordt ingenomen door de koudere lucht die er eerst boven zat. Dit proces heet *convectie* en er hoeft niet persé regen bij te vallen. Alleen als de lucht bij het begin voldoende vochtig is en de opstijgende luchtbellen tot voldoend grote hoogte in de koude bovenlucht doordringen condenseert de waterdamp, zodat er wolken ontstaan en eventueel een bui. Waar het ons nu om gaat, is dat het al dan niet optreden van convectie sterk afhangt van de temperatuur van het oppervlak waar de lucht zich boven bevindt of overheen strijkt. Hoe warmer dat oppervlak, des te eerder vindt er convectie plaats. Nogmaals, of er regen valt hangt ook sterk van de vochtigheid van de lucht af. En ook hierop kan het aardoppervlak via de verdamping een grote invloed uitoefenen. Nemen we nu aan dat vanuit het noordwesten tamelijk onstabiele lucht ons land binnenstroomt. (Onstabiel betekent dus feitelijk ook dat er nog maar weinig warmte vanonder toegevoerd hoeft te worden om convectie op gang te brengen). In het voorjaar is het water van de Noordzee ongeveer 10 graden en dit is in veel gevallen niet voldoende om convectie te veroorzaken. Boven land kan de temperatuur in dit jaargetijde echter al vrij hoog worden, zodat daar de convectie vaak wel kan beginnen. In zo'n geval zijn de Noordzee en onze kuststrook onbewolkt, terwijl het in de rest van het land bewolkt weer is en er buien kunnen vallen. Vanaf zee ziet men aan deze hoge buienwolken dan al op vrij grote afstand dat er land aanwezig moet zijn, terwijl de landmassa's zelf nog helemaal niet in

zicht zijn. Uitkijkposten in het kraaienest van vroegere schepen letten dan ook scherp op de bewolking bij de horizon.

In het najaar is de situatie wat betreft de temperatuur precies omgekeerd. De Noordzee is dan nog een graad of 15, maar boven land is de lucht nabij de grond meestal kouder. Gevolg is dat in dit seizoen vaak buien boven zee ontstaan die landinwaarts snel uitdoven. De kans hierop is in de avond en nacht het grootst. Figuur 54 in paragraaf 35 laat inderdaad zien, dat de grootste kans op onweer vlak bij zee op een geheel ander tijdstip van de dag valt dan in het binnenland.

Het laatste voorbeeld van de invloed van ons land op het weer heeft te maken met de wind, zowel wat betreft de richting als de snelheid. Net als in het vorige voorbeeld speelt hier onze specifieke ligging aan de Noordzee een rol. Zoals aangegeven in figuur 38 in paragraaf 30, is er een scherpe afname waar te nemen in de gemiddelde windsnelheid wanneer men vanuit de kust landinwaarts gaat. Dit is zuiver het gevolg van de grotere wrijving die land op de luchtbewegingen uitoefent. Land heeft een grotere *ruwheid* dan water; hoe hoger de begroeiing of bebouwing, des te groter is ook de ruwheid en dus de wrijving.

Figuur 24 toont een weerkaart waarop het effect te zien is; boven land waait het duidelijk minder dan op het lichtschip Noordhinder, dat tussen Engeland en Nederland ligt. Maar bovendien toont de figuur

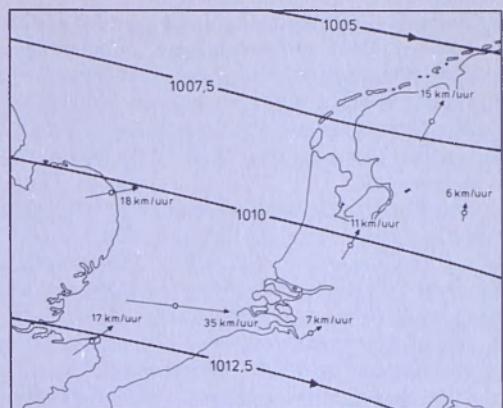


Fig. 24. Weerkaart van 19 augustus 1982, 7 uur zomertijd. Vanwege de grotere wrijving waait het boven land minder dan boven zee, terwijl de windrichting boven zee meer evenwijdig is aan de druklijnen op de kaart. De luchtdruk in millibar is aangegeven.

dat ook de *windrichting* boven zee verschilt van die boven land. Indien nu de wrijving afwezig zou zijn, dan zou de wind evenwijdig moeten waaien met de druklijnen op de kaart. Op enige hoogte boven de Aarde is dit inderdaad het geval. Dichter bij de grond is er sprake van een andere windrichting: de wind waait meer in de richting van de lage druk. Met dit verschil in windrichting en windsterkte

Plaat 10. Storm aan het strand – vaak veel minder sterk in het binnenland (foto G. P. Können).



dienen piloten bij het landen terdege rekening te houden. Hoe groter de ruwheid, des te meer wijkt de windrichting aan de grond af van die in een wrijvingsloze atmosfeer. Hierdoor kan ook het verschil in windrichting tussen land en zee behoorlijk groot zijn. In het getoonde voorbeeld is dit twintig tot zeventig graden.

De wrijving die het land op de wind uitoefent, hangt bij harde wind wel af van de hoeveelheid bebouwing en de hoeveelheid begroeiing (zie paragraaf 30), maar nauwelijks van de temperatuur van de ondergrond. Boven zee is dit anders: als de lucht erg *koud* is ten opzichte van het zeewater, dan is de wrijving aanzienlijk *minder*. Onder overigens gelijke omstandigheden waait het in koude lucht boven zee dus harder. Dit betekent tevens, dat in zo'n geval het verschil in windsnelheid tussen de kust en het binnenland groter is. Vooral bij noordelijke wind treedt regelmatig de situatie op, dat het aan de kust stormt terwijl het in het binnenland nauwelijks echt waait. Nu verspreidt het KNMI in het dagelijkse weerbericht ook wind- en stormwaarschuwingen voor de scheepvaart ('alle districten noordwest 11'). Deze waarschuwingen hebben echter alleen betrekking op de toestand op zee, en niet op de windkracht boven land. Dit is de reden dat bij 'windkracht 11 op zee' de windsterkte boven land zo kan verschillen: bij een 'warmte storm' kan het ook in het binnenland zeer hard waaien, maar bij een 'koude storm' blijft de harde wind tot de kuststrook beperkt – al ziet men wel aan de snelheid van de wolken, dat er 'iets' aan de hand is. Gelukkig zorgt de invloed van ons land op het aangeboden weer er dus voor, dat vernietigende noordweststormen boven zee maar moeilijk het land inkomen.

19. Invloed van de Noordzee

In de voorgaande voorbeelden kwamen duidelijk de verschillende invloeden van land en zee op het weer naar voren. Een belangrijke vraag in dit verband is hoever de invloed van de Noordzee zich nog landinwaarts uitstrekkt. Over het algemeen ziet men in klimaatkaartjes vrij scherpe overgangen op de grens van zee en land. Zie b.v. de kaartjes van de gemiddelde windsnelheid en van de temperatuur (resp. fig. 38 en fig. 36).

De typische weerverschijnselfen, die bij dit kustklimaat horen, zoals bijvoorbeeld de Noordzeebuien in het najaar en de opklaringen in het voorjaar, die in de vorige paragraaf genoemd werden, manifesteren zich doorgaans ook alleen maar in een zeer smalle strook langs de kust. Hetzelfde geldt voor de afremming van de wind; ook de koele 'zeewind' (zie paragraaf 20), die op warme dagen soms opsteekt, komt meestal niet ver het land in. In dit opzicht is het kustklimaat maar beperkt tot een zeer smal

gebied: tien of twintig kilometer van de kust wijken de weerverschijnselfen nauwelijks af van die verder in het binnenland.

Dat wil natuurlijk niet zeggen dat in incidentele gevallen de invloed van de Noordzee zich niet veel verder landinwaarts kan doen gevoelen. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij een sterke westenwind. In een dergelijke situatie kan het voorkomen dat bijvoorbeeld de eerder genoemde Noordzeebuien in het najaar, die normaal tot de kuststrook beperkt blijven, opeens door kunnen dringen tot in het centrum van ons land.

In paragraaf 24 is weergegeven (en besproken), hoe de invloed van de Noordzee *gemiddeld* over Nederland verloopt. Dit is aan de hand van de temperatuur gedaan, waarbij is nagegaan op welke datum gemiddeld de hoogste temperatuur valt. Het resultaat in figuur 27 laat zien, dat de invloed van de Noordzee als warmtereservoir tot ongeveer midden Nederland nog een soort kustklimaat veroorzaakt.

De aanwezigheid van de Noordzee veroorzaakt echter niet alleen dit kustklimaat, maar beïnvloedt ook het weer in de rest van het land. Zoals binnen ons land bijvoorbeeld de provincie Noord-Holland wat betreft het klimaat behoort tot de kuststrook, zo vormt Nederland als geheel een onderdeel van de kuststrook van Europa. Het klimaat in ons land wijkt dus af van dat in bijvoorbeeld Tsjechoslowakije: de winters zijn bij ons merkbaar zachter, de zomers koeler en ook in andere opzichten bestaan uitgesproken verschillen die te verklaren zijn uit onze ligging aan de rand van de Noordzee in de nabijheid van de Atlantische Oceaan. Hiernaast hebben wij echter ook te maken met weerverschijnselfen waarvan wel vermoed wordt dat zij uitingen zijn van ons 'Europese kustklimaat', dus een gevolg zijn van de invloed van de Noordzee, maar waarbij dit niet zeker is. Een voorbeeld is de hardnekkige lage bewolking, die in de voorzomer bij noordwestenwind het hele land kan bedekken.

Nog maar kort geleden werd een vrij onverwacht effect van de Noordzee op de temperatuur boven land vastgesteld. Deze veroorzaakt namelijk een neiging om abnormaal hoge of lage maandgemiddelde temperaturen in de ene maand naar de volgende voort te zetten. Dit verschijnsel, dat wel persistentie wordt genoemd (zie paragraaf 27) heeft dus tot gevolg dat bijvoorbeeld na een zeer zachte januari maand de kans op zacht weer voor februari wat groter is dan gemiddeld. Het effect blijkt het grootst in het vroege voor- en najaar en wordt veroorzaakt door temperatuurafwijkingen van het water van de Noordzee. Deze kunnen bijvoorbeeld ontstaan in een warme zomermaand bij aflandige wind, waarbij dus voortdurend warme lucht over het zeewater strijkt. Als zo'n hoge zeewatertemperatuur er eenmaal is, dan verdwijnt hij niet snel en

is ook de volgende maand nog wel merkbaar. Bij wind van zee wordt dan wat warmere lucht aangevoerd dan anders.

Deze persistentie is in het hele land aanwezig, al is die vlak bij de kust het grootst. Zelfs verder Europa in zijn er nog sporen van terug te vinden. Voor Nederland geldt, dat dit effect vooral is te herleiden tot de aanwezigheid van de Noordzee. De persistentie die ver van deze kust nog optreedt moet echter aan andere oorzaken (invloed Atlantische Oceaan?) worden toeschreven.

20. Dagelijkse gang

Ons weer kent een zeer duidelijke dagelijkse gang. Deze is het meest opvallend voor de temperatuur. Vrijwel iedere dag valt de hoogste temperatuur in de loop van de namiddag en de laagste aan het einde van de nacht. Ofschoon lang niet in alle opzichten vanzelfsprekend, nemen we aan dat dit verschijnsel hier geen nadere verklaring behoeft. Ook andere weerverschijnselen kennen een dagelijkse gang, al is deze vaak wat minder duidelijk: neerslag(typen), mist, bewolking, wind. 's Avonds gaat de wind wel vaak 'liggen' zoals het heet. Sneeuw heeft een iets grotere kans 's nachts te vallen, omdat de temperatuur dan lager is en de kans dus groter dat het vriest. Mist en bepaalde soorten bewolking hebben de neiging in de loop van de dag op te lossen, terwijl andere wolkentypen (buienwolken bijvoorbeeld), juist bij voorkeur na de middag ontstaan. Zie hoofdstuk 4.

De algemene circulatie die ons weer in hoofdzaak bepaalt, kent echter vrijwel *geen* dagelijkse gang. Weerkaarten met depressies en hogedrukgebieden en stromingspatronen van de bovenlucht bieden overdag en 's nachts vrijwel hetzelfde beeld. Er is dan ook geen reden om te verwachten dat bijvoorbeeld depressies, fronten of andere weersystemen een voorkeur zouden vertonen voor de tijd van de dag waarop ze ons land bereiken en passeren. En als er dan toch in bijvoorbeeld de kans op neerslag sprake is van een dagelijkse gang, dan mogen we verwachten dat dit terug te voeren is tot dat ene element dat verreweg de duidelijkste dagelijkse

gang vertoont, nl. de temperatuur van de lucht nabij het aardoppervlak.

In tabel II is te zien, dat de dagelijkse gang van de temperatuur snel afneemt met de hoogte. Dit betekent, dat alleen de grond en een betrekkelijk dunne laag lucht erboven op de dagelijkse insraling van de zon reageren.

Deze laag is meestal niet veel hoger dan één kilometer. Zoals wij echter in de voorafgaande paragrafen hebben gezien, hangt de relatie circulatiotype-weer af van de ondergrond: als de lucht van zee ons land binnenkomt, verandert het bijbehorende weer. Overdag 'ziet' de westenwinddrift door de hogere temperatuur een ander type ondergrond boven land dan 's nachts en het aangeboden weer wordt dus anders vervormd. Met andere woorden, de relatie circulatiotype-weer hangt ook af van het tijdstip van de dag en veroorzaakt dus een dagelijkse gang in vele onderdelen van het weer.

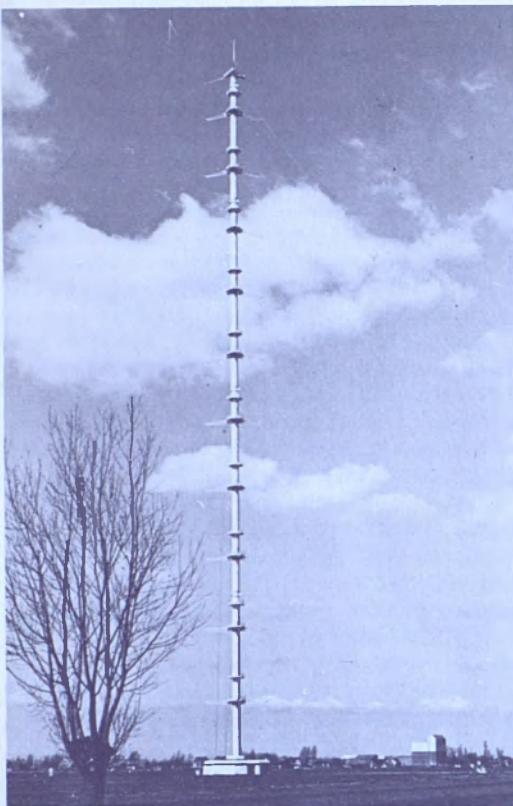
Op welke wijze kan de dagelijkse gang in de temperatuur ook een dagelijkse gang in andere weerverschijnselen veroorzaiken? Deze is in een aantal gevallen direct te verklaren uit de dagelijkse gang van de stabiliteit van de atmosfeer (zie hoofdstuk 4), maar voor andere verschijnselen is het ingewikkelder. Het onderdeel van de meteorologie dat zich met deze problemen bezig houdt wordt de *grenslaagmeteorologie* genoemd, omdat het gaat om processen die zich min of meer beperken tot die laag in de atmosfeer waar de directe invloed van het aardoppervlak nog voelbaar is.

Sommige van deze problemen kunnen worden bestudeerd door directe metingen aan hoge masten, zoals die in Cabauw bij Lopik, die 213 meter hoog is (plaat 11). Andere zijn zeer moeilijk te bestuderen omdat dit moet gebeuren met behulp van ballonnen die voorzien zijn van meetinstrumenten. Deze worden echter met vrij grote tussenpozen en bovendien maar op een beperkt aantal plaatsen op Aarde opgelaten (er zijn minder dan 600 oplatingsstations op het noordelijk halfrond, tegen meer dan 10.000 waarnemingsstations aan het aardoppervlak; in Nederland gaat het om één oplatingsstation (De Bilt) tegen ongeveer 50 waarnemingsstations aan de grond). Voor de grenslaagmeteorologie zijn ook deze ballonwaarnemingen niet ideaal, want een

TABEL II. Gemiddeld verloop van de temperatuur te Cabauw (bij Lopik) (in °C) op verschillende hoogten in de periode mei t/m juli 1973. De hoogste en laagste temperaturen zijn vetgedrukt.

Hoogte (m)	-	3h	4h	5h	6h	7h	8h	-	13h	14h	15h	16h	17h	-	ΔT
200	-	13.1	12.8	12.7	12.5	12.4	12.7	-	15.3	15.5	15.7	15.8	15.6	-	3.4
120	-	13.0	12.7	12.5	12.4	12.6	13.2	-	16.2	16.3	16.5	16.6	16.4	-	4.2
20	-	12.2	11.8	11.8	12.2	13.2	14.2	-	17.3	17.4	17.6	17.6	17.3	-	5.8
2	-	11.4	11.0	11.2	12.1	13.3	14.4	-	17.8	17.8	18.0	18.0	17.5	-	7.0

ΔT = hoogste waarde minus laagste waarde.



Plaat 11. Het weer op enige hoogte kan worden bestudeerd met behulp van hoge masten. Deze mast in Cabauw bij Lopik is 213 meter hoog (foto J. G. van der Vliet).

ballon gaat vrij snel omhoog, waardoor vooral de windwaarnemingen van de onderste kilometer (de grenslaag) vaak van minder goede kwaliteit zijn. Dit neemt niet weg, dat een aantal grenslaagverschijnselen toch behoorlijk onderzocht en redelijk begrepen zijn.

Omdat de zon de drijvende kracht is van de dagelijkse gang, is deze het meest uitgesproken op dagen met weinig bewolking. Doorgaans is de dagelijkse gang van de weerverschijnselen het opvallendst in de zomermaanden, als de insstraling groot is. Tevens is van belang dat de wind niet al te sterk is, zodat de grenslaag zich goed kan ontwikkelen. Als aan deze voorwaarden is voldaan, dan is er sprake van een uitgesproken dagelijks ritme in het weer.

Tussen de weerverschijnselen nemen de specifieke grenslaagverschijnselen een aparte plaats in omdat ze sterk tijdgebonden zijn op de dag of een uitgesproken dagelijkse gang vertonen. Wij geven hier drie voorbeelden van zulke weerverschijnselen.

Het eerste voorbeeld is een grenslaagverschijnsel dat zich vrijwel dagelijks voordoet, eigenlijk alleen

niet op dagen met volledige bewolking en veel wind (ook de temperatuur vertoont dan overigens maar een geringe dagelijkse gang). Bedoeld verschijnsel bestaat uit een draaiing van de windrichting met de wijzers van de klok mee (bijvoorbeeld van zuidwest naar west) in de loop van de dag en een overeenkomstig terugdraaien gedurende de nacht. Het eerste noemt men een *ruiming* van de wind en het tweede een *krimping* van de wind. Om dit te begrijpen gaan we er vanuit dat de wind in de atmosfeer op enige hoogte boven de grenslaag een westelijke richting heeft. De wind waait daar ongeveer parallel aan de lijnen van gelijke luchtdruk (druklijnen). Zoals we in paragraaf 18 gezien hebben zorgt de wrijving aan de grond ervoor dat de wind nabij de grond een hoek maakt met de druklijnen en wel zo dat de wind aan de grond enkele tientallen graden gekrompen is t.o.v. de wind in de bovenlucht. Die hoek is boven land groter dan boven zee; zie ook figuur 24. Hierin zit hem nu ook de clou van de dagelijkse gang in de windrichting. Wanneer deze overdag boven land ruimt betekent dat dus, dat overdag het land meer op de zee lijkt. Althans dat de wrijving van het land overdag minder groot is dan 's nachts. Maar hoe kan dat, want een bepaald oppervlak behoudt zijn ruwheid, zeker in de loop van het etmaal.

Aan de ruwheid ligt het dus niet, maar wel aan de mate waarin de wrijving de invloed van de ruwheid naar boven toe kan uitbreiden. Met andere woorden, het hangt af van de dikte van de laag waar de wrijving nog gevoeld wordt, en deze is weer sterk afhankelijk van het verloop van de temperatuur in de onderste paar honderd meter.

In de nacht, als de temperatuur aan de grond omlaag gaat, ontstaat hierdoor op enige hoogte doorgaans een zgn. *inversie*. Dit is een luchtlag waar de temperatuur met de hoogte *toe-* in plaats van afneemt; dit gebeurt vaak sprongsgewijze. Zo'n inversie vormt dan de bovenkant van de grenslaag: eronder 'voelt' de lucht de invloed van de grond wel, maar erboven niet. Bij zo'n laaghangende inversie werkt de ruwheid dus maar op een dunne luchtlag. De lucht hierin wordt dan ook sterk afgeremd, waarbij tevens de wind sterk krimpt. Overdag verdwijnt echter deze inversie meestal, omdat de lucht van onder af wordt opgewarmd, waarbij vooral de temperatuur van de luchtlag onder de inversie omhoog gaat. Als de inversie verdwenen is, wordt de invloed van de ruwheid weer over een veel dikkere luchtlag verspreid en is dus de afremming per luchtdeeltje geringer. De wind aan de grond zal dus overdag weer in snelheid toenemen, terwijl zij in richting ruimt.

Het tweede verschijnsel dat we bespreken heeft eveneens met de dagelijkse gang van de wind te maken, nl. het *zeewind* verschijnsel. Op plaatsen die niet te ver van de kust liggen kan men in de

zomer op warme dagen regelmatig waarnemen dat er 's middags een wind uit de richting van de zee opsteekt, waarbij het onmiddellijk een stuk koeler wordt. De lucht wordt vaak ook vochtiger en soms drijft er een complete zeemist het land binnen.

Het opsteken van zeewind is typisch gebonden aan de tijd van de dag en treedt op als gevolg van de volgende processen. Bij mooi zonnig weer met sterke insraling warmt het land veel sneller op dan het zeewater. Het land maakt vervolgens de lucht erboven warmer, die daardoor naar boven toe gaat uitzetten. Op enige hoogte boven de grond, zeg 1 km, zal de luchtdruk daardoor hoger worden dan op dezelfde hoogte boven zee. Dit veroorzaakt op die hoogte een luchtstroming van land naar zee. Er verdwijnt dus boven land geleidelijk lucht uit de atmosfeer naar zee. Hierdoor daalt de luchtdruk aan de grond, terwijl die boven het zeeoppervlak juist stijgt. Op zijn beurt veroorzaakt dit laatste dicht bij de grond een luchtstroming van de koele zee naar het warme land: de zeewind. De zeewind zal gemakkelijker het land in komen naarmate het temperatuurverschil tussen land en zee groter is en de snelheid van de tegenwind (d.w.z. het deel van de wind dat afstandig is gericht) geringer. Is de tegenwind, die op mooie zomerdagen meestal aanwezig is (oostenwind!) zeer krachtig dan kan zeewind zelfs niet optreden. Omgekeerd kan zeewind in uit-zonderingsgevallen tot voorbij Utrecht het land indringen. De zeewind neemt later op de dag af, niet alleen omdat de temperatuur boven land lager wordt, maar ook omdat door de draaiing van de Aarde de wind, die samenhangt met het luchtdruk-verschil land-zee, geleidelijk meer evenwijdig aan de kust gaat waaien. Hierdoor draait deze wind aan onze westkust in de loop van de dag van west naar noord. 's Nachts zijn de temperatuurverschillen tussen land en zee omgekeerd en is op zulke dagen de wind bij de kust meestal afstandig.

Het laatste voorbeeld van een dagelijkse gang in het weer is het optreden van mist. Iedereen kent dit verschijnsel uit eigen waarneming. Dichte mist in de vroege ochtend van b.v. een dag in september. Je voelt dat het die dag toch mooi zonnig weer zal worden: warm nazomerweer. Maar daar is nog heel wat voor nodig. De zon moet die mist nog opruimen. Hoe gaat dat proces in zijn werk? Anders dan de meeste mensen denken. Het is nl. echt niet zo, dat de zon zich van bovenaf, al 'afbrandend' een weg baant door de mist. Nee, het begint juist aan de onderkant, aan het aardoppervlak.

Als de zon maar sterk genoeg is (en dat is in september nog wel het geval) dan komt er ook door de dichtste mist nog voldoende zonnestraling om de grond geleidelijk te verwarmen. Deze zonnestraling gaat dwars door de mist heen zonder dat de lucht en de mist er warmer van worden. In de eerste instantie gaat dus alleen de temperatuur van de

grond omhoog. Hierdoor wordt echter ook de lucht die met de warmer wordende grond in aanraking komt iets warmer, zodat de temperatuur van de mistlaag van onderen af gaat toenemen. Dit heeft echter tot gevolg dat de lucht in het alleronderste deel van de mistlaag uitzet en zich vervolgens gaat vermengen met de lucht erboven. Door deze menging gaat de temperatuur in de hele mistlaag omhoog, zodat mistdruppeltjes wat verdampen en het zicht al wat verbeterd. Belangrijker is nog, dat er ook wat lucht wordt meegemengd van *boven* de mistlaag, of, preciezer gezegd, van boven de inversie die op enige hoogte de mistlaag scherp begrenst. Deze lucht is niet verzadigd met waterdamp en bij menging met mist beginnen de mistdruppeltjes snel te verdampen. Hierdoor gaat de mistlaag steeds minder mist bevatten. Gevolg is dat de zon er dan beter door schijnt, de grond sneller warm wordt, de menging van de lucht beter wordt en zich verder naar hogere en drogere lagen uitbreidt, er nog meer mistdruppeltjes kunnen verdampen, waardoor de mist nog dunner wordt en nog meer zonnestraling kan doorlaten enz.

Belangrijke vraag tenslotte is wat er met de zonnestraling gebeurde toen de mistlaag nog maar weinig straling doorliet. Wel, het grootste deel daarvan wordt teruggekaatst de ruimte in, precies zoals een wolk zonnestraling terugkaatst naar het heelal. Mistgebieden zijn op satellietfoto's dan ook erg goed waar te nemen, althans wanneer er zich geen bewolking boven de mist bevindt.

21. Weerverschillen binnen Nederland*

Voor een Amerikaan of een Chinees is Nederland in weerkundig opzicht slechts een provincie van Duitsland of Frankrijk. Wat praten wij dan nog over weerverschillen binnen zo'n klein gebiedje? Toch is het juist dat wij ons om die verschillen bekommeren, niet alleen omdat in een gebied met een grote bevolkingsdichtheid kleine weerverschillen er meer toe doen, maar ook omdat Nederland in een aantal opzichten een interessant proeftuintje voor de 'mesometeorologie' vormt. Mesometeorologie vormt de studie van meteorologische verschijnselen op een schaal van 1 tot 100 km. Eén aspect daarvan is al op verschillende wijze in de vorige paragrafen behandeld nl. de invloed van de Noordzee op ons weer, ofwel die van de overgang zee-land. Dit heeft - zoals wij gezien hebben - een aantal klimaatverschillen in Nederland ten gevolg, maar verklaart toch niet alles. Zo is er ook sprake

* Bedoeld zijn hier de min of meer systematische weerverschillen. Dus niet die, welke voorkomen op een gegeven dag, doordat, vanwege een frontpassage, het westen al regen heeft, terwijl het in het oosten de hele dag nog droog blijft.

van een systematisch onderscheid tussen noord en zuid en niet alleen omdat Zuid-Nederland nu eenmaal wat 'dichter bij de zon' ligt dan Noord-Nederland.

De oorzaak van veel systematische weerverschillen tussen noord en zuid moet vooral gezocht worden in het feit dat Nederland vaak een soort voorkeurplaats is waar fronten, die vanuit het zuiden komen, af worden geremd en blijven liggen. Dit komt vooral in de winter regelmatig voor en hangt samen met de ligging van ons land in het patroon van de westenwinddrift. Het gebeurt dan regelmatig, dat fronten vanuit het zuidwesten, zuiden of zuidoosten tot halverwege ons land opdringen maar dan lange tijd (soms dagenlang) blijven liggen, om tenslotte te verdwijnen of teruggedrongen te worden. Als zo'n front boven Nederland ligt, leidt dit tot grote weerverschillen: in het noorden is het koud met een snijdende oostenwind; in het zuiden zachter en valt langdurig neerslag. De weerkaart van een berucht geval van zo'n slepend front is opgenomen als figuur 25. Hier was sprake van een urenlange zware ijzel, die het verkeer in een groot deel van het land volledig verlamde.

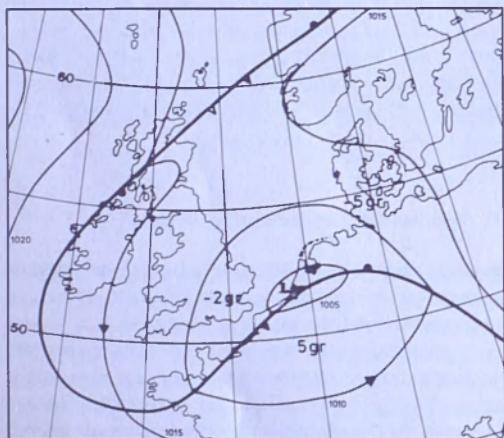


Fig. 25. Weerkaart van 23 januari 1979, 13 uur wintertijd. Een slepend front boven Nederland zorgde voor een langdurige periode van zware ijzel. De temperatuur ten weerszijden van het front is hier en daar aangegeven.

De weerverschillen binnen Nederland die tot nu toe zijn behandeld, zijn alle grotendeels te verklaren uit onze specifieke ligging ten opzichte van de Noordzee, de Atlantische Oceaan en de westenwinddrift. De vraag rijst, of hiernaast ook nog factoren als begroeiing, bebouwing, bodemeigenschappen, ruwheid en dergelijke voor lokale klimaatverschillen kunnen zorgen. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn, maar deze klimaatverschillen zijn meestal maar klein ten opzichte van het land-zee effect. Dit komt ook omdat één van de belangrijkste oorzaken

van lokale klimaatverschillen elders, te weten hoogteverschillen, in Nederland vrijwel niet voorkomen. Toch laat figuur 45 zien, dat zelfs onze geringe bodemverheffingen in Gelderland en Zuid-Limburg al een merkbare invloed hebben op de gemiddelde hoeveelheid neerslag.

De meeste lokale klimaatverschillen in ons land hangen samen met verschillen in bebouwing en begroeiing (ruwheid) en met bepaalde bodemeigenschappen. Hierbij speelt de vochtigheidstoestand, het warmtegeleidingsvermogen, de warmtecapaciteit en het terugkaatsend vermogen voor zonnestraling een rol. Dit geldt zelfs op zeer kleine schaal: iedereen weet dat het op een warme zomerdag boven een asfaltweg veel warmer is dan boven een grasveld.

In het algemeen zijn klimaatverschillen op lokaal niveau maar weinig onderzocht en zijn dus veel dingen maar nauwelijks bekend. Op voor de hand liggende vragen als 'is het waar dat onweersbuiken soms voor een rivier blijven hangen?' of 'regent het windafwaarts van de stad meer dan elders?' – geliefde vragen na meteorologische voordrachten – kan meestal dan ook geen afdoend antwoord worden gegeven.

We volstaan met enkele voorbeelden van verschijnselen waaraan enig onderzoek werd verricht en waarover dus wel iets bekend is.

De rol van het water op de luchtemperatuur werd al nagegaan door Buys Ballot in de vorige eeuw. Hij bekeek de verschillen in maximum- en minimumtemperatuur te Zwanenburg vóór en na de drooglegging van de Haarlemmermeer. Hij vond dat de minimumtemperaturen na inpoldering wat lager waren en de maximumtemperaturen wat hoger. Een te verwachten resultaat, zij het dat de verschillen wel erg klein waren en beperkt bleven tot enkele tienden van graden. In de recente periode vond men vergelijkbaar kleine veranderingen in de temperatuur als gevolg van de afsluiting van zeearmen en indammingen in Zeeland.

In de jaren zestig van deze eeuw werd een poging ondernomen om de invloed van de Zeeuwse wateren op het optreden en op de trekrichting van (onweers)buien te bepalen. Ondanks een grootseepse aanpak kon na enkele jaren waarnemen toch maar weinig stekhoudends worden geconcludeerd. Er werden wel enkele voorlopige aanwijzingen gevonden dat buien bij voorkeur voorkomen in enkele speciale gebieden, o.a. in een strook vlak achter de kustlijn van Zeeuws-Vlaanderen via Walcheren naar Schouwen en langs een lijn lopend van Hulst via Rilland-Bath naar Willemstad.

De rol van de grondsoort en de begroeiing op weer en klimaat is het best onderzocht voor verschijnselen die verband houden met het gedrag van de temperatuur. Hierbij zijn een aantal feiten goed vast komen te staan. Zo vond men bijvoorbeeld dat

de luchtemperatuur op stahoogte in heldere nachten met weinig wind boven gras in alle gevallen lager is dan boven dezelfde grond in onbegroeide toestand. Het verschil bleek gemiddeld 3 graden te bedragen, terwijl verschillen van 5 graden ook voorkwamen. Dicht bij de grond kwamen echter verschillen tot 15 graden voor! Boven begroeiing is de kans op nachtvorst dus veel groter dan boven een kale vlakte.

Verschillen in verdamping, die voortkomen uit verschillen in temperaturen van het aardoppervlak (en op hun beurt weer zijn terug te voeren op verschillen in grondsoort en begroeiing) kunnen tegenwoordig worden aangetoond door zorgvuldige interpretatie van stralingsbeelden die met satellieten zijn waargenomen. Figuur 26 geeft de resultaten van een dergelijk onderzoek weer. Deze figuur geeft een fraai beeld van de kleinschaligheid van het lokale klimaat: over een afstand van één kilometer kunnen al aanzienlijke verschillen optreden.



Fig. 26. Verdamping in Noord-Holland, gekarteerd met behulp van het HCMM-satellietbeeld van 17 juli 1978. De verschillen in verdamping zijn terug te voeren op lokale verschillen in temperatuur. De figuur geeft dus een beeld van weverschillen op zeer kleine schaal, meestal veroorzaakt door verschillen in bodem-eigenschappen. Hoe donkerder het gebied, des te groter de verdamping. (Naar een studie van W. Klaassen).

Zweefvliegers kunnen, om lang in de lucht te blijven, gebruik maken van stijgwinden die ontstaan als de wind over een obstakel (als b.v. de duinen) strijkt. De meest gebruikte vorm van optilling is echter de *thermiek*, de opstijgende warme luchtbellen die ontstaat onder invloed van de zonnewarmte die door het aardoppervlak aan de lucht wordt afgegaven. Iedere zweefvlieger weet dat zulke thermiekbellen bij voorkeur ontstaan op plaatsen waar, bij een absoluut onstabiele atmosfeer (een atmosfeer waarin de temperatuur minstens één graad per 100 meter met de hoogte afneemt), ook temperatuurveranderingen aan de grond voorkomen. Zulke temperatuurverschillen vergemakkelijken namelijk

het loslaten van de thermiekbellen, omdat naburige lucht van iets lagere temperatuur dan onder een hoeveelheid warmere lucht kan schuiven. Hierdoor wordt de warme lucht iets van de bodem opgetild waarna hij verder ongehinderd naar boven kan stijgen. De benodigde temperatuurverschillen aan de grond zullen zich vooral daar voordoen waar verschillende grondsoorten of begroeiingen aan elkaar grenzen of daar waar de bodemvochtigheid van plaats tot plaats sterk verschilt.

De rol van de stedelijke bebouwing op weer en klimaat ter plekke is in Nederland het meest uitvoerig onderzocht voor de stad Utrecht. Een omvangrijke meetcampagne uitgevoerd in het begin van de jaren zeventig leverde een goed beeld op van het 'warmte-eiland' dat een stad als Utrecht t.o.v. de omgeving vormt. Het komt er op neer dat het in de stad in feite het hele jaar door iets warmer is dan op het platteland. De verschillen zijn 's nachts het grootst en kunnen bij heldere hemel en weinig wind dan zelfs vele graden bedragen.

Voor zulke nachten is uit onderzoek voor verschillende grote steden in Europa gebleken dat het temperatuurverschil ΔT tussen stad en omringende omgeving een eenvoudig verband vertoont met de grootte van de stad (gemeten naar het aantal inwoners N). Deze relatie luidt $\Delta T = 2 \log N - 4$, waaruit dus volgt dat een stad met 100.000 inwoners ongeveer zes graden warmer is dan het omringende platteland; een miljoenenstad is acht graden warmer dan zijn omgeving. Interessant is dat het 'warmte-eiland' effect in de zomer iets groter is dan in de winter, wat er op wijst dat de oorzaak niet alleen moet worden gezocht in de warmteproductie van de stad tijdens het stookseizoen. De belangrijkste oorzaak van het warmte-eiland effect is vermoedelijk eerder gelegen in de enorme warmtecapaciteit van de stedelijke bebouwing en de straten, waardoor overdag veel zonnewarmte kan worden opgeslagen, die 's nachts weer vrijkomt; een andere factor is de geringe verdamping in de stad. Regenwater wordt immers door rioleringen snel afgevoerd zodat er weinig te verdampen valt. Hierdoor kan de beschikbare zonnewarmte dan ook vrijwel geheel ten goede komen aan directe verwarming en loopt de temperatuur gemakkelijk op. Om de stad een steenwoestijn te noemen is dus klimatologisch gezien zeer juist.

22. Zó ontstaat dus ons weer! (samenvatting)

Ons weer ontstaat door twee oorzaken: de algemene stromingen in de atmosfeer en de land-zee verdelingen. De eerste zijn verantwoordelijk voor het algehele beeld van ons grillige klimaat; de tweede bepalen de uiteindelijke vorm van het weer dat bij de stromingen hoort.

De systematische trekken van ons klimaat zijn voornamelijk het gevolg van de ligging van ons land halverwege de evenaar en de Noordpool, midden in een wereldomspannende westenwinddrift die als een tol rond de pool draait. De gemiddelde vorm van deze westenwinddrift wordt bepaald door de voorkeurposities van de slingeringen erin, dus van zijn lange golven. Omdat Canada een voorkeurpositie voor troggen vormt, ligt voor ons de ingang van de westenwinddrift min of meer verankerd boven het Amerikaanse continent.

De veranderlijkheid van ons weer wordt in de eerste plaats veroorzaakt doordat lange golven zich ook kunnen verplaatsen en het patroon van de westenwinddrift zich dus voortdurend kan wijzigen. De ene maal is dit patroon zodanig dat er koude lucht wordt aangevoerd; de andere keer is er sprake van aanvoer van warme lucht. Zulke wisselingen volgen



Plaat 12. Met behulp van satellieten kunnen ook veranderingen in de atmosfeer op kleinere schaal worden waargenomen. Op deze foto is de uitbarsting van de Etna op Sicilië van 9 augustus 1979 te zien.

elkaar op in een grillige volgorde, maar hebben een typische tijdschaal van een week.

Met de westenwinddrift worden bovendien kleinere systemen meegevoerd (depressies, fronten en hogedrukgebieden), die in het bovenluchtpatroon slechts zichtbaar zijn als kleine golfjes. De passages van deze systemen voegen aan de week-tot-week grilligheid van het weer nog een dag-op-dag grilligheid toe.

Op dit hele gebeuren heeft de toestand van ons land geen enkele invloed. De wereldomvattende luchstromingen in de atmosfeer die ons weer veroorzaken zijn zelfs voor een groot deel vrij, wat wil zeggen dat ze maar relatief weinig door de land-zee verdeling op Aarde beïnvloed worden. De vorm en uitgestrektheid van de westenwinddrift is echter wel

gevoelig voor de hoogte van de zon: in de loop van de seizoenen verandert de afmeting van de westenwinddrift waarbij ook de voorkeurposities van de lange golven zich wijzigen. Naast de week-op-week en dag-op-dag grilligheid vertoont het weer hierdoor ook een periodieke regelmaat, die wij kennen als de jaarlijkse gang.

Ofschoon de land-zee verdeling uiteindelijk maar van betrekkelijk weinig invloed is op de vorm van de westenwinddrift zelf, bepaalt de ondergrond wel in hoge mate het karakter van het bijbehorende weer. De positie van Nederland ten opzichte van de oceaan en de Noordzee, aan de kust van Europa, heeft een gematigd klimaat ten gevolge. De nabijheid van de Noordzee veroorzaakt bovendien systematische weersverschillen tussen de kust en het binnenland, waarbij de kust karakteristieke weersverschijnselen kent die in het binnenland afwezig zijn.

Door de dagelijkse opwarming en de nachtelijke afkoeling wijzigt de temperatuur van de ondergrond zich in de loop van een etmaal voortdurend. Hierdoor 'ziet' de westenwinddrift overdag en 's nachts een ander type bodem, waardoor het verband tussen luchtstroming en weer eveneens verandert. Dit voegt een tweede regelmaat aan de weersverschijnselen toe, die wij kennen als de dagelijkse gang.

Tenslotte kunnen lokale verschillen in bodemgesteldheid, begroeiing en bebouwing systematische verschillen in weer ten gevolge hebben. Deze verschillen zijn echter klein ten opzichte van de bovengenoemde effecten en tasten hierdoor het algemene beeld van het weer (week-op-week en dag-op-dag grilligheid met jaarlijkse en dagelijkse regelmaat, alsmede systematische verschillen tussen kust en binnenland) nauwelijks aan.

HOOFDSTUK 3

Ons weer en klimaat

23. Weer, weerelementen en klimaat

Het weer komt op de mens feitelijk over als een grote verzameling van verschijnselen, waarbij soms het ene, en dan weer het andere verschijnsel bepaalt met welk weertype wij te maken hebben. Zo spreekt men bijvoorbeeld van een warme, een schrale, een waterkoude of een gure dag, van een drukkende, onweersachtige dag, een heldere, frisse dag met buien of van een sombere, miezerige regendag. Zo'n beschrijving komt meestal voldoende duidelijk over, omdat hierbij alles is opgenoemd wat op zo'n moment belangrijk en typerend is, maar objectief is het zeker niet. Wil men het weer echt goed vastleggen dan ontkomt men er niet aan het op te splitsen in aparte onderdelen, de zgn. 'weerelementen', en deze alle systematisch bij te houden – ook de elementen die op een bepaald moment helemaal niet van belang zijn voor de subjectieve ervaring van het weer. In plaats van een beschrijving van het verloop van het totale weer, levert dit het verloop van een

aantal losse weerelementen op, die samen geacht worden in alle omstandigheden een goed beeld te geven van het weer als geheel.

De weerelementen die in beschouwing worden genomen, hebben in het algemeen betrekking op verschijnselen die ons en onze omgeving in mechanische, thermische of eventueel elektrische zin kunnen beïnvloeden, of die van belang zijn voor de vochthuishouding of voor de straling van de zon op Aarde. Dit zijn dus bijvoorbeeld luchttemperatuur, luchtvochtigheid, wind, neerslag(vormen), bliksem(aantallen), zonneschijnduur, bewolking, het zicht, enzovoort. Al deze elementen vertonen van dag tot dag de grilligheid die zo kenmerkend is voor het weer zelf, maar over een lange tijd gemeten blijken de wisselingen ervan toch voor iedere plaats op Aarde binnen bepaalde grenzen te blijven. Het gemiddelde gedrag van zulke grootheden, te zamen met de grenzen waartussen ze van dag tot dag of van jaar op jaar kunnen spreiden, noemt men het *klimaat* ter plaatse.

De leer van de eigenschappen van weerelementen van plaats tot plaats noemt men de *klimatologie*. Meer specifiek geformuleerd houdt de klimatologie zich bezig met het bestuderen van gemiddelden en variaties van weerelementen, uitgaande van de waarnemingen die op vele plaatsen gedurende tientallen jaren zijn verricht. Aan de hand van deze

Plaat I3. Nederland is bekend om zijn fraaie wolkenformaties. Hier verlichten de laatste stralen van de rode, ondergaande zon het bovenste deel van een wolk (foto P. P. Hattinga Verschure).



waarnemingsreeksen kan men grootheden als de (gemiddelde) variatie over een etmaal ('dagelijkse gang') of over een jaar ('jaarlijkse gang') in beschouwing nemen, extreme situaties (stormen, strenge winters, hittegolven, droogte etc.) bestuderen of schommelingen van het klimaat op tijdschalen tot enkele tientallen jaren. Ook lokale klimaatveranderingen als gevolg van bijvoorbeeld inpoldering, bebouwing of een verandering in begroeiing (het kappen van een groot bos) kunnen tot uiting komen in de waarnemingen die tot nu toe zijn verricht. De invloed hiervan is evenwel slechts in een klein gebied merkbaar en hangt zeker niet samen met een systematische verandering in de luchtstromingen rond de Aarde (zie ook paragraaf 18). Pas als dit laatste het geval is, dan is er sprake van een echte klimaatverandering. Deze veranderingen voltrekken zich echter maar zo geleidelijk, dat zij niet of nauwelijks uit de waarnemingsreeksen blijken. Anders gezegd: op tijdschalen van een mensenleven kan men zulke klimaatveranderingen gevoeglijk buiten beschouwing laten. In dit boek kwamen ze apart aan de orde in hoofdstuk 1.

Het aantal weerelementen dat men bij klimaatbeschrijving in beschouwing kan nemen, laat zich in principe bijna onbeperkt uitbreiden tot alle grootheden waarvan het optreden door het weer bepaald wordt. Zo kan men een klimatologie van bijvoorbeeld regenbogen opstellen, d.w.z. de landelijke of wereldwijke kans op dit verschijnsel presenteren. De invloed van deze verschijnselen op onze omgeving is echter zeer gering, zodat een studie hiervan weinig praktische waarde heeft. Anders is het echter gesteld met bijvoorbeeld de waterstanden langs de kust of op de rivieren, of met de verdeling van ijsbergen in de oceaan. Zulke grootheden worden toch niet tot de weerelementen gerekend, maar eerder gezien als een gevolg van het weer, – ze zijn meestal nauw gekoppeld aan wind, neerslag of temperatuur. In de praktijk heeft men er voor gekozen, het weer op te splitsen in een beperkt aantal *basiselementen* die samen geacht worden een vrijwel volledig beeld te kunnen geven van het totaal. Dit zijn de elementen die hierboven reeds zijn genoemd: temperatuur, luchtvuchtigheid, wind, enzovoort. Hiernaast bestaan er ook nog enkele 'niet voelbare' elementen, zoals luchtdruk, die een belangrijke rol spelen bij de dagelijkse weervoorschelling. Voor klimaatbeschrijving is zo'n element echter van minder belang en wordt hier dan ook verder niet behandeld.

Zoals wij in het vorige hoofdstuk hebben gezien, blijken er zelfs in een klein land als het onze nog flinke verschillen te kunnen bestaan in het klimaat. De oorzaak hiervan laat zich gemakkelijk raden: wij bevinden ons op de grens van land en zee, en naarmate men dichter bij de kust woont zal de invloed van de zee zich sterker doen gevoelen. Zee



Plaat 14. Doordat Nederland aan één kant grenst aan de zee, kent ons kleine land toch grote verschillen in klimaat.

is in klimatologisch opzicht geheel verschillend van land: het zeeoppervlak is gladder waardoor het er harder waait en watermassa's verwarmen moeilijker dan land. De grens tussen land en zee is weliswaar zeer scherp, maar in ons land, met een overwegend westelijke wind, is de invloed van de zee vaak in het gehele land merkbaar. De luchtmassa's nemen op hun tocht boven land echter steeds meer de temperatuur van de ondergrond aan en bovendien wordt de beweging door de ruwheid van het land ook nog geleidelijk afgeremd. Hierdoor wordt de invloed van de zee steeds minder uitgesproken naarmate men verder landinwaarts komt. Nederland is echter zo klein, dat de wind altijd nog gemakkelijk in staat blijkt de algemene eigenschappen van het klimaat boven zee in het gehele land te doen gevoelen – zij het aan de kust sterker dan in het binnenland. Zie ook paragraaf 18-19.

Uit deze overwegingen blijkt alweer, dat van alle elementen de *wind* een van de belangrijkste is. In die zin tenminste, dat het klimaat in hoge mate door de windrichtingen en -snelheden wordt bepaald, en andere elementen (ook temperatuur e.d.) vaak als een gevolg hiervan kunnen worden gezien. In de volkswerkunde is dit ook een bekend feit, en weet men bijvoorbeeld dat in de zomer bij oostenwind de kans op droog en warm weer groot is. Anderzijds is er natuurlijk nog een andere, zeer belangrijke factor die bepalend is voor het ontstaan van het weer, namelijk de insraling van de zon. Primair beïn-

vloedt deze de luchtemperatuur, maar die is weer gekoppeld aan bijna alle andere weerelementen: bijvoorbeeld aan de bewolking, de windsnelheid en de kans op mist, onweer en buien. Zoals de luchstromingen in de atmosfeer optreden als hervorder van de luchtmassa's en aldus de grilligheid in ons weer veroorzaken, zo is de insratting van de zon in feite de motor achter de periodieke processen in de atmosfeer en zorgt dus weer voor een zekere regelmaat in vrijwel alle weerelementen, die wij kennen als de dagelijkse en jaarlijkse gang (zie ook paragraaf 17 en 20).

Nu is het zo, dat de *jaarlijkse gang* in het weer een geleidelijk karakter draagt, en de grilligheden van het weer van dag tot dag of van week tot week veel sterker zijn. Hierdoor wordt in het dagelijks leven de jaarlijkse gang enigszins gecamoufleerd. Omgekeerd wordt de *dagelijkse gang* in de weerelementen, en dus van het weer als geheel, meestal juist wel erg sterk aan den lijve ervaren. Dit komt niet alleen omdat deze tijdschaal zo kort is en parallel loopt met ons biologisch dag-nacht ritme, maar vooral ook omdat de wind in één etmaal doorgaans nog niet de kans heeft een sterke grilligheid aan de weerelementen toe te voegen. Wij worden dus in de eerste plaats met het dagelijkse ritme van het weer geconfronteerd, en pas in tweede instantie met de grilligheden en het jaarlijkse ritme. In hoofdstuk 4 is beschreven, hoe sterk de dagelijkse en jaarlijkse gang voor de verschillende weerelementen kan zijn.

24. Het zeeklimaat van Nederland

Overal in Nederland ondervindt het weer zowel de invloed van de nabijheid van de zee in het westen en noorden, als de aanwezigheid van een groot continent in het oosten en zuiden. De mate waarin dit gevoeld wordt verschilt van plaats tot plaats, en bepaalt de mate van zeeklimaat die ter plekke heerst; vlak aan de kust verwacht men natuurlijk de sterkste invloed van de zee. Voor de beschrijving van het klimaat van Nederland is het van belang te weten hoe ver landinwaarts de invloed van de zee reikt.

Om dit na te gaan, kan men als volgt te werk gaan. Een belangrijk kenmerk van water is zijn traagheid bij opwarming, dit ten gevolge van de grote warmtecapaciteit. Inderdaad blijkt het zeeoppervlak gemiddeld pas ongeveer 65 dagen na de langste dag (21 juni) zijn hoogste temperatuur te bereiken, dat wil zeggen rond 25 augustus. Als gevolg hiervan bereikt ook de lucht die zich boven de zee bevindt betrekkelijk laat in het jaar zijn hoogste temperatuur, namelijk rond 15 augustus. Dit gebeurt dus, als de zon al lang minder kracht heeft, want in augustus staat hij lager dan in juni en schijnt korter. Boven een groot continent warmen lucht-

massa's via hun ondergrond echter veel sneller op en bereiken hun hoogste temperatuur gemiddeld al veel eerder: in het extreemste geval (bijvoorbeeld Siberië) ongeveer 25 dagen na de langste dag, dus rond 15 juli. Natuurlijk kunnen deze warmste dagen van jaar tot jaar veel eerder of later vallen, maar als men de temperaturen over bijvoorbeeld 30 jaar middelt dan vindt men deze datum.

Hoe sterker de invloed van de zee, des te later valt gemiddeld de warmste dag. Met andere woorden: de *vertraging* van de warmste dag ten opzichte van de langste dag in het jaar is een maat voor de invloed van de zee op het klimaat, en bepaalt dus de mate van *maritimiteit* of *continentaliteit* van het klimaat ter plaatse, d.w.z. de mate waarin er een zee- resp. landklimaat heerst.

In figuur 27 is deze vertraging uitgezet voor Nederland. Het blijkt dat de vertraging (het 'naijlen') snel

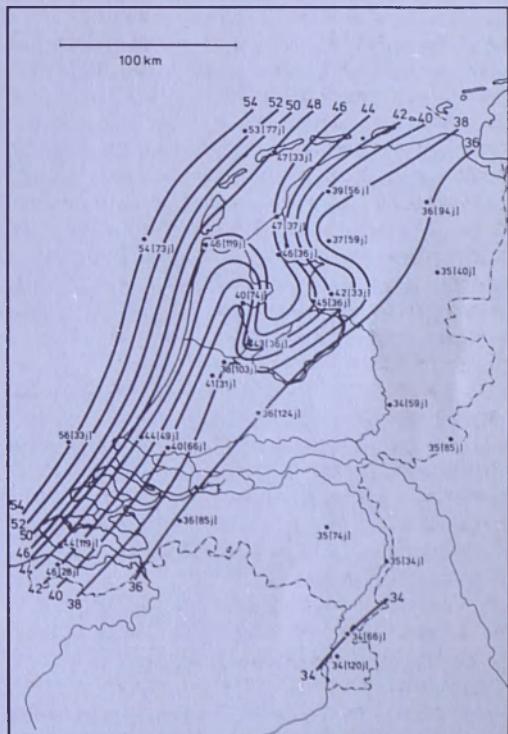


Fig. 27. Het zeeklimaat van Nederland. De getallen geven het tijdsinterval tussen de gemiddeld warmste dag en de langste dag (21 juni) aan. Hoe groter het getal, des te sterker wordt het klimaat bepaald door de aanwezigheid van de zee en des te maritiemer is het klimaat; als het getal klein is, dan is er meer sprake van een landklimaat (continentaal klimaat). De lijnen verbinden plaatsen waar het klimaat in even sterke mate maritiem is. Vlak aan zee heerst er een kustklimaat (paragraaf 19), dat nog tot 50 km landinwaarts merkbaar blijft. Verder het land in verschilt de invloed van de zee maar weinig van plaats tot plaats. Tussen haakjes is de lengte van de gebruikte meetreeks in jaren aangegeven.

minder wordt als men zich van de kust verwijdt, tot ongeveer 50 km landinwaarts. De continentaliteit van het klimaat neemt dus snel toe in deze strook. Verder het binnenland in is de invloed van de zee natuurlijk nog wel aanwezig, maar varieert niet sterk meer van plaats tot plaats. Tussen Utrecht en Eindhoven is maar nauwelijks verschil: zij hebben in vrijwel even sterke mate een 'landklimaat'. Omgekeerd kan men op zee nog goed de aanwezigheid van land in de buurt merken: tot zo'n 50 km uit de kust heerst er ook boven de Noordzee beslist nog steeds geen 'puur' zeeklimaat. Terwijl een vertraging van ongeveer 60 dagen overeenkomt met een volledig zeeklimaat en een vertraging van 25 dagen met een zuiver landklimaat, blijkt een vertraging van 35 dagen neer te komen op een klimaat dat ruwweg hiertussen in zit.

De eigenschappen van land- en zeeklimaat zijn in tabel III schematisch weergegeven.

Het verband tussen de grootheden in tabel III is vrij sterk, dat wil zeggen dat een bepaalde waarde van de vertraging in Nederland overeenkomt met bijv. een bepaalde jaarlijkse gang in de temperatuur. Nederland is echter maar klein ten opzichte van de grootschalige weersystemen. Als men de vertraging voor andere plaatsen op Aarde bepaalt dan is dit nog steeds een maat voor de maritimiteit of continentaliteit van het klimaat ter plekke en tabel III blijft dus geldig, maar de verbanden kunnen dan, afhankelijk van de plaats, veel duidelijker of zwakker zijn dan voor Nederland.

In paragraaf 18 en 19 zagen wij al, dat er in ons land daadwerkelijk een zeer uitgesproken verschil bestaat tussen het klimaat van de kustprovincies en dat van het binnenland. Dit verschil is, vooral wat betreft wind en temperatuur, zelfs zodanig groot, dat men het bij een reis van de kuststreek naar het binnenland bijna van dag tot dag ook werkelijk aan den lijve kan ervaren.

25. De rol van extremen en normalen

Figuur 28 en 29 tonen het verloop van resp. de maximum- en minimumtemperatuur in De Bilt, zoals die zijn gemeten in het tijdvak 1901-1980. De middelste kromme geeft voor iedere dag het gemiddelde van deze grootheden aan; deze temperaturen noemt men wel de *normaal* voor de desbetreffende dag in het jaar. De sterk slingerende krommen hierboven en hieronder, verbinden de hoogste resp. laagste waarden van iedere dag, die gemeten zijn in deze reeks van 80 jaar. Wat opvalt in de grafieken is de afwezigheid van sprongen in de lijn van de gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur. Blijkbaar zijn er geen data aan te wijzen die er wat

betreft de temperatuur werkelijk uitspringen – dit in tegenstelling tot wat er in de volksmond wel eens wordt beweerd (zie paragraaf 29). De enige echt duidelijke sprong zien wij optreden in de onderste lijn in figuur 29 (de laagst gemeten minima), die tussen half februari en eind maart een scherpe stijging vertoont. Hieruit blijkt dat het onwaarschijnlijk is om na half februari nog een echte koudegolf te krijgen.

Het is nodig even stil te staan bij de eigenschappen van de lijnen in figuur 28 en 29. Het gemiddelde, dat tot stand is gekomen door alle maxima resp. minima op een bepaalde datum te middelen, slingert door het jaar heen, en vertoont van dag tot dag maar betrekkelijk kleine fluctuaties. Zou men de waarnemingsreeks langer maken, dan zou de kromme bij constant klimaat op zijn plaats blijven, maar de fluctuaties zouden nog kleiner worden. De lijn wordt dus alleen wat gladder.

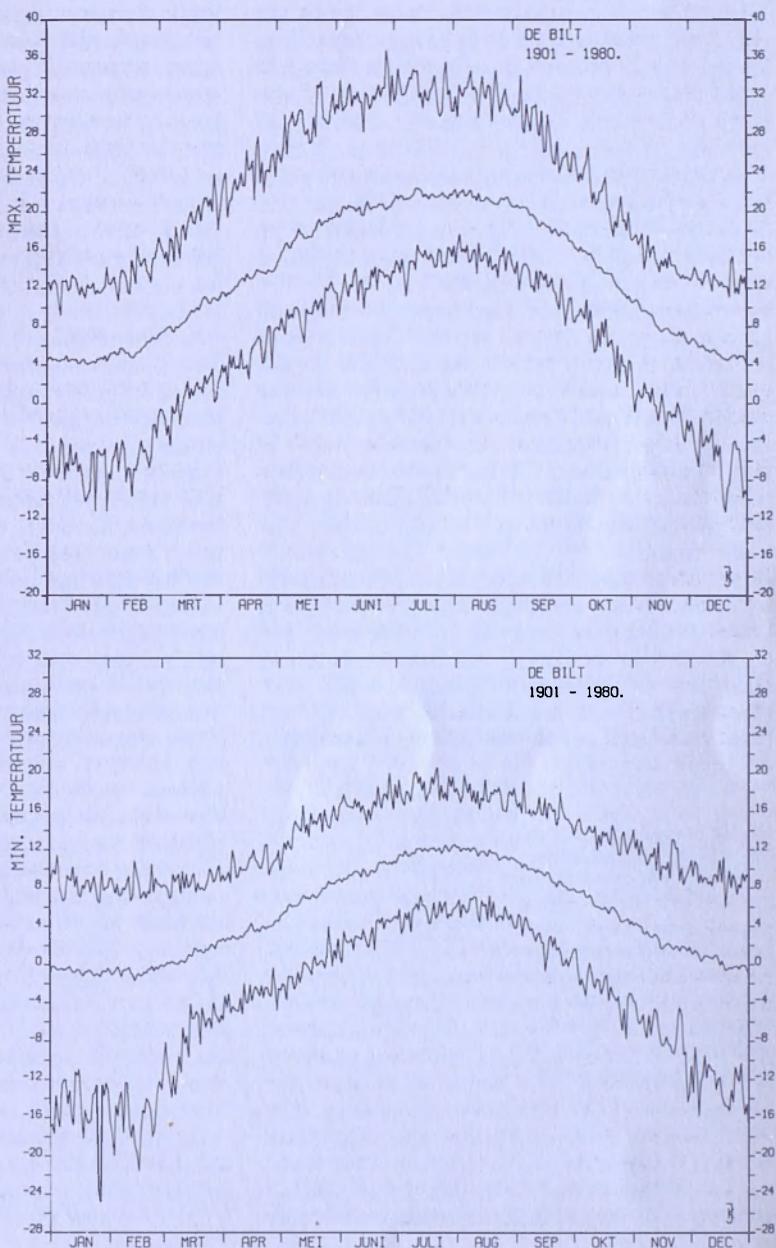
Anders is het met de lijnen die de hoogste en laagste gemeten waarden aangeven. Deze stellen de 'records' voor die voor die dag in 80 jaren zijn opgetreden. Het is duidelijk dat als de waarnemingsreeks wordt uitgebreid, er een groot aantal van deze records zal sneuvelen. Natuurlijk is de kans op het breken van een record dat niet erg scherp staat het grootst. Het gevolg is dat bij een langere reeks deze 'recordlijnen' verder van de gemiddelde lijnen af komen te liggen, en dat ze bovendien wat minder sterk van dag tot dag zullen fluctueren. Als de waarnemingsreeks verlengd zou worden tot bijvoorbeeld 160 jaar, dan zullen de extreme waarden ongeveer één graad verder van de gemiddelde lijnen komen te liggen; daar waar de fluctuaties in de recordlijnen erg groot zijn, gaat dit nog wat sneller. Uit dit alles blijkt wel, dat een record maar een zeer betrekkelijk begrip is en sterk afhangt van de lengte van de waarnemingsreeks die men beschouwt.

Zoals gezegd, noemt men de gemiddelde waarde van een bepaalde groothed op een bepaalde dag de '*normaal*' voor die dag. Aan figuur 28 en 29 ziet men, dat deze normaal niet altijd precies tussen de hoogst en laagst gemeten waarden in hoeft te zitten. In de zomer bijvoorbeeld ligt de 'normale' maximumtemperatuur duidelijk dichter bij de laagst gemeten maximumtemperatuur. Dit kan men als volgt begrijpen. In de zomer is de temperatuur van de atmosfeer boven ons al behoorlijk hoog, terwijl ook het Europese vasteland overdag flink opgewarmd wordt door de hoogstaande zon. Het koelste gebied om ons heen is de zee, zodat de koudste dagen ontstaan bij een noordelijke wind van zee. Het is dan evenwel onmogelijk, dat de maximumtemperatuur beneden de temperatuur van de noordelijke Noordzee blijft. Er is dus sprake van een scherpe begrenzing naar beneden voor de temperatuur. Naar boven speelt zoets echter niet, zodat als

TABEL III. Verschil tussen land- en zeeklimaat.

landklimaat (continentaal)	zeeklimaat (maritiem)
grote jaarlijkse en dagelijkse gang in temperatuur, dus grote kans op extreme temperaturen.	kleine jaarlijkse en dagelijkse gang in temperatuur, dus kleine kans op extreme temperaturen.
warmste resp. koudste dag valt gemiddeld kort na midzomer of midwinter.	warmste resp. koudste dag valt gemiddeld laat na midzomer of midwinter.
grootste onweerskans in het jaar betrekkelijk vroeg na midzomer met grootste kans in de middag.	grootste onweerskans in het jaar betrekkelijk laat na midzomer met grootste kans in da avond en nacht.
weinig wind, maar met uitgesproken dagelijkse gang.	veel wind, dagelijkse gang erin klein.

Fig. 28-29. Het verloop van de maximumtemperatuur (boven) en de minimumtemperatuur (onder) voor De Bilt door het jaar heen. De middelste kromme in de figuren geeft het gemiddelde verloop aan (de 'jaarlijkse gang'). De bovenste lijn verbindt de hoogst gemeten waarden van iedere dag in de periode 1901-1980 en de onderste lijn verbindt de laagst gemeten waarden. Deze geven dus de jaarlijkse gang van de 'dag-records' weer.



de zon schijnt bij een aanvoer van warme lucht uit Europa, de temperatuur zeer sterk kan oplopen. In de winter is de situatie precies omgekeerd, want hier stelt de temperatuur van het zeewater juist een bovengrens aan de maximumtemperatuur. Inderdaad laat figuur 28 hier kleinere uitschieters naar boven zien.

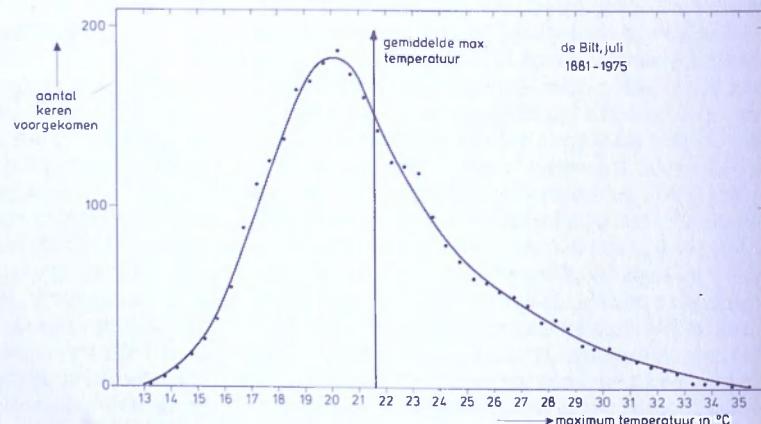
In figuur 30 is dit verschijnsel wat betreft de zomer geïllustreerd aan de hand van de temperatuurverdeling in juli. Men ziet dat deze verdeling als gevolg van de begrenzing naar onderen (rechtszijdig) *scheef* is, wat wil zeggen dat de top van de kromme optreedt bij een temperatuur die lager is dan het gemiddelde. Bovendien is er een lange staart in de richting van de hogere temperaturen, die nogmaals aangeeft dat de kans om ver beneden het gemiddelde uit te komen kleiner is dan de kans op een zeer hoge temperatuur. In dit opzicht is de term 'normaal' wat ongelukkig gekozen, omdat men dan eerder de neiging heeft aan de top van de curve in figuur 30 te denken, die immers de grootste kans op optreden weergeeft. Het is beter om consequent te spreken van *gemiddelde* waarden.

Terwijl gemiddelden van weerelementen vast liggen, hebben wij gezien dat een extreem eigenlijk maar een relatief begrip is. Toch is juist de studie hiervan van groot praktisch belang, omdat die een idee kan geven hoe groot de kans is dat een bepaald weerelement boven of beneden een bepaalde *grens* uitkomt. Zulke gegevens zijn bepalend voor uiteenlopende zaken als waterhuishouding (kans op extreme neerslaghoeveelheden), dijkconstructies (extreme waterstanden), landbouw (droogte, nachtvorst), constructie van bouwwerken (wind), recreatie (wind, wolken en temperatuur), verkeer (mist, gladheid, windstoten) enzovoort. Kenmerkend voor de klimatologie is, dat zij wel een uitspraak kan doen over de gemiddelde tijdsduur tussen twee gebeurtenissen van dezelfde aard, maar *niet* het tijdstip aan kan geven waarop zoets uiteindelijk

gebeurt. Bij dit alles moet men bovendien in het oog houden, dat wij hier in Nederland te maken hebben met een gematigd zeeklimaat, zodat ook onze extremen 'gematigd' zijn: wat bij ons extreem is, kan voor een ander land volkomen normaal zijn. Werkelijke extremen moet men elders zoeken: in de woestijnen, de subtropen, of de poolstreken op Aarde, of, in nog veel sterker mate, op andere planeten. Zie ook hoofdstuk 5.

Het is duidelijk, dat de vorm van klimatologische krommen als het temperatuurverloop in figuur 28 en 29 door veel meer factoren bepaald wordt dan alleen de zonshoogte. Sommige ervan leest men direct uit deze figuren af. Zo zijn koele dagen in de zomer doorgaans gekenmerkt door wind van de Noordzee en veel bewolking; in zo'n situatie is de temperatuur van het zeewater ook in het binnenland in hoge mate bepalend voor de maximumtemperatuur. Op deze dagen heerst er dus eigenlijk in sterker mate een zeeklimaat boven Nederland dan in andere situaties. Als men de gemiddelde jaarlijkse gang van zulke zeer koele dagen bekijkt (de onderste kromme in figuur 28), dan zien wij inderdaad dat zijn top later in het jaar valt dan dat van het gemiddelde. Voor De Bilt is de vertraging in deze situatie ongeveer 45 dagen in plaats van 35 dagen; op koele dagen is het Biltse klimaat dus vergelijkbaar met het gemiddelde klimaat in Den Helder (zie figuur 27). Verder merken wij op, dat de onderste kromme in figuur 28 en 29 voor de zomer maar weinig fluctuaties vertoont. Zoals wij echter hierboven al zagen, wordt de temperatuur in de zomer naar beneden toe sterk begrensd door die van het zeewater om ons heen. Omdat die maar weinig schommelt, zijn ook de onderste temperatuurkrommen betrekkelijk glad. In dit gedeelte van de grafieken is het dus voornamelijk de zeewatertemperatuur die de uiteindelijke vorm ervan bepaalt – in andere stukken van figuur 28 en 29 zijn andere factoren weer doorslaggevend.

Fig. 30. Aantal kerken, dat in juli een bepaalde maximumtemperatuur is voorgekomen in De Bilt, 1881-1975. Deze verdeling is (rechtszijdig) scheef, d.w.z. dat de kans op uitschieters naar boven groter is dan de kans op uitschieters naar beneden. Hierdoor valt ook de gemiddelde maximumtemperatuur niet samen met de top van de kromme.



Het optreden van een extreem in een bepaald element is vaak in meer dan één opzicht bijzonder. Uit het bovenstaande is namelijk af te leiden, dat dit in de meeste gevallen alleen maar kan gebeuren als hierbij ook andere elementen optimaal meewerken. Voor extreme temperaturen is het bijvoorbeeld niet alleen noodzakelijk dat de temperatuur van de aangevoerde lucht al zeer uitgesproken is, maar speelt ook de bedekkingsgraad van de hemel en de luchtvuchtigheid een doorslaggevende rol. Deze laatste factor is zelfs belangrijker dan men op het eerste gezicht zou denken, omdat een hoge luchtvuchtigheid zowel remmend werkt op de nachtelijke afkoeling (in plaats van temperatuurdaling treedt dan mistvorming op) als op de temperatuurstijging overdag – dit laatste omdat de aan de grond opgewarmde lucht omhoog kan stijgen en dan voor wolkenvorming zorgt, waarbij de zonnewarmte aan de hogere luchtlagen in plaats van aan de lucht vlak bij de grond ten goede komt. De luchtvuchtigheid werkt dus als een begrenzer voor de temperatuur, zodat het optreden van een extreme temperatuur eveneens iets zegt over de vochtigheid.

Koppelingen tussen weerelementen, zoals hier beschreven, spelen niet alleen een rol bij extremen, maar ook bij ‘gewone’ situaties. Al splitst men het weer op in elementen, men kan deze meestal toch niet onafhankelijk van elkaar beschouwen en moet zich steeds weer realiseren dat ze een deel van een groot, samenhangend geheel vormen. Uit de volgende paragraaf zal blijken, hoe sterk deze samenhang wel kan zijn.

Tenslotte nog het volgende. In klimatologische overzichten worden de opgetreden waarden van temperatuur, zonneschijn en neerslag vaak vergeleken met de ‘normaal’. Dit is echter een zuiver rekenkundig gemiddelde van het betreffende element, los gezien van de andere. Een dag waarop de ‘normale’ hoeveelheid regen is gevallen, terwijl ook wind, zonneschijn en temperatuur ‘normaal’ zijn, moet men zeker niet beschouwen als een gewone, veel voorkomende dag voor de tijd van het jaar: in ons wisselvallige klimaat met zijn vele mogelijkheden zijn er heel wat weertypen op te noemen die minstens even vaak zullen voorkomen. In een aantal gevallen leidt de koppeling tussen de elementen er zelfs toe, dat bepaalde ‘uitzonderlijke’ weertypen minder zeldzaam zijn dan het boven genoemde ‘normale’ weertype. Zo is bijvoorbeeld de kans op een droge en zonnige dag door zo’n koppeling bijna twee keer groter dan die zonder die koppeling zou zijn. In een jaar treft men hierdoor zelfs aanzienlijk meer van zulke dagen aan dan dagen waarop zowel neerslaghoeveelheid als zonneschijn ‘normaal’ zijn! De term normaal moet men dus ook bij weertypen met grote voorzichtigheid gebruiken: de vertaling ervan in ‘gewoon’ weer is zelfs onjuist.

26. De samenhang tussen weerelementen; de aangenaamheid van het weer

Figuur 31-32 laat nogmaals het verloop van de maximum- en minimumtemperatuur voor De Bilt zien. In de grafiek van de maximumtemperatuur zijn nu echter twee extra lijnen getekend, namelijk één voor het gemiddeld maximum op *zeer zonnige* dagen en één voor *zonloze* dagen. Voor de minima is hetzelfde gedaan: één voor *heldere* en één voor *bewolkte* nachten. Onder een zeer zonnige dag verstaan we een dag waarop de zon minstens 80% van de tijd dat hij boven de horizon staat ook heeft geschenen; bij een zonloze dag heeft de zonneschijnmeter helemaal geen zon gemeten. ’s Nachts werkt een zonneschijnmeter natuurlijk niet, zodat het bepalen van een heldere of bewolkte nacht indirect moet gebeuren. In de figuur is aangenomen, dat de nacht tussen twee opeenvolgende zeer zonnige dagen helder is geweest en de nacht tussen twee opeenvolgende zonloze dagen bewolkt. Om te voorkomen, dat de temperatuurlijnen voor dit soort dagen te veel door de figuur zouden slingeren, zijn de temperaturen per zeven dagen gemiddeld in plaats van per dag.

Uit de krommen in figuur 31-32 ziet men, hoe sterk weerelementen van elkaar kunnen afhangen. Een zeer zonnige dag in de zomer is gemiddeld wel vijf graden warmer dan een doorsnee dag en een zonloze dag vier graden koeler; een heldere nacht is in de winter zelfs tien graden kouder dan gemiddeld! Duidelijk is te zien dat het weer op zonloze dagen meestal erg sterk door de nabijheid van de zee beïnvloed is, want de warmste zonloze dag valt gemiddeld pas ongeveer half augustus.

Uit de grafiek leest men af, dat een zonnige dag in de zomer meestal warm is. Bovendien zullen dat soort dagen vaak droog zijn en is er meestal weinig wind. Een zonloze dag is koel, maar op zo’n dag kan het al dan niet geregend hebben terwijl ook de wind nog van geval tot geval sterk kan verschillen. Hieruit ziet men, dat door de hoeveelheid zon groot te veronderstellen, meteen een groot aantal andere weerelementen min of meer vastgelegd worden. Kiest men de zonneschijnduur echter gering dan is deze koppeling minder sterk en horen er dus meer verschillende weertypen bij.

Uit een vergelijking van figuur 31 met figuur 23 (temperatuur bij hogedruksituaties) kan men tevens afleiden dat een hogedrukgebied zeker niet in alle gevallen zeer zonnig weer oplevert. Dit kwam al ter sprake in paragraaf 17. In de zomer geldt dit nog wel, maar in de winter gaat een hogedrukgebied vaak samen met mistig weer of laaghangende bewolking. Helder weer in de winter ontstaat eerder bij oostenwind, als er droge lucht van de sneeuwvlakten in Oost-Europa wordt aangevoerd. Door dus de hoeveelheid zon hoog te veronderstellen, legt

men de weersituatie (de plaats van hoge- en lage-drukgebieden om ons heen) en dus de circulatie in de winter op een andere wijze vast dan in de zomer.

Het blijkt, dat bijna alle weerelementen van elkaar afhangen op een manier zoals hierboven is toegelicht aan de hand van zonneschijn en temperatuur. Door dus één element vast te leggen, beperkt men tegelijk de mogelijkheden voor andere elementen. Er zijn ook vele combinaties van elementen te bedenken die nooit voor kunnen komen, omdat de koppeling van de elementen dit verhindert. Bijvoor-

beeld een zeer zonnige, warme dag met veel regen en een stormachtige noordenwind is een weertype dat onmogelijk is, terwijl de elementen afzonderlijk in een andere situatie best als zodanig kunnen optreden. Omgekeerd kan men, als men één element weet, in veel gevallen direct raden hoe andere elementen moeten zijn. Zo is bij een flinke wind de richting ervan bepalend voor de temperatuur die bereikt kan worden. Noordenwind hoort bijna altijd bij koud weer (staande uitdrukking: 'noordenwind is altijd koud, waar hij ook vandaan komt') en zuidenwind doorgaans bij warm weer, omdat met

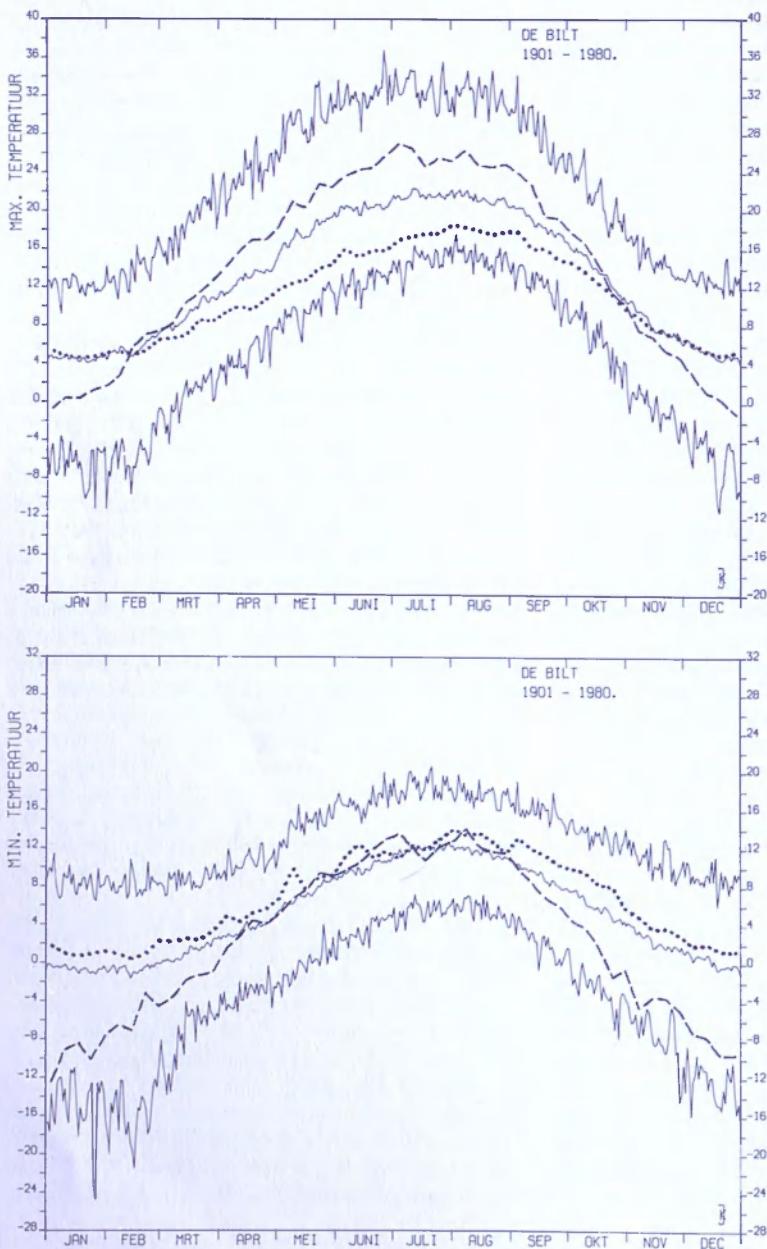


Fig. 31-32. De streeppjeslijn is de jaarlijkse gang van de maximum- (boven) resp. minimum-temperatuur (onder) op zeer zonnige dagen en heldere nachten; de gestippelde lijn de jaarlijkse gang op zonloze, bewolkte dagen. De getrokken lijnen geven het gemiddelde verloop van deze temperaturen aan en hun uitersten; deze zijn dezelfde als in figuur 28-29.

dese luchtstromingen het heersende weer uit het koele noorden resp. het meestal warme zuiden naar ons toe wordt gebracht. Evenzo hoort bij westenwind het gematigde, vochtige weer van de oceaan terwijl de oostenwind het Oosteuropese weer naar ons toebrengt, dat meestal 's zomers warm en 's winters koud is. Terwijl men voor klimaatbeschrijving het weer opsplitst in elementen, ziet men in de praktijk dus gebeuren dat het ene element een ander element in een bepaalde richting dwingt en op deze wijze voor een meer samenhangend weerbeeld zorgt.

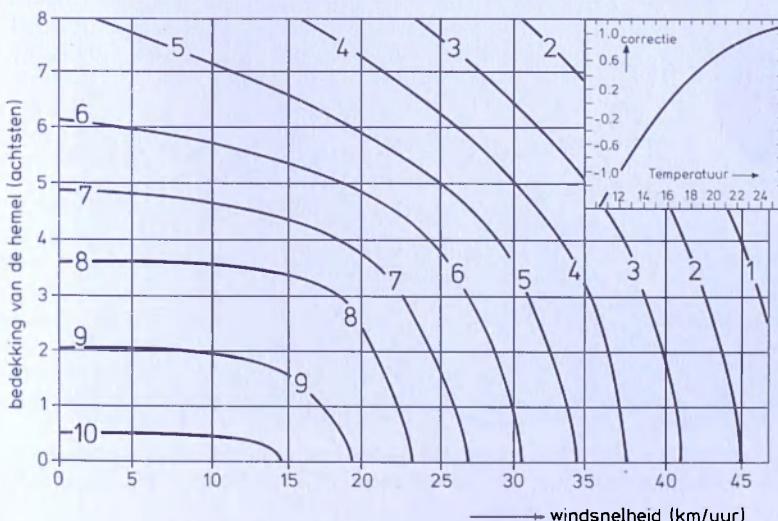
Het beschouwen van koppelingen tussen weerelementen is misschien van nog groter belang als men een poging doet de subjectieve indruk van het *recreatieweer*, dus van de aangenaamheid van het weer te kwantificeren. De afzonderlijke elementen voldoen dan niet meer, zodat men in dit geval een combinatie moet zien te vinden die dit zo goed mogelijk benadert. Er bestaat een hardnekig misverstand, dat de temperatuur in dit opzicht bepalend is, terwijl de praktijk heeft uitgewezen dat deze grootheid meestal nogal ondergeschikt is: een warme dag met weinig zon en met regen wordt als onaangenaam ervaren (d.w.z. ongeschikt voor recreatie buitenhuis). Als men afziet van neerslag, die het weer altijd onaangenaamer maakt, dan blijken de belangrijkste factoren de windsterkte en de hoeveelheid zonneschijn te zijn, zoals bezoekers aan het - meestal koude - hooggebergte onmiddellijk zullen beamen. Wel is het zo, dat in de zomer op aangename dagen (veel zon, weinig wind) ook de temperatuur meestal hoog is. In dit opzicht is de associatie van hoge temperatuur met lekker weer niet eens onjuist, maar men moet hierbij in het oog houden dat zowel het aangename weer als de hoge temperatuur in eerste instantie veroorzaakt worden door de geringe bewolking en wind, en niet omgekeerd. Dit blijkt ook al uit het feit dat het bijzonder

moeilijk is op warme dagen de temperatuur subjectief te schatten: meestal zit men er graden naast. Wat men als 'warmte' ervaart, is duidelijk iets geheel anders dan de echte temperatuur.

Figuur 33 geeft een voorbeeld hoe men een *cijfer* kan construeren voor de aangenaamheid van het weer, op een schaal van één tot tien. Dit diagram is tot stand gekomen uit enquêtes onder strandbezoekers, maar laat zich ook elders toepassen. Als dit 'waarderingscijfer' zeven of meer is, dan is het weer geschikt voor recreatie (*zonder jas*) buitenhuis, mits het niet regent. Uit de figuur leest men af, dat het bij helder en windstil weer al mogelijk is dit cijfer te halen bij een temperatuur van 8 à 10 graden, wat ook overeenkomt met de ervaring.

In figuur 34 is het aantal recreatiedagen per maand voor De Bilt weergegeven, dus het aantal dagen waarop het waarderingscijfer overdag gemiddeld zeven of meer is. Men ziet, dat zulke fraaie dagen ook in februari en november kunnen optreden. Als men de factor wind buiten beschouwing laat, dan vindt men 20% meer recreatiedagen in het jaar. Aan de kust waait het harder en is dus het aantal recreatiedagen kleiner: ongeveer de helft. Achter een windscherf maakt het echter niet veel uit of men aan de kust of in het binnenland zit: de kans op een recreatiedag is ongeveer even hoog.

Al met al moet men concluderen, dat het met de aangenaamheid van het Nederlandse weer eigenlijk best meevalt. In de zomer voldoet gemiddeld bijna 40% van het aantal dagen aan het aangenaamheidskriterium, terwijl er ook in het vroege voorjaar en late najaar nog mooie dagen kunnen voorkomen. Natuurlijk kan het ook wel eens gebeuren dat er een hele zomermaand geen enkele recreatiedag optreedt, maar dit behoort toch tot de grote zeldzaamheden. Bovendien zijn er ook dan nog altijd gedeelten van sommige dagen wel geschikt voor recreatie buitenhuis. Omgekeerd kan het ook wel



Figuur 33. Diagram voor het bepalen van de aangenaamheid van droog weer. Horizontaal staat de windsnelheid op 10 meter hoogte uit en verticaal de bedekkingsgraad van de hemel in achtsten (geheel bewolkt is dus 8 achtsten). De kromme lijnen geven het waarderingscijfer, dat loopt van 0-10. Bij een windsnelheid van 18 km/uur en een halfbewolkte hemel zou men het weer dus cijfer 7 geven. Het kader geeft de temperatuurcorrectie op dit cijfer aan. Als het bijv. 25 graden is, dan moet men één punt er bij optellen; bij 12 graden moet er één punt af.

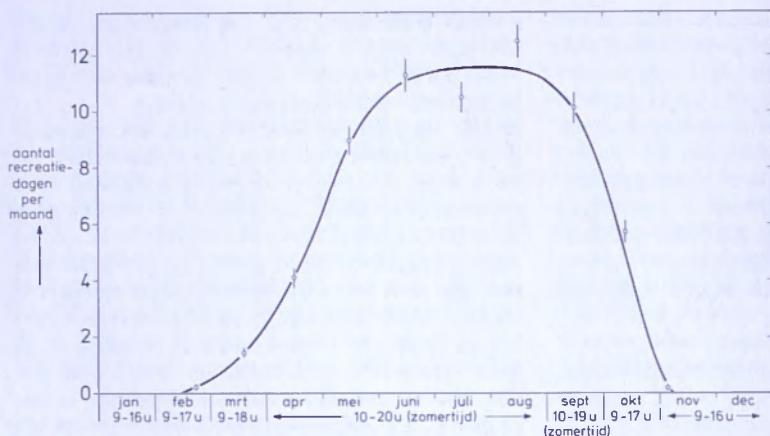


Fig. 34. Aantal recreatiedagen per maand voor De Bilt. Dit zijn dagen, waarop het waarderingscijfer gemiddeld minstens zeven is. Deze grafiek is tot stand gekomen met behulp van figuur 33. Hierbij is tevens rekening gehouden met neerslag, op een wijze zoals achterin het boek bij de opmerkingen is beschreven. De tijd waarover gemiddeld is, is voor iedere maand aangegeven. De grafiek is afgeleid uit weerwaarnemingen van 1951-1979.

eens gebeuren dat een dag 'te mooi' is, omdat het in de zon veel te heet aanvoelt. Ons klimaat is echter zodanig gematigd, dat het op zulke dagen in de wind of in de schaduw dan meestal nog wel uit te houden is – dit in tegenstelling tot de situatie in de zuidelijke landen, waar de hitte wel ondraaglijk kan zijn en men er zich niet tegen kan wapenen.

Samenvattend kan men stellen dat het zomerweer van Nederland in de volksmond beslist een te negatieve reputatie heeft. Natuurlijk kan men het wel eens treffen dat een vakantie vrijwel geheel verregent en het fraaie weer pas hierna weer terugkeert, maar zoets behoort toch tot de uitzonderingen. Als zoets echter toch eens een keer gebeurt

blijft het lang in het geheugen hangen en vergeet men verder de fraaie dagen van die zomer. Blijkbaar onthoudt de mens het slechtste weer het best! Behalve zon, wind en temperatuur kan tenslotte ook de luchtvochtigheid nog van invloed zijn op onze beoordeling van het weer. Dit speelt vooral een rol bij veel bewolking en weinig wind. Figuur 35 geeft de subjectieve weerbeoordeling aan bij die omstandigheden; deze figuur laat zich goed gebruiken als aanvulling op figuur 33. Als de zon schijnt of als het waait is het echter beter alleen het diagram van figuur 33 te gebruiken en de vochtigheid buiten beschouwing te laten, ook al omdat in ons land de vochtigheid onder deze omstandigheden meestal tussen de 30% en 60% blijft.



Plaat 15. Fraai weer veroorzaakt vaak een massale strandrecreatie. Als het weer dan plotseling omslaat, dan is zo'n strand op slag leeg gestroomd (ANP-foto).

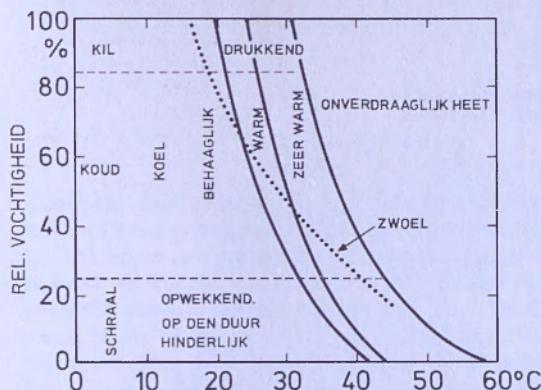


Fig. 35. Weerbeoordeling bij zonloos en windstil weer. In dit geval hangt de beoordeling vooral af van temperatuur en luchtvochtigheid.

27. Persistentie van weerelementen

Een van de wonderlijkste kenmerken van het weer, namelijk de *persistentie* ervan, is tot nu toe vrijwel onbesproken gebleven. Persistentie wil zeggen, dat als een bepaalde weertoestand zich eenmaal ingesteld heeft, er een grotere kans is dat deze zich enige tijd zal handhaven. Drastische wijzigingen in het weer zijn dan dus betrekkelijk zeldzaam. De sterkte van de persistentie hangt af van de tijdschaal waarover men kijkt. Beschouwt men het weer van twee opeenvolgende dagen, dan is er zeker sprake van een grote persistentie. Dit komt, omdat op deze tijdschaal ook de losse weerelementen vrijwel allemaal in merkbare mate persistent zijn. Dit geldt voor droogte, neerslag, zonneschijn, bewolking, wind, onweer, warmte, koude enzovoort, dus eigenlijk voor alle elementen die van belang zijn voor de beleving van ons weer.

Persistentie is in de meeste gevallen een gevolg van de grote afmetingen en de doorgaans geringe verplaatsingssnelheden van de weersystemen in de atmosfeer. Als wij ons dus eenmaal binnen de invloedssfeer van een bepaald weersysteem bevinden, dan is er een flinke kans dat dit de volgende dag nog steeds zo zal zijn en het weer dus ongeveer gelijk is. Voor langere tijdschalen (week op week, bijvoorbeeld) is de persistentie van de weerelementen echter veel geringer en is zelfs te verwaarlozen, omdat over zulke tijdsduren de weersystemen zich aanzienlijk kunnen verplaatsen en bovendien sterk aan veranderingen onderhevig kunnen zijn.

Het persistent zijn van een bepaald weerelement heeft gevolgen voor de manier waarop dit element zich manifesteert. Dit kan men bijvoorbeeld goed illustreren aan de hand van zeer zonnige dagen, dat wil zeggen met minstens 80% zonneschijn. De

gemiddelde kans op zo'n dag is 8,3%, dus in een jaar komen er gemiddeld ongeveer 30 van deze dagen voor. Maar als zo'n dag er eenmaal is, dan is de kans dat het de volgende dag wéér zo'n dag is opeens 38%! Dit betekent dat zonnige dagen vaak in groepjes optreden. Anderzijds is het aantal van deze groepjes in een jaar klein: gemiddeld gaat er maar 19 keer per jaar een reeks van één of meer zeer zonnige dagen van start.

Persistentie leidt er dus toe, dat de dagen in het jaar met een bepaald weerkenmerk zich samenvoegen tot een beperkt aantal aaneengesloten perioden van langere duur. Dit 'samenklonteren' van dagen met vergelijkbaar weer type heeft tot gevolg, dat ons weer van dag op dag een minder wispelturig karakter heeft dan bijvoorbeeld het weer van week tot week, waar de persistentie verwaarloosbaar is.

Merkwaardigerwijze neemt de persistentie in het weer nog wat toe als een bepaald weer type zich al enige tijd heeft weten te handhaven. Zo is bijvoorbeeld na één regendag de kans op weer zo'n dag al groter dan gemiddeld, maar na twee regendagen is de kans erop nog iets groter. Dit betekent, dat de opmerking 'het weer is al zolang slecht dat het langzamerhand wel zal moeten verbeteren' onjuist is: het tegendeel is zelfs waar!

Ondanks dit alles blijft de kans op erg lange perioden met hetzelfde weer type klein. Zo komt bijvoorbeeld een reeks van meer dan 10 aaneengesloten zeer zonnige dagen gemiddeld maar eens in de paar honderd jaar voor. Van de sterke persistentie op een korte tijdschaal (dag-op-dag) blijft dus op langere tijdschalen inderdaad niets over. Dit principe wordt slechts geweld aangedaan, als voor de persistentie ook andere factoren dan alleen de afmetingen en treksnelheden van weersystemen een rol spelen. Een voorbeeld hiervan is de maandgemiddelde temperatuur, die vooral in het vroege voor- en najaar een zekere maand-op-maand persistentie kent – dit als gevolg van de invloed van temperatuurafwijkingen van het water van de Noordzee. Dit merkwaardige effect kwam in paragraaf 19 reeds ter sprake.

Behalve persistentie bestaat er ook het verschijnsel *antipersistentie*, wat dus wil zeggen dat de kans op het opnieuw optreden kleiner is dan de gemiddelde kans. Als een weerelement antipersistentie vertoont, dan zal men maar weinig aaneengesloten reeksen in een jaar vinden met een bepaald kenmerk: de reeksen hebben de neiging uiteen te vallen in geïsoleerde dagen in een jaar. Er zijn echter geen meteorologische grootheden, die een antipersistentie van dag op dag vertonen. Kijkt men op kleinere tijdschalen, dan zijn er wel voorbeelden te vinden. Bijvoorbeeld bij bliksem: als er net een nabije ontlading is geweest, dan is de kans op de volgende even wat kleiner, omdat de atmosfeer tijd nodig heeft om zich opnieuw op te laden.

HOOFDSTUK 4

Weerelementen in Nederland

28. Temperatuur in Nederland

De luchttemperatuur is een weerelement met een grote persistentie. Dit wil dus zeggen, dat spronken in de tijd wel aanwezig zijn, maar deze toch tot de zeldzaamheden behoren. Dit dus in tegenstelling tot een element als neerslag, waarbij de gevallen hoeveelheden niet alleen van plaats tot plaats, maar ook van dag tot dag of zelfs van uur tot uur sterk kunnen verschillen. De reden voor de sterke persistentie van de luchttemperatuur is gemakkelijk te raden: de luchtmassa's boven het aardoppervlak hebben een behoorlijke traagheid ten aanzien van opwarming en afkoeling, en daarom zal bijvoorbeeld de maximumtemperatuur van dag tot dag in dezelfde lucht niet veel verschillen. Pas als deze lucht wordt vervangen door lucht die een andere voorgeschiedenis heeft gekend (bijvoorbeeld door lang boven zee te hangen), dan treedt er een echte temperatuursprong op – soms van vele graden in minder dan een kwartier tijd.

De luchttemperatuur is niet in de hele atmosfeer dezelfde, maar neemt gemiddeld af met de hoogte. In doorsnee is deze afname 6 graden per kilometer; in het hooggebergte is het dus meestal aanzienlijk kouder dan op zeeniveau. Maar het blijkt eveneens, dat er een groot verschil kan optreden tussen de temperatuur op sta-hoogte en aan de grond: in een heldere nacht is het vlak bij de grond veel kouder (nachtvorst!) en bij een zonnige dag veel warmer. Dit verschil hangt van tal van factoren, zoals begroeiing en grondsoort af. Hierdoor is het niet gemakkelijk, onderling vergelijkbare temperatuurmetingen te verkrijgen en moet men dus hiervoor zeker niet te dicht bij de grond meten. In de praktijk heeft men gekozen voor een standaardhoogte voor temperatuurmetingen van anderhalve meter boven de grond, omdat gebleken is dat dan de aard van de ondergrond een veel minder sterke rol speelt (onder meer omdat de lucht daar beter wordt gemengd door wervelingen). Aangezien deze hoogte bovendien redelijk overeenkomt met de lichaamslengte, geven zulke metingen ook behoorlijk weer wat een volwassene met zijn meest blootgestelde lichaamsdeel (het hoofd) ervaart.

Zoals iedereen uit eigen ondervinding weet, kent de luchttemperatuur een uitgesproken dagelijkse en jaarlijkse gang. Deze regelmatigheden zijn een direct gevolg van de straling van de zon, die zowel een dag-nacht ritme als een seisoenvariatie kent. Toch is het karakter van deze variaties niet

gelijk, omdat de seizoenvariaties zich geleidelijk voltrekken en het dag-nacht ritme in korte tijd. Het lengen van de nachten in het najaar, en het feit dat de zon dan niet meer zo hoog boven de horizon komt, veroorzaakt namelijk een algehele afkoeling van het noordelijk halfrond die in de gehele atmosfeer doorwerkt. Bij de dagelijkse gang is dit niet het geval, en vertoont alleen het onderste deel van de atmosfeer sterke temperatuursvariaties die geforceerd worden door de afkoeling of verwarming van de bodem (zie tabel II op blz. 43). Dit leidt er toe dat de dagelijkse gang zwakker wordt naarmate men zich in een hoger deel van de atmosfeer bevindt. Hierdoor ontstaat er ook een dagelijkse gang in de *stabilitet* van de atmosfeer (stabiel = relatief koude en dus zwaardere lucht onder en warme lichte lucht boven; onstabiel = koud boven en warm onder. Aangezien weerelementen als wind, wolkenvorming en neerslag kans afhangen van de stabilitet, werkt dit door in deze grootheden (zie ook paragraaf 20).

De *jaarlijkse* gang van de maximum- en minimumtemperatuur is weergegeven in figuur 28 en 29 en besproken in paragraaf 25 en 26. Uit deze figuren krijgt men een beeld van de periodieke afkoeling en verwarming van de atmosfeer door het jaar heen en van de traagheid bij verwarming en van de fluctuaties van dit element. Het verschil tussen deze grafieken geeft een idee, hoe groot de variatie van de temperatuur in één etmaal is. Als men deze twee grafieken zou opmaken boven zee waar deze dagelijkse gang vrijwel ontbreekt, dan zouden ze dus nauwelijc identiek moeten worden.

Boven Nederland blijkt de jaarlijkse gang van de temperatuur niet overal gelijk te zijn: zij is groter naarmate men verder landinwaarts komt. Dit hangt natuurlijk weer samen met de continentaliteit van het klimaat ter plaatse, dus met de mate waarop de invloed van de zee merkbaar is (zie paragraaf 24). In figuur 36 is dit geïllustreerd aan de hand van de verdeling over Nederland van het aantal zomerse dagen (maximumtemperatuur minstens 25 graden) en aan de hand van het aantal dagen met matige of strenge vorst (minimumtemperatuur min 5 graden of lager). Inderdaad ziet men, dat de verdeling van deze dagen over Nederland behoorlijk overeenkomt met die van de mate van zeeklimaat in figuur 27. De afwijkingen ten opzichte van dit plaatje zijn voornamelijk het gevolg van lokale effecten als begroeiing, bodemssoort en hoogteverschillen.

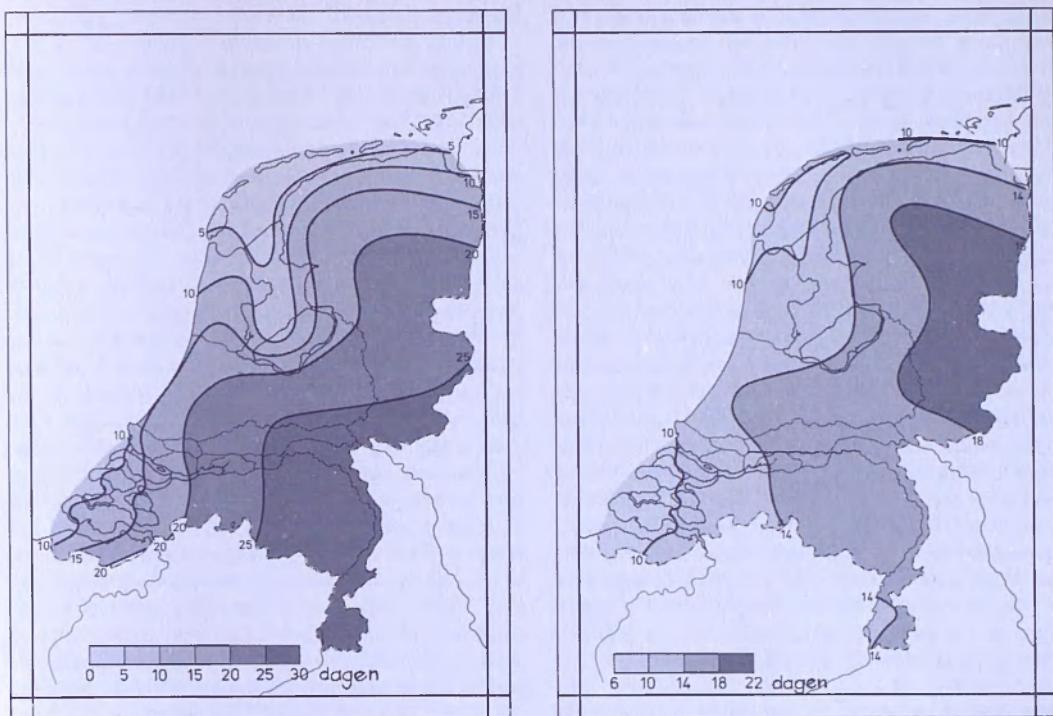


Fig. 36. Verdeling van het aantal dagen in het jaar met een maximumtemperatuur van minstens 25 graden (links) en met een minimumtemperatuur van min 5 graden of lager (rechts) over Nederland. Vergelijk de figuur met figuur 27.

In figuur 37 is de gemiddelde *dagelijkse* gang van de luchttemperatuur weergegeven voor De Bilt voor vier maanden van het jaar. Het is duidelijk dat deze dagelijkse gang in het hele jaar aanwezig is; hij is zelfs bijna altijd van dag tot dag te herkennen. De oorzaak van deze dagelijkse gang is, zoals gezegd, het opwarmen van de ondergrond overdag door de zon, gevolgd door de nachtelijke afkoeling; deze temperatuurswisseling wordt doorgegeven aan de lucht erboven. Uit de figuur leest men af, dat het warmste moment gemiddeld pas zo'n twee uur na de hoogste zonnestand plaats vindt en het koudste moment van de dag vrijwel samenvalt met zonsopkomst.

Hoe makkelijker de ondergrond opwarmt, des te sterker is de dagelijkse gang van de luchttemperatuur: boven zand- of asfaltvlakten is hij groot, nabij de kust minder en boven zee vrijwel afwezig. Toch zullen zeeleden ervaren, dat het overdag warmer aanvoelt dan 's nachts. De oorzaak hiervan is, dat onze omgeving (het schip) en ons lichaam ook worden opgewarmd door de directe zonnestraling, zodat men zich in de volle zon er niet altijd van bewust is hoe hoog of laag de luchttemperatuur is (zie ook paragraaf 26). Dit is tevens de reden, dat luchttemperatuurmetingen altijd in de schaduw

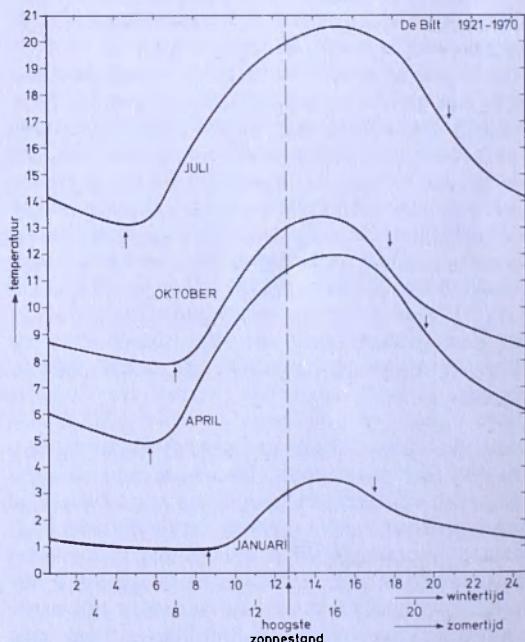


Fig. 37. Gemiddelde dagelijkse gang van de temperatuur in De Bilt van vier maanden van het jaar. De pijltjes geven de tijdstippen van zonsopkomst en zonsondergang aan.

dienen te gebeuren: in de zon warmt de thermometer door de straling op tot een temperatuur die ver boven de luchttemperatuur kan liggen.

Uit figuur 36 is te zien, dat de dagelijkse gang van de temperatuur in de winter veel kleiner is dan in de zomer. Dit is te begrijpen, want 's winters zijn de dagen kort en staat de zon laag boven de horizon. Tevens toont de figuur, dat in oktober de temperatuur hoger ligt dan in april, terwijl de zon in oktober toch lager staat – het directe gevolg van het naijlen van de temperatuur door het jaar heen (zie paragraaf 24). Men moet hierbij wel bedenken, dat figuur 36 weer het gemiddelde weergeeft, en dat de sterkte van de dagelijkse gang van dag tot dag kan verschillen. Hoe helderder bijvoorbeeld de dag, des te sterker is de in- en uitstraling en des te groter dus de dagelijkse gang. Omgekeerd is op bewolkte dagen de dagelijkse gang klein, zoals men ook af kan lezen uit figuur 31-32. Dit houdt natuurlijk verband met de geringe straling op zulke dagen, maar er is meer dat meespeelt. Zwaarbewolkt weer gaat vaak gepaard met een westenwind, waarmee dan lucht van zee wordt aangevoerd. Op zulke dagen is het weer dus maritiemer dan gemiddeld, zodat de dagelijkse gang meestal maar klein is.

Hoewel de *hoogte* van de dagelijkse gang van de temperatuur van dag tot dag behoorlijk kan verschillen, vertoont het *verloop* van de temperatuur in een etmaal bijna altijd hetzelfde beeld. Zo valt de hoogste temperatuur vrijwel altijd in de middag en de laagste temperatuur in de vroege ochtend. Bij de jaarlijkse gang van de temperatuur is dit veel minder uitgesproken. Dit betekent, dat bijvoorbeeld het warmste uur op een willekeurige dag veel beter vastligt dan de warmste maand in een willekeurig jaar. Slechts bij hoge uitzondering gebeurt het, dat de hoogste of lagste temperatuur op een ongebruikelijk tijdstip valt (bijvoorbeeld de maximumtemperatuur in de ochtend); dit is alleen mogelijk als er sprake is van een nieuwe luchtsoort, die het land binnendringt. De kans op dit verschijnsel blijkt het grootst in de winter, als de dagelijkse gang klein is en dus gemakkelijk overtroffen wordt door de temperatuursprong waarmee dit binnendringen gepaard gaat.

Door zijn ijzeren regelmaat is de dagelijkse en ook de jaarlijkse gang in de luchttemperatuur zo algemeen bekend, dat het als een bijna vanzelfsprekend gegeven wordt gezien. Dat dit echter doorwerkt in andere meteorologische grootheden is minder bekend en ook niet zo voor de hand liggend. In dit hoofdstuk zullen wij zien, dat eigenlijk alle weer-elementen door vooral de dagelijkse, maar ook door de jaarlijkse gang van de temperatuur zodanig worden beïnvloed, dat zij op hun beurt eveneens dit soort regelmatigheden vertonen.

29. Vorst en dooi

De hoogte van de temperatuur is van invloed op de snelheid waarmee biologische en scheikundige processen zich voltrekken. Zo verlopen bijvoorbeeld rottingsprocessen aanzienlijk sneller als de temperatuur hoog is. In de meeste gevallen is dit gedrag continu, dat wil zeggen dat een geringe temperatuursverandering dergelijke processen maar weinig sneller of langzamer doet verlopen. Er is echter één temperatuur waar de invloed op onze omgeving een sprongsgewijs karakter krijgt, namelijk het *vriespunt*. Boven het vriespunt is water vloeibaar, hieronder is het vast. Omdat het water in enorme hoeveelheden om ons heen aanwezig is, heeft het bevriezen hiervan grote gevolgen voor onze omgeving en voor de menselijke activiteiten. Alleen al de aanwezigheid van sneeuw stelt volkomen andere eisen aan onze bezigheden en aan het gedrag van mens en dier. Van belang is ook dat water bij bevriezing met kracht uitzet, zodat het bevriezen van opgesloten water tot beschadigingen kan leiden. Omgekeerd kan dooi enorme wateroverlast en schade door kruisen tot gevolg hebben, vooral elders in de wereld, bij rivieren die uitmonden in het koude, hoge noorden. Effecten als deze



Plaat 16. Kruwend ijs schoof in 1971 de vuurtoren van Marken een tiental centimeters opzij (ANP-foto).

doen zich vooral in landen als Siberië en Canada zeer sterk voelen: de overgang tussen de winter en de zomer (temperatuur resp. onder en boven nul) voltrekt zich daar in zeer korte tijd op een spectaculaire wijze. Kenmerkend voor het klimaat in die streken is zelfs het (vrijwel) ontbreken van een echte lente of herfst. Bij ons zijn de overgangen geleidelijker en behoort het ook tot de betrekkelijke zeldzaamheden dat onze omgeving in een sneeuwvlakte verandert: in Noordoost-Nederland is er op ongeveer 25 dagen per jaar sprake van sneeuwbedekking en in het zuidwesten ongeveer 10 dagen per jaar. Door de zeldzaamheid van dit gebeuren worden wij echter sterker overvallen door de ongemakken die het met zich meebrengt.

Een sneeuwdek dat er eenmaal ligt verdwijnt niet gemakkelijk: hier is zeer veel warmte voor nodig. Bovendien koelt sneeuw (evenals trouwens water) door zijn voortdurend verdampen altijd verder af dan de lucht, vooral als de lucht erboven erg droog is. Bij een relatieve luchtvochtigheid van 40% is deze verdamping zelfs bij een luchtemperatuur van 4 graden nog in staat het sneeuwoppervlak beneden nul graden te houden. In een dergelijk geval verdwijnt er dus wel wat sneeuw door verdamping, maar een werkelijk ontdoosten vindt pas plaats als de temperatuur boven de 4 graden stijgt. Gebeurt dit niet, dan kan het ook gaan dooien als de droge lucht wordt vervangen door vochtiger lucht van dezelfde temperatuur.

Hoe continentaler het klimaat, des te groter is de jaarlijkse (en dagelijkse) gang van de luchtemperatuur en des te groter ook de kans op vorst en sneeuw. In Nederland is dus de kans erop aan de kust het kleinst; het binnenland kan zelfs nog tot in juli en alweer vanaf september te maken hebben met zware nachtvorst (afkoeling van de lucht vlak bij de grond op beschutte plaatsen tot beneden het vriespunt).

De scherpe grens tussen vorst en dooi weerspiegelt zich in sommige gezegden en weerregels. Een aantal van deze laatste ('Kerstdooiweer' of 'IJsheiligen') suggereren zelfs, dat er bepaalde data in het jaar aan te wijzen zijn, die bij voorkeur dooi of vorst opleveren. Maar zoals wij in paragraaf 25 al zagen, is dit zeer dubieus; uitspraken als 'de IJsheiligen vallen laat, dit jaar' geven in dit opzicht ook te denken. Nu is een late vorst toch een ingrijpend gebeuren, omdat dit grote schade aan gewassen ten gevolge kan hebben. Uit figuur 29 leest men af, dat de kans hierop in de maand mei snel afneemt. Gaat het in die maand toch vriezen, dan gebruikt men vaak het woord 'IJsheiligen' – eigenlijk meer als benaming voor de laatste vorstperiode na de winter dan om aan te geven dat het hier werkelijk om een datumgebonden verschijnsel gaat.

30. Wind en storm in Nederland

Tussen de weerelementen neemt de wind een zeer aparte plaats in. De wind is namelijk in staat om luchtmassa's, en daarmee het weer, van elders naar ons toe te voeren. De grilligheid van ons weer wordt veroorzaakt doordat een luchtstroming uit een bepaalde richting snel kan overgaan in een stroming uit een andere richting: de wind voert andere lucht aan en verandert zo ons weer (zie ook hoofdstuk 2).

Wind is bijna altijd het gevolg van het bestaan van druksystemen (lagedrukgebieden of wel depressies en hogedrukgebieden) in de atmosfeer. Zulke systemen hebben het karakter van een draaikolk: de winden waaien niet van het hogedrukgebied naar het lagedrukgebied, zoals men misschien zou verwachten, maar draaien er omheen. Hierdoor blijven drukverschillen, en daarmee de winden rond de systemen, lang bestaan. Bij het naderen van een hoge- of lagedrukgebied steekt dus de wind op, maar in zijn centrum is het windstil. Na de passage hiervan steekt de wind weer op, maar nu uit tegenovergestelde richting.

De wind, die op een bepaald moment boven Nederland waait, wordt bepaald door de positie van de drukgebieden om ons heen. Deze posities kunnen zich voortdurend wijzigen, omdat drukgebieden zich verplaatsen, kunnen verdwijnen, terwijl er elders weer nieuwe kunnen ontstaan. De wijze waarop dit gebeurt wordt eveneens grotendeels bepaald door de winden in die systemen. Aan de ene kant zijn de drukgebieden dus de veroorzakers van wind, maar omgekeerd regelen hun winden op hun beurt weer de ontwikkelingen en verplaatsingen van de drukgebieden. Dit demonstreert nogmaals, hoe belangrijk het element wind is voor het ontstaan van weer en klimaat.

Er blijken grote verschillen te bestaan tussen hogedrukgebieden en depressies. Rond een hogedrukgebied waaien de winden op ons halfrond met de wijzers van de klok mee, en rond een depressie er tegen in. Een depressie die zich ten noorden van ons bevindt veroorzaakt in Nederland dus een westenwind. Bovendien gaan de depressies doorgaans gepaard met heviger weersverschijnselen dan de hogedrukgebieden: er waait een veel hardere wind omheen en de zone van windstilte nabij de kern is klein. De sterkste wind blijkt meestal vlak rond de depressiekern te waaien. Bij een hogedrukgebied is deze stille zone veel groter en neemt de wind hier buiten maar geleidelijk toe. Terwijl de passage van een krachtig hogedrukgebied dus vergezeld gaat met rustig weer, gaat dit bij een diepe depressie niet alleen gepaard met bewolking en regen, maar vooral ook met een sterke wind, die alleen maar even wegvalt op het moment dat de kern van dit systeem precies overtrekt. Hierdoor zijn de depressies niet

alleen de regenbrengers in de atmosfeer, maar vooral ook de grote windbrengers op Aarde. Omdat de afmetingen ervan gemakkelijk meer dan 1000 km kunnen bedragen, zijn ze met hun sterke winden inderdaad in staat om luchtmassa's over enorme afstanden te transporteren en spelen dus de belangrijkste rol bij de herverdeling ervan. Vanuit deze gezichtshoek zijn het in de eerste plaats de depressies, en pas in de tweede plaats de hogedrukgebieden die de grillige variabiliteit van ons weer veroorzaken.

Weinigen realiseren zich, hoe plat de druksystemen in de atmosfeer wel zijn. Terwijl de horizontale afmetingen in de orde van 1000 km zijn, is de effectieve dikte van de atmosfeer niet veel meer dan 10 km. Het gevolg hiervan is, dat de verticale wind in de drukgebieden vele malen zwakker is dan de horizontale wind: ca. 0,1 km/uur tegen 20 km/uur. Niettemin blijkt ook deze windcomponent van groot belang te zijn voor het ontstaan van het weer. Zoals in paragraaf 18, 31 en 39 nader is besproken, kan een opwaartse luchtstroming tot condensatie van waterdamp, dus tot wolken- en neerslagvorming leiden, en een neerwaartse stroming tot het oplossen van bewolking. Omdat bij een depressie de vertikale stroming opwaarts, en bij een hogedrukgebied neerwaarts is gericht, is ook het bijbehorende weer van deze systemen tegengesteld.

Behalve voor het transport van luchtmassa's en het ontstaan van het weer is de wind ook van belang als 'gewoon' weerelement, omdat het al dan niet voorkomen van wind direct ingrijpt op ons milieu. Hier gaat het dus om de wind die wij aan den lijve ervaren, dus hoofdzakelijk om de wind in de onderste paar meter. Uit paragraaf 26 bleek al, hoe belangrijk de wind is voor de aangenaamheid van het weer. Bovendien is het van belang, dat de wind een mechanische kracht uitoefent op voorwerpen in onze omgeving. Bij lage windsnelheden merkt men hier niet veel van, maar bij veel wind des te meer: de kracht is evenredig met het kwadraat van de windsnelheid. Het opstuwen van het water van de Noordzee tegen de Nederlandse kust ('stormvloed') vindt inderdaad alleen maar plaats bij zeer hoge windsnelheden, evenals het vernielen van constructies. Dit laatste wordt nog erger als de wind vlagelig is, omdat door het terugzwiepen van constructies tussen twee windstoten in de kans op vernieling toeneemt – op dezelfde wijze waarop men in principe een brug kan vernielen door er in een bepaald ritme overheen te marcheren. Zoals in plaat 19 is afgebeeld, kunnen hierdoor soms bomen midden in een bos finaal in tweeën worden gebroken. Hieruit zien wij hoe onvoorstelbaar groot de kracht van de wind kan zijn: voor de mens is het al bijzonder moeilijk een flinke boom zelfs maar te laten schudden.

In Nederland waait het niet overal even hard: aan

de kust harder dan in het binnenland. De reden hiervoor is, dat de wind door het ruwere landoppervlak afgeremd wordt, naarmate hij meer landinwaarts komt. Het verloop van de gemiddelde windsnelheid boven land voor open terreinen is weergegeven in figuur 38; de individuele maanden leveren ongeveer hetzelfde beeld op.

In figuur 38 herkent men hetzelfde patroon als in figuur 27, dat de mate van zeeklimaat in Nederland weergeeft, alleen is het wat grilliger. Dit wordt natuurlijk veroorzaakt doordat de mate van afremming van de wind afhangt van de ruwheid en dus van de begroeiing en heuvelachtigheid van ons land, gezien op grote schaal.

De werkelijke wind die men ervaart kan afwijken van die in de figuur. In figuur 38 is de windsnelheid namelijk herleid naar een open terrein en zijn *lokale* ruwheids- en beschuttingseffecten niet te zien. Deze zijn van grote invloed op de uiteindelijke windsnelheid; iedereen weet dat het in vlakke gebieden harder waait dan in gebieden met enige beschutting (zoals een verre bomenrij). Anderzijds blijkt boven min of meer beschutte gebieden de vlagelrigheid van de wind juist groter, omdat lokale afremming van de wind gepaard gaat met het ontstaan van luchtwervels, die men ervaart als windstoten. Voor bepaalde doeleinden is het dan ook beter op een open terrein met een krachtige maar regelmatige wind te

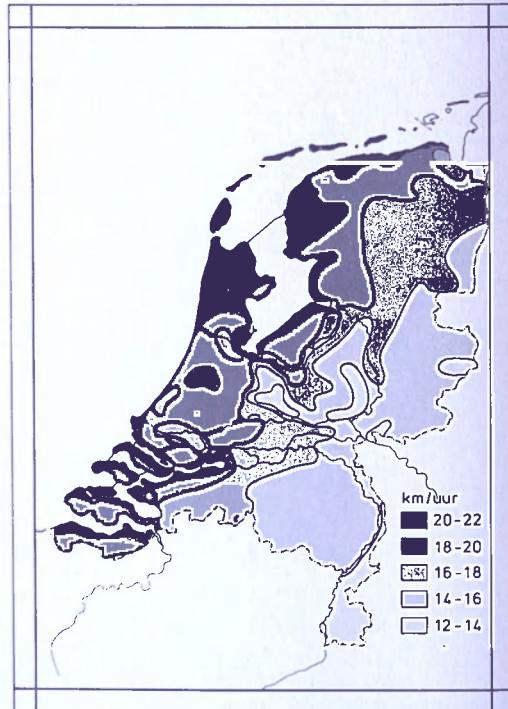


Fig. 38. Gemiddelde windsnelheid over Nederland voor open terreinen.



Plaat 17. Een klein laagje sneeuw is al voldoende om het uiterlijk van de wereld volledig te veranderen (foto G. P. Können).

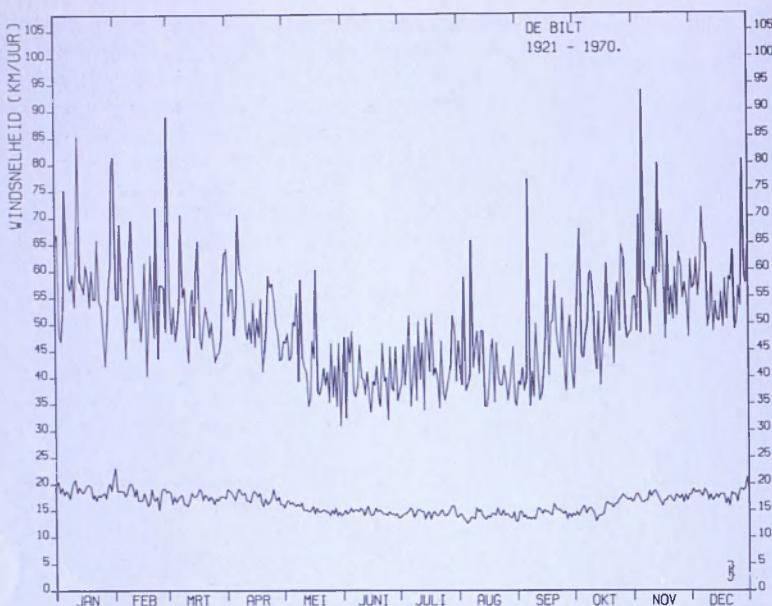


Fig. 39. Jaarlijkse gang van de windsnelheid in De Bilt. De onderste lijn geeft het verloop van de gemiddelde windsnelheid; de bovenste lijn verbindt de hoogst gemeten windsnelheden van iedere dag. Deze hoogst gemeten snelheden zijn gemiddeld over tien minuten.

maken te hebben dan op een beschutten terrein met windstoten. Een voorbeeld is een vliegveld.

In figuur 39 is de jaarlijkse gang van de dagelijkse windsnelheid weergegeven voor De Bilt. Men ziet eruit, dat de jaarlijkse gang van de gemiddelde windsnelheid niet erg groot is. In sterk begroeide gebieden is deze jaarlijkse gang nog kleiner, terwijl deze bovendien nog gedeeltelijk wordt veroorzaakt doordat de beschutting in de zomer groter is (meer bladeren aan de bomen). Daarentegen vertoont de kromme van hoogst gemeten windsnelheden (bovenste lijn in de grafiek) wèl een uitgesproken jaarlijkse gang. Blijkbaar wordt het zogeheten *stormseizoen* (oktober-april) gekenmerkt door een aantal geïsoleerde, kortdurende perioden met veel wind, die verder op zichzelf vrij zeldzaam zijn. Buiten deze perioden om waait het in het stormseizoen nauwelijks harder dan in de rest van het jaar. Maar als de wind in het stormseizoen eenmaal toe gaat nemen, dan is er meteen ook een behoorlijke kans dat hij verder aanwakkert tot stormkracht.

De oorzaak van dit verschijnsel is, dat de depressies in het winterseizoen actiever zijn: terwijl er in de winter niet zozeer meer depressies langstrekkend dan in de zomer, leveren zij wel meer wind op – zij het, gedurende een tamelijk korte tijd. Omdat de schade bij een sterke wind zoveel groter is, wordt het stormseizoen toch als zodanig ervaren: de weinige dagen met veel wind onthoudt men. Extreme uitingen van de wind (stormvloeden, bijvoorbeeld) zijn eveneens in het stormseizoen geconcentreerd (zie tabel 7 achterin dit boek).

Als men figuur 39 voor een kuststation of voor een station landinwaarts opstelt, dan blijkt er niet

zoveel verschil met De Bilt te bestaan. Alleen is de gemiddelde windsnelheid aan de kust natuurlijk wat groter. Dit werd reeds besproken in paragraaf 18. Aan de andere kant blijkt, dat bij een flinke storm de hardste *windstoot* in het binnenland niet veel onder hoeft te doen voor die bij een kuststation. Door deze vlagerigheid is de vernielende kracht van een zware storm in het binnenland eigenlijk veel groter dan aan de kust.

Behalve een jaarlijkse gang, kent de windsnelheid ook een dagelijkse gang. Zoals wij in paragraaf 20 zagen, vindt deze dagelijkse gang zijn oorsprong in het feit, dat overdag de opbouw van de atmosfeer onstabiler is (d.w.z. de lucht vlak bij de grond is relatief warm) waardoor de wrijving van de wind geringer is dan in stabielere situaties. Omdat de dagelijkse gang van de windsnelheid zo nauw samenhangt met die van de temperatuur, is hij op heldere dagen sterker dan bij bewolkt weer en in het binnenland sterker dan aan de kust.

In figuur 40 is de gemiddelde dagelijkse gang van de windsnelheid op heldere dagen voor De Bilt afgebeeld voor de maand augustus; andere maanden geven een soortgelijk beeld te zien. Gemiddeld is er zo'n 2 à 3 uur na zonsopkomst de minste wind en ongeveer 3 à 4 uur na de hoogste zonnestand de meeste wind, dit laatste dus rond vijf uur (zomertijd) in de middag. Hiermee loopt de dagelijkse gang in de windsnelheid duidelijk wat achter bij die in de temperatuur (figuur 37). Op een zomerdag waait het in de middag ongeveer 50% harder dan in de vroege ochtend, maar op dagen met relatief weinig wind kan dit verschil groter zijn. In de na-

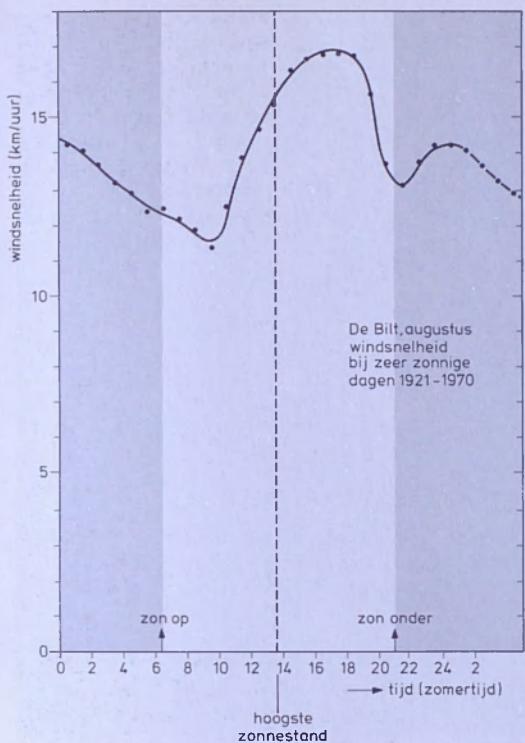


Fig. 40. Gemiddelde dagelijkse gang van de windsnelheid op zeer zonnige dagen voor de maand augustus voor De Bilt. De meeste wind is in de middag; rond zonsondergang 'valt de wind even stil', om daarna weer wat op te steken.

middag neemt de wind weer af. Deze afname begint, net als de temperatuurdaling, het eerst vlak bij de grond en zet zich dan naar boven toe voort. Inderdaad ervaart men vaak op een zomeravond, dat het al bijna bladstil is, terwijl de boomtoppen nog bewegen en de bladeren nog ruisen ten gevolge van de wind aldaar. Uit de figuur lezen wij echter nog een zeer merkwaardig effect af: nadat de wind rond zonsondergang grotendeels is weggevallen, neemt hij later op de avond weer wat toe! Op deze ervaring berust de uitspraak, dat 'de natuur bij de schemering zijn adem inhoudt'; uit de grafiek ziet men, dat dit op waarheid berust. Dit effect is in alle maanden van het jaar aanwezig, maar blijkt het sterkst te zijn in de tweede helft van het jaar, vooral natuurlijk op heldere dagen met niet te veel wind.

In de afgelopen paar jaar is men er toe overgegaan, om naast de 'normale' windmetingen (op 10 meter hoogte) ook windgegevens te verzamelen op grotere hoogten met behulp van meetmasten. Hierbij zijn een aantal merkwaardige feiten aan het licht gekomen, die voor die tijd maar slecht bekend waren. Een voorbeeld van deze metingen is gegeven in figuur 41, waar de dagelijkse gang van de windsnelheid voor verschillende hoogten is afgebeeld. Hieruit ziet men, dat op 200 meter de dagelijkse gang precies omgekeerd is aan die vlak bij de grond: op 200 meter is de wind juist 's nachts het sterkst! Bovendien blijkt, dat er overdag nauwelijks verschil is tussen de windsterkte aan de grond en die op grotere hoogte. Als men echter 's nachts met



Plaat 18. Storm (foto J. C. Aalders).



Plaat 19. Tijdens een zware storm kunnen bomen als luciferhoutjes worden gebroken (foto G. P. Können).

een ballon op zou stijgen, dan zou men een sterke windtoename ervaren. Het is gebleken, dat deze toename een gevolg is van de nachtelijke vorming van een – tot voor kort onbekend – windmaximum op een paar honderd meter hoogte, dat vooral ontstaat bij helder weer. Metingen aan dit windmaximum zijn nog betrekkelijk schaars (figuur 41 beslaat slechts één jaar), maar het bestaan van dit maximum is nu boven iedere twijfel verheven. Hierbij is tevens vast komen te staan, dat het wonderlijke gedrag van de grondwind rond zonsondergang, dat hierboven ter sprake kwam, uiteindelijk een gevolg is van de ontwikkeling van dit nachtelijke windmaximum op enige hoogte. In de avonden breidt deze ‘bovenwind’ zich namelijk naar onderen toe uit en geeft dan aanleiding tot een tijdelijk opsteken van de grondwind, zoals wij die na zonsondergang ervaren.

Naast een afname, blijkt de wind aan de grond ’s avonds ook een *krimping* te vertonen. Dit wil zeggen, dat de windrichting tegen de wijzers van de klok in verandert: de wind draait bijvoorbeeld van noord naar west. Dit betekent, dat de wind, ten gevolge van de grotere wrijving aan de grond, meer naar de lagedruk toe gaat waaien. Hoe groter de wrijving (dus hoe ruwer de ondergrond) en hoe

groter de dagelijkse gang in de temperatuur, des te sterker is deze krimping. Boven zee is het verschijnsel vrijwel afwezig, maar boven land kan het verschil in windrichting overdag en ’s nachts zeer aan-

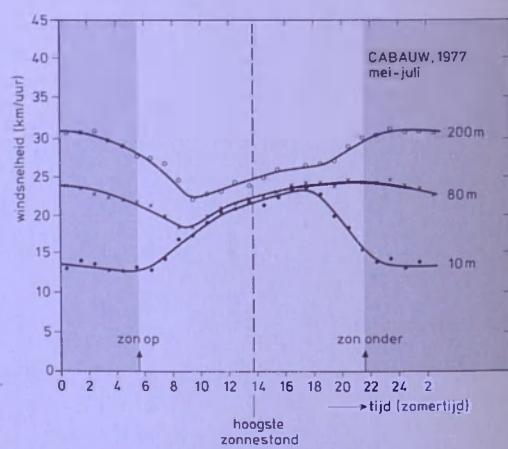


Fig. 41. Gemiddelde dagelijkse gang van de windsnelheid op verschillende hoogten, zoals gemeten op de meetmast te Cabauw bij Lopik. Aan de grond waait het overdag het hardst, maar op enige hoogte staat juist ’s nachts de meeste wind.

zienlijk zijn, tot wel 60° - 90° toe. Dit laatste komt overeen met een winddraaiing van bijvoorbeeld noordwest naar zuidwest in de avonduren, iets wat op heldere zomerdagen regelmatig voorkomt. Gezien dit effect is het voor een fietser gunstiger als hij ten zuiden van zijn werk woont. De precieze oorzaak van deze dagelijkse winddraaiingen is besproken in paragraaf 20. Ook hier geldt echter weer, dat er op grotere hoogten iets afwijkends gebeurt, en de wind 's nachts niet krimpt, maar geleidelijk *ruimt* – dit is een draaiing met de wijzers van de klok mee. Hierdoor bestaan er 's nachts grote verschillen in richting tussen de grondwind en het boven genoemde windmaximum op een paar honderd meter hoogte; overdag is dit verschil – bij afwezigheid van dit maximum – vrijwel afwezig.

Tenslotte noemen wij hier nog een aantal gevallen waarbij een bijzondere vorm van wind optreedt. Het eerste is de zeewind, die ontstaat op een hete, rustige dag; naarmate de dag vordert, steekt er dan een wind van zee op, die koelere lucht (soms met mist) naar het land voert. De motor die deze wind drijft is het temperatuurverschil boven het water en het land. In paragraaf 19 zijn de achtergronden van dit verschijnsel nader besproken. Hier merken wij nog op, dat deze vorm van wind in het klein ook optreedt bij meren, waardoor het op stille, warme dagen, dicht bij eilandjes of bij de oever toch wat waaït. Wedstrijdzeilers maken hier dan gebruik van door op zulke dagen zoveel mogelijk het midden van het meer te mijden.

Een ander merkwaardig verschijnsel is een windhoos: eigenlijk een heel klein depressietje met een enorme hevigheid. Enkele markante gevallen worden genoemd in paragraaf 42. Hier zij nog vermeld, dat de uitwerking van een hoos tijdens passage tweedelig is: eerst een enorme wind uit de ene kant, en dan een even sterke wind uit de andere richting. Bij ons is dit verschijnsel gelukkig zeldzaam, maar bijvoorbeeld in Amerika slaan ze regelmatig vernietigend toe. De windsnelheden die bij een aktieve hoos (tornado genoemd) horen kunnen honderden km/uur bedragen en zijn daarmee de hevigste die op Aarde kunnen voorkomen.

31. Neerslagvorming en neerslagvormen

Neerslag behoort tot de grilligste elementen van het Nederlandse klimaat, zowel wat betreft zijn verschijningsvormen als wat betreft de grote wisseling in hoeveelheden van dag tot dag. Van alle elementen grijpt de neerslag misschien wel het diepst in op ons dagelijks leven, omdat zijn invloed reikt tot uiteenlopende zaken als landbouw, verkeer (gladheid), recreatie, etc. Kwantitatief worden neerslaghoeveelheden gemeten in millimeters; ongeacht de

oorspronkelijke toestand van de neerslagdeeltjes worden de hoeveelheden door de weerstations opgegeven voor de neerslag in *gesmolten* vorm. Hierbij blijkt, dat van een laag van één cm sneeuw na smelting meestal ongeveer één mm water overblijft. Verder komt één mm neerslag overeen met één liter regenwater per vierkante meter.

Neerslagdeeltjes ontstaan als er in de lucht op grote schaal condensatie heeft plaatsgevonden. Dit gebeurt vooral als er opstijgende bewegingen aanwezig zijn, waarbij luchtmassa's naar de hogere delen van de atmosfeer gestuwd worden en hierbij afkoelen. Boven een bepaalde hoogte verandert dan de aanwezige waterdamp (d.w.z. water in gasvorm) in ijsdeeltjes of in waterdruppeltjes: er treedt wolkenvorming op. Nu zijn de meeste regenwolken van het gemengde type, wat wil zeggen dat er op een bepaalde hoogte zowel ijsdeeltjes als (onderkoelde) waterdruppeltjes aanwezig zijn. Op de lange duur kunnen deze deeltjes echter niet naast elkaar blijven bestaan. De ijsdeeltjes groeien namelijk aan ten koste van de druppeltjes: de laatste verdampen en deze waterdamp zet zich als ijs af op de al aanwezige ijskristalletjes. Deze ontwikkelen zich tenslotte tot sneeuwvlokken, die zo zwaar zijn dat ze gaan vallen; tijdens de val komen ze weer in warmere lucht terecht. Is nu de temperatuur in het hele valtraject onder het vriespunt, dan valt er sneeuw; als de onderste lagen van de atmosfeer een temperatuur boven nul hebben, dan smelten de vlokken en valt er regen. Oorspronkelijk is dus vrijwel alle regen die de grond bereikt in de hogere luchtlagen als sneeuw begonnen.

Soms bestaat er een grillig temperatuurverloop door de atmosfeer heen, waarbij het zowel op grote hoogte als op de grond beneden het vriespunt is, terwijl hiertussen een laag is aan te wijzen waar de temperatuur boven nul is. In dat geval smelten de sneeuwvlokken in het middelste traject wel tot regendruppels, maar deze raken in het laatste deel van hun val onderkoeld en bevriezen zodra ze de grond raken. Men spreekt dan van *ijzel*.

Tenslotte bestaat er nog een vierde belangrijke neerslagvorm, namelijk *hagel*. Deze ontstaat als er zeer krachtige opwaartse stromingen in de atmosfeer optreden, waardoor grote neerslagelementen steeds weer naar boven gestuwd kunnen worden. In hun weg door de wolk groeien ze dan steeds verder aan, omdat ze voortdurend met onderkoelde druppeltjes botsen. Hierdoor is het mogelijk dat sommige hagelstenen tot een enorme omvang (tot wel 10 cm diameter toe) kunnen groeien eer ze definitief de grond raken. Hagel is een typische neerslagvorm bij buien.

Het is duidelijk, dat het van grote invloed op onze omgeving kan zijn in welke vorm de neerslag precies valt: een laagje sneeuw werkt volkomen anders



Plaat 20. Een bijzeld landschap ademt een zeer aparte sfeer (foto M. Scharringa).

uit dan een gelijkwaardige laag regen op de grond; ijzel werkt zelfs geheel ontwrichtend op onze samenleving. Figuur 42 geeft het gemiddeld aantal sneeuw-, ijzel- en hageldagen per maand voor De Bilt aan. Hierbij is bijv. een sneeuwdag zo gedefinieerd, dat er op de desbetreffende dag ten minste éénmaal sneeuwval is geconstateerd. Het is dus niet uitgesloten dat er op dezelfde dag ook neerslag in een andere vorm viel. Uit de figuren leest men af dat er in het hele jaar kans op hagel bestaat, zij het dat deze kans in de zomer twintig keer kleiner is dan in de wintermaanden. Toch is de zomerse hagel meestal spectaculairder, omdat juist dan de grootste hagelstenen kunnen vallen. Sneeuw kan in de maanden oktober-mei vallen; in januari en februari worden er gemiddeld 7 sneeuwdagen gemeld. Sneeuwval vóór 15 oktober en ná 15 mei is uiterst zeldzaam, maar niet uitgesloten: op 13 oktober 1975 viel er in Nederland bijvoorbeeld een flink pak. Zie paragraaf 42. Ijzel is de zeldzaamste neerslagvorm; dit treedt gemiddeld maar op 2½ dag per jaar op. De uitwerking is echter des te groter: ijzel heeft meestal een enorme verkeerschaos ten gevolge, die lang in het geheugen blijft. Hoewel er natuurlijk grensgevallen zijn, laten de meteorologische omstandigheden waarbij neerslag valt zich ruwweg in twee klassen onderscheiden. In het eerste geval is er een zwakke stijgende luchtbeweging (in de orde van 0,1 km/uur) in de atmos-

sfeer aanwezig, maar dit gebeurt in een enorm groot gebied. Hieruit valt een langdurige, min of meer gelijkmatige neerslag. Naast deze neerslaggebieden bevinden zich even grote gebieden waarin compenserende daalbewegingen plaatsvinden; hierin verdampen aanwezige neerslagdeeltjes. Bij het voorbijtrekken van deze gebieden wordt dus een langdurige periode met veel bewolking en regen afgewisseld door een even grootschalig gebied met droogte en opklaringen. De neerslaggebieden zijn de *fronten* en *depressies*; de mooiweergebieden de *(trek)hogedrukgebieden*. Op plaat 21 is te zien, dat de grootschalige neerslaggebieden op Aarde vaak betrekkelijk smal en zeer langgerekt zijn.

Bij de tweede klasse van neerslagval is sprake van kleine gebieden waarin een kortdurende, hevige neerslag valt. Dit zijn de buien, waarin de snelheid van de opwaartse luchtbewegingen wel 20 km/uur of meer kan bedragen. Dergelijke hoge stijgsnelheden zijn altijd geconcentreerd in kleine gebieden;

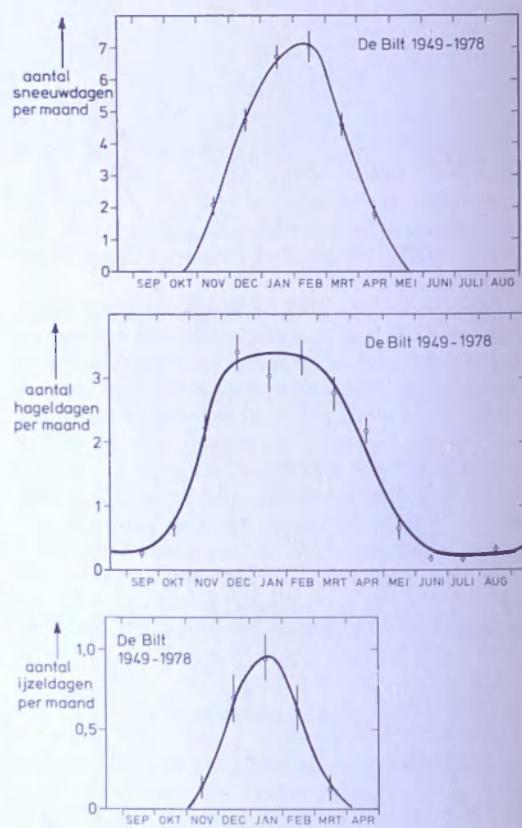
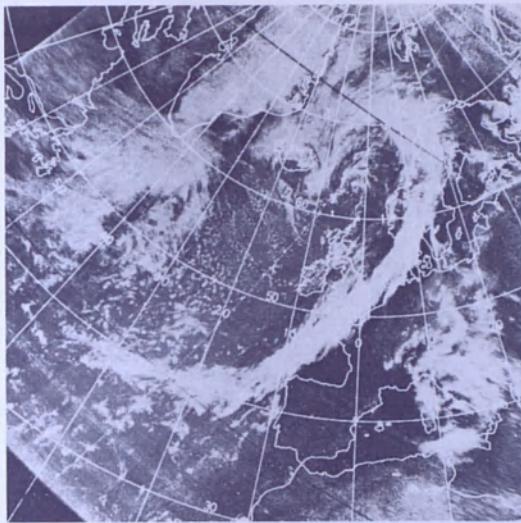


Fig. 42. Gemiddeld aantal sneeuw-, hagel- en ijzeldagen per maand voor De Bilt. Onder bijvoorbeeld een sneeuwdag wordt een dag verstaan waarop minstens één maal sneeuwval is geconstateerd; hierbij is het dus niet uitgesloten dat er ook andere neerslag is gevallen. Het aantal neerslagdagen per maand is ongeveer 20 en vertoont vrijwel geen jaarlijkse gang.



Plaat 21. Deze satellietopname toont de bewolking van een front. Zulke neerslaggebieden zijn meestal betrekkelijk smal maar zeer langgerekt.

met deze snelheid kan een luchtdeeltje in minder dan een halfuur tijd van de grond tot de tropopauze op 10 km hoogte stijgen. Hieruit blijkt, dat een grote buienwolk in betrekkelijk korte tijd uit het niets kan verrijzen. Dit gebeurt echter alleen bij een onstabiele atmosferische opbouw, dus als het boven zeer veel kouder is dan aan de grond. Dit is het geval als het aan de grond relatief warm of in de bovenlucht relatief koud is. In zo'n geval kan een luchtdeeltje ongehinderd, op de wijze van een heteluchtballon tot aan de tropopauze doorstijgen, omdat het gedurende zijn hele tocht naar boven warmer blijft dan de omringende lucht. In de zomer neemt men boven land op hete dagen vaak waar dat het 's ochtends geheel onbewolkt is, maar dat zich in de loop van de dag, als de temperatuur aan de grond boven een bepaalde waarde is gestegen, wolken vormen die uitgroeien tot een buienstadium (zie paragraaf 34). Omgekeerd kunnen er zich ook buienwolken ontwikkelen als er in de hogere luchtlagen koude lucht binnenstroomt; dit kan in ieder jaargetijde en op ieder tijdstip van de dag plaatsvinden.

Kenmerkend voor buien zijn de geringe afmetingen van het gebied waar neerslag valt; meestal is de diameter ervan minder dan 10 km. Buiten de buienwolk zijn er compenserende, krachtige daalbewegingen in de atmosfeer, zodat het daar helder is. Een bui wordt daarom vaak gevolgd door felle opklaringen. In dit opzicht is een buiige dag vergelijkbaar met een periode van frontpassages. Het verschil is, dat bij buien de neerslag en opklaringen elkaar in veel hoger tempo afwisselen, tot vele keren

op een dag toe. Verder zal zware hagel nooit uit een front vallen, omdat daar de heftige vertikale bewegingen ontbreken, die noodzakelijk zijn voor de vorming van hagelstenen. Voor een landstation als De Bilt blijkt dat 's zomers de helft van de neerslag in de vorm van buien valt, in de herfst en lente ongeveer een derde en in de winter een kwart. Bij een typisch kuststation als Den Helder zijn deze waarden voor de zomer en herfst 40% en voor de lente en winter een kwart. Hierbij speelt een rol, dat het aan de kust in de zomer meestal minder warm is dan in het binnenland, waardoor de kans op buien verkleind wordt. In de herfst daarentegen, worden boven land geen hoge temperaturen meer bereikt, maar het zeewater is nog warm, zodat er zich daar gemakkelijk buien vormen die dan het land kunnen dringen. Zie ook paragraaf 18, 34 en 35.

32. De valsnelheid van neerslagdeeltjes

Figuur 43 geeft de valsnelheid van regendruppels en sneeuwvlokken aan ten opzichte van *stilstaande* lucht. Wat is weergegeven is de *eindsnelheid* van de deeltjes, waarbij dus de luchtweerstand in evenwicht is met de zwaartekracht. Deze snelheid hangt

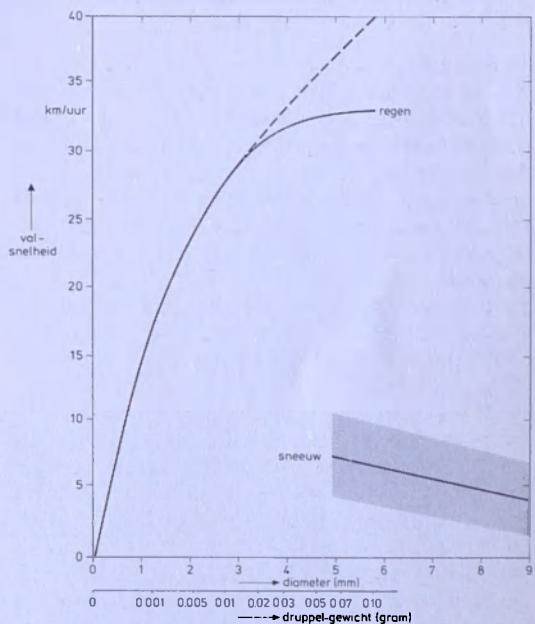


Fig. 43. Valsnelheid van regendruppels en van sneeuwvlokken in afhankelijkheid van hun afmeting. Het corresponderend gewicht van de druppels is eveneens aangegeven. De gestippelde lijn is de valsnelheid van druppels als er geen vervorming zou optreden; de getrokken lijn de werkelijke snelheid. Druppels met een diameter groter dan 6 mm zijn niet stabiel en breken tijdens de val. De snelheid van sneeuw is aangegeven met een band, omdat de luchtigheid van vlokken kan verschillen.



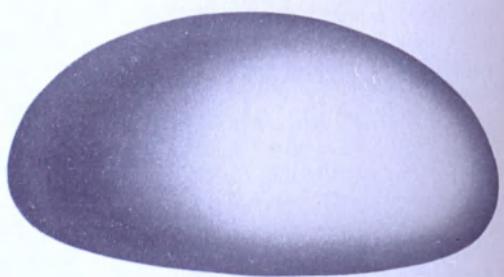
Plaat 22. Natte wegen bij een felle opklaring: typerend voor een buisituatie (foto H. R. A. Wessels).

af van de grootte (het gewicht) van de neerslagdeeltjes. De eigenlijke snelheid hangt natuurlijk tevens af van de windsnelheid. Hele kleine regendruppels en sneeuwvlokken kunnen een zo lage valsnelheid ten opzichte van de lucht hebben, dat die gemakkelijk door de vertikale luchtbewegingen kan worden overtroffen – zij bereiken maar zeer moeilijk de grond.

In het algemeen geldt, dat een neerslagdeeltje sneller valt als zijn afmetingen groter zijn. Een uitzondering hierop vormen de sneeuwvlokken: deze zijn vaak van een luchtiger structuur als ze groter zijn. Hier kan men als regel aanhouden, dat grotere vlokken meestal iets langzamer vallen. De precieze valsnelheid van vlokken hangt echter af van hun opbouw, en die kan van geval tot geval verschillend zijn. Daarom is in figuur 43 de valsnelheid van sneeuw aangegeven met een band in plaats van een lijn.

Voor regendruppels geldt wel dat de valsnelheid groter is bij grotere druppels. Nu zijn de afmetingen van regendruppels echter begrensd: als zij zwaarder zijn dan 0,1 gram (dit komt overeen met een ronde druppel met diameter 6 mm), dan spatten zij gedurende hun val in kleinere druppels uiteen. De getrokken lijn in figuur 43 geeft de gemeten valsnelheid van druppels weer; de onderbroken lijn de berekende valsnelheid voor bolvormige waterdrup-

pels. Als de druppel een grotere diameter heeft dan 3 mm, dan wijken berekening en waarneming van elkaar af. De oorzaak hiervan is, dat grotere druppels gedurende hun val van vorm veranderen: hun *onderkant* is afgeplat (plaat 23). Hoe groter de druppel, des te sterker is deze afplatting. Hierdoor is de luchtweerstand groter dan wanneer de bolvorm gehandhaafd zou blijven; deze afplatting geeft een soort parachutewerking aan de druppel. Bij de grootste druppels is de luchtweerstand ten gevolge van de vormverandering ongeveer 50% groter en het gevolg hiervan is duidelijk zichtbaar in de grafiek.



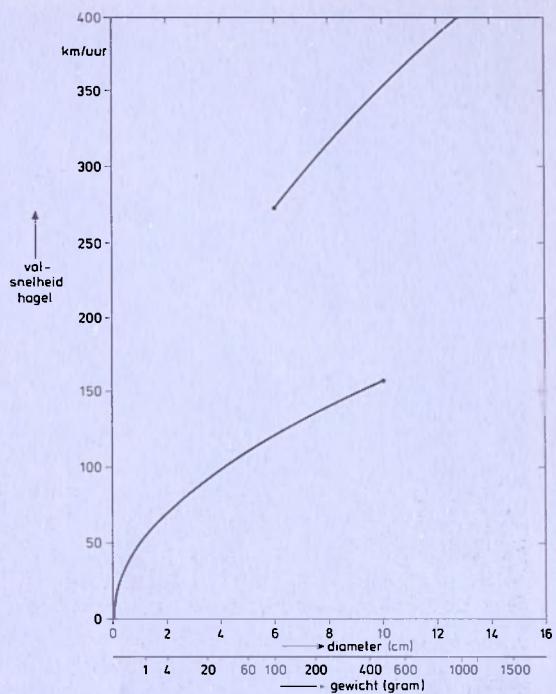
Plaat 23. Grote druppels nemen bij het vallen een afgeplatte vorm aan. Dit veroorzaakt een soort parachutewerking waarbij ze minder hard vallen dan wanneer ze rond zouden blijven.

Fig. 44. Valsnelheid van ronde hagelstenen in afhankelijkheid van hun diameter. Het corresponderend gewicht van de stenen is eveneens weergegeven.

Hagelstenen met een gewicht tussen 100 gram en 500 gram kunnen met twee eindsnelheden naar beneden komen: bij een afremmen vanaf een zeer hoge snelheid is de eindsnelheid hoger dan bij een versnellen vanaf een lage snelheid.

Figuur 44 geeft de valsnelheid van hagelstenen weer, waarbij is aangenomen dat ze altijd precies bolvormig zijn. De grootste diameter in de grafiek komt ongeveer overeen met die van de grootste die ooit op Aarde gevallen zijn. Uit de grafiek leest men af, dat er voor bepaalde hagelstenen *twoe* eindsnelheden mogelijk zijn. Op dit weinig voor de hand liggende gedrag gaan wij hieronder nader in.

Als een vallend bolletje boven een bepaalde snelheid komt, dan neemt de luchtweerstand bij verdere versnelling toe met het kwadraat van de snelheid ten opzichte van de lucht. Dit is al het geval in de buurt van de eindsnelheid van een bol die een gewicht van meer dan 0,005 gram heeft, en is onafhankelijk van de samenstelling ervan. Als de bol uit water bestaat, komt dit overeen met een druppeldiameter van 2 mm en een bijbehorende eindsnelheid van 25 km/uur. Als men de snelheid van de



Plaat 24. Grote hagelstenen kunnen met een vernietigende snelheid de grond bereiken (foto NCAR).



Plaat 25. Glasschade door hagel (ANP-foto).

bol echter veel verder opvoert, dan gebeurt er iets vreemds, want op een bepaald moment wordt de luchtweerstand plotseling zo'n vijf keer *lager*. Deze abrupte afname in luchtweerstand wordt veroorzaakt doordat het karakter van de luchtstromingen rond de bol zich bij deze kritische snelheid plotseling wijzigt: de regelmatige, 'stroopachtige' stroming bij lage snelheid maakt plaats voor een chaotischer stromingspatroon met luchtwervels. Een bolletje dat met deze lagere luchtweerstand valt, beweegt zich met een $\sqrt{5} = 2,2$ keer hogere snelheid door de lucht, en valt 'als een steen' naar beneden.

Nu is bij de eindsnelheid de zwaartekracht altijd in evenwicht met de luchtweerstands kracht. Als een bolletje zwaarder is dan ongeveer 500 gram, dan bereikt hij gedurende zijn versnelling de kritische snelheid en valt verder naar de hoge eindsnelheid in figuur 44. Is het gewicht lager, dan gebeurt dit niet en ligt de eindsnelheid op de onderste lijn in de figuur; hij valt dus minder hard. Anderzijds is het zo, dat als een bolletje zwaarder is dan 100 gram, en hij op de een of andere wijze op zijn valweg zo'n hoge snelheid heeft gekregen dat hij boven zijn kritische snelheid is gekomen, hij ook verder met deze hoge snelheid blijft vallen: de zwaartekracht trekt hard genoeg aan hem om deze toestand te

handhaven. Voor zulke bolletjes gelden dus twee eindsnelheden: als hij met een lage snelheid is begonnen, valt hij ook verder 'als een regendruppel', maar als hij onderweg een zeer hoge snelheid heeft gekregen (doordat hij bijvoorbeeld even in een neerwaartse luchtbeweging heeft gezeten), dan valt hij 'als een baksteen' verder. De genoemde grenzen van 100 en 500 gram gelden voor ieder bolletje, ongeacht het materiaal waaruit het bestaat; voor ijsbolletjes komt dit overeen met diameters van resp. 6 en 10 cm. De grafiek is dus voor bollen van alle mogelijk samenstelling (stenen, ijzeren kogels) te gebruiken. De eindsnelheid hangt echter bij gelijk gewicht enigszins af van de samenstelling: als het soortelijk gewicht bijv. 8 maal hoger is dan dat van ijs, dan is de eindsnelheid twee maal groter dan de grafiek aangeeft.

Het is duidelijk, dat hagelstenen die met de hoge valsnheid naar beneden komen, een vernietigende uitwerking kunnen hebben en zelfs gevaarlijk zijn voor mens en dier. Gelukkig komen extreem zware stenen (meer dan 500 gram) maar zeer sporadisch op Aarde voor; bij ons behoren stenen met een diameter van meer dan 2 cm al tot de zeldzaamheden. In Nederland is dus de kans dat er ooit een hagelsteen 'als een baksteen' naar beneden zal komen maar uiterst klein.

33. Neerslag en droogte in Nederland

Nederland heeft de reputatie, vooral bij zijn eigen inwoners, een nat 'kikkerland' te zijn. Eigenlijk ten onrechte, zoals uit deze paragraaf zal blijken.

Figuur 45 geeft weer, hoeveel millimeter neerslag er gemiddeld per jaar in Nederland valt. Opvallend is, dat de grootste hoeveelheden in de hoogste delen van Nederland gemeten worden; de vorm van het landschap speelt dus zelfs in ons vlakke land een duidelijke rol. In bergachtige landen is dit nog veel duidelijker. Gemiddeld valt er in Nederland ongeveer 800 mm neerslag per jaar, maar van jaar tot jaar kunnen de hoeveelheden zeer verschillend zijn. Zo vindt men in de reeks waarnemingen van 1900-1970 droge jaren met minder dan 400 mm en zeer natte jaren met meer dan 1150 mm neerslag. Zulke jaren volgen elkaar op in een grillig, onvoorspelbaar patroon.

Figuur 46 geeft de gemiddelde jaarlijkse gang van de neerslag voor De Bilt. De winter- en lente maanden zijn over het algemeen droger dan de zomer- en herfstmaanden, terwijl gemiddeld gesproken augustus de natste maand van het jaar is. Blijkbaar is dit laatste het gevolg van de zomerse (namiddag) buien, die ontstaan bij een onstabiele opbouw van

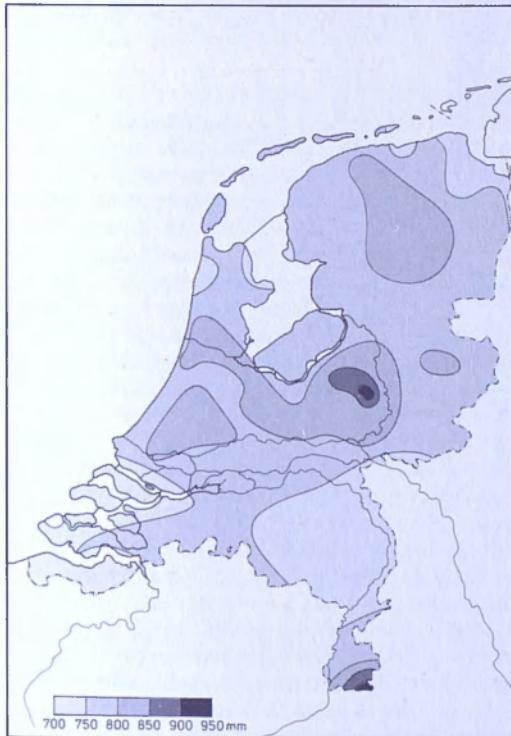


Fig. 45. Verdeling van de gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid over Nederland. De hoogste gebieden zijn gemiddeld iets natter dan de lagere gedeelten van ons land.

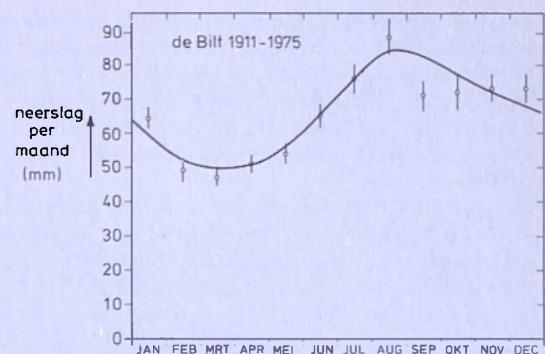


Fig. 46. Gemiddelde jaarlijkse gang van de neerslaghoeveelheid in De Bilt. Hoewel de tweede helft van het jaar wat meer neerslag brengt, is dit effect niet zeer uitgesproken. Vlak aan zee valt de gemiddeld natste periode iets later in het jaar.

de atmosfeer en een grote opwarming van de ondergrond (zie ook paragraaf 18). Het beeld van figuur 46 is bij alle landinwaarts gelegen meetstations aanwezig; overal blijkt dat de tweede helft van het jaar 1½ à 2 keer zoveel neerslag brengt. Dicht bij de kust valt de natste periode wat later in het jaar, in de maand oktober of zelfs november. Zoals gezegd ontwikkelen zich daar de zomerse namiddagbuien minder gemakkelijk (omdat het daar koeler blijft), terwijl er in de herfst buien binnendrijven die boven het warmere zeewater gevormd zijn. Dit laatste gebeurt overigens bij voorkeur 's nachts, omdat dan de onstabiliteit van de atmosfeer boven zee het grootst is. Zulke buien komen meestal niet ver het land in, omdat ze bij hun tocht over het koude land snel hun activiteit verliezen. (Zie ook paragraaf 18 en 35).

Als aanvulling op figuur 46 geeft figuur 47 de *gemiddelde herhalingsperiode* voor dagen met meer dan een bepaalde hoeveelheid (gesmolten) neerslag, wat de kans op optreden weergeeft: bij een herhalingsperiode van 20 dagen is de kans op optreden per dag 5%, en treft men dus gemiddeld ongeveer 18 van zulke dagen in een jaar aan. Een belangrijk punt in deze grafiek is de hoeveelheid van $\frac{1}{4}$ mm neerslag per dag, omdat daar meestal de grens tussen nat en droog wordt gelegd: is er wel neerslag op een bepaalde dag gevallen, maar bedraagt deze minder dan $\frac{1}{4}$ mm, dan spreekt men van 'geen neerslag van betekenis'. Omdat men in de praktijk de neerslaghoeveelheid op tienden van millimeters afrondt, komt een natte dag dus overeen met een dag waarop 0,3 mm of meer is gemeten. Valt er minder neerslag dan $\frac{1}{4}$ mm, dan merkt men er meestal nauwelijks iets van. Dit is te begrijpen, want $\frac{1}{4}$ mm neerslag komt overeen met slechts zes regendruppels met een diameter van 2 mm op één vierkante centimeter, en bij zulke hoeveelheden blijven de straten meestal nog vrijwel droog. Alleen in geval van ijzel,

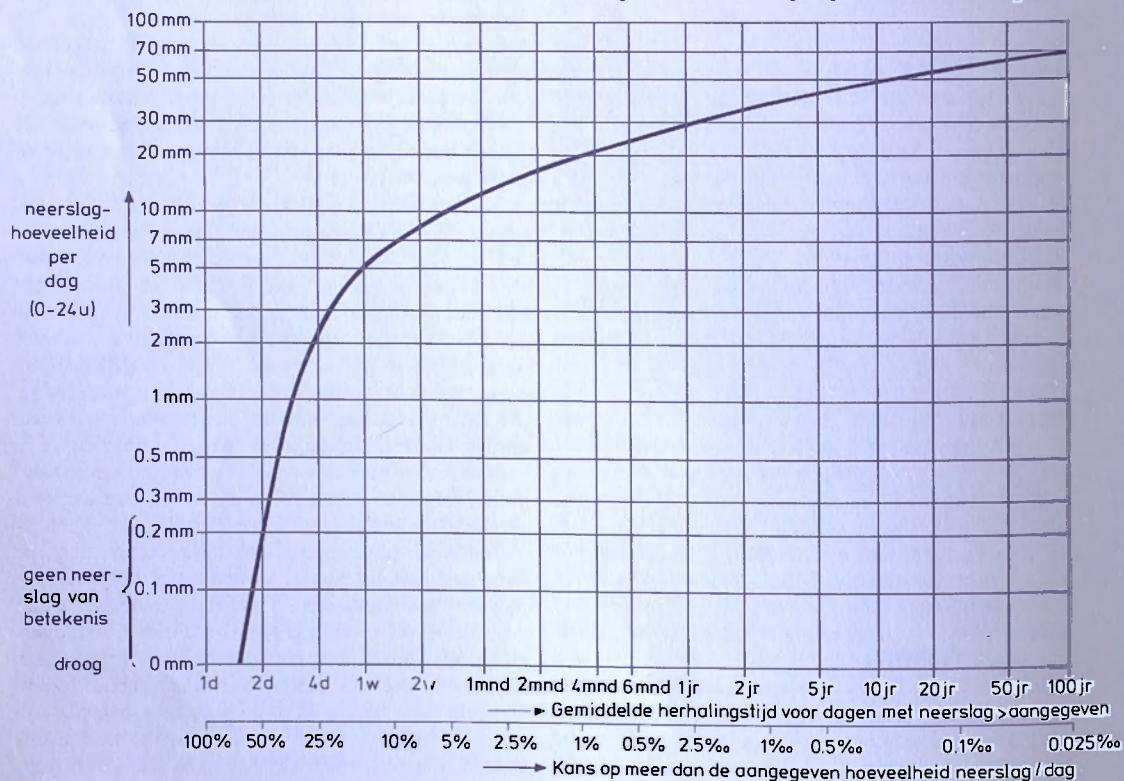
hagel of sneeuwval grijpt een zeer kleine neerslaghoeveelheid nog wel in: ten eerste is een klein laagje al voldoende om gladheid te veroorzaken, en ten tweede komt 0,1 mm gesmolten sneeuw overeen met een laag van ongeveer één mm ongesmolten sneeuw, en dit is voldoende om de wereld wit te maken.

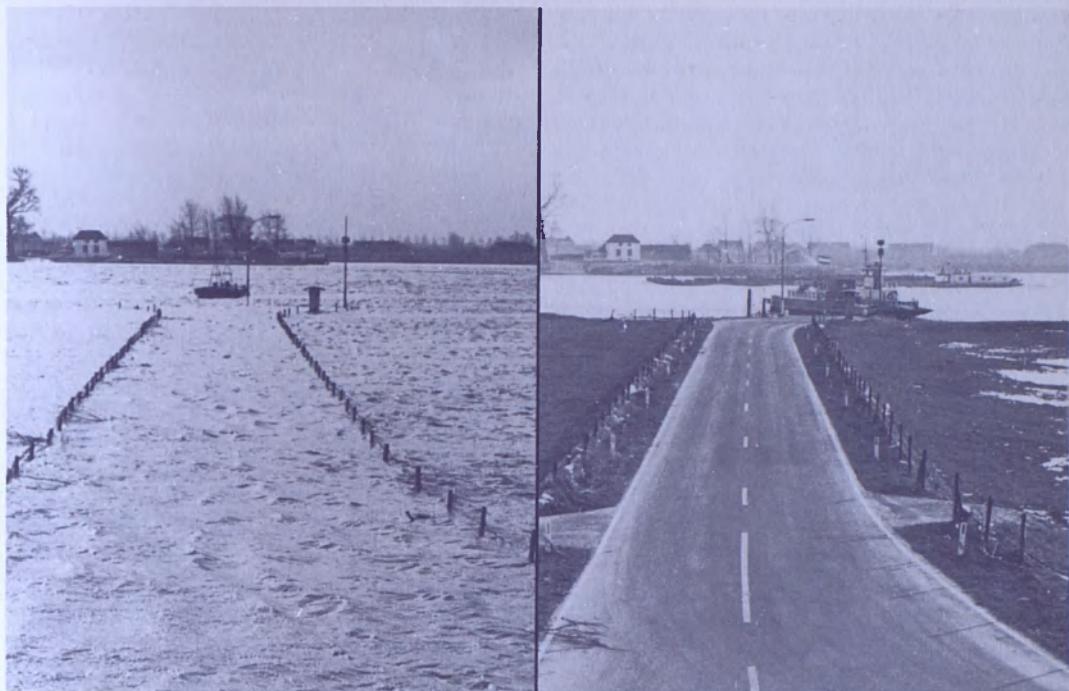
Uit figuur 47 leest men af, dat er op een gegeven plaats in Nederland gemiddeld twee van de drie dagen regen valt (hoewel de grafiek strikt genomen voor De Bilt is gemaakt, geldt hij even goed voor andere plaatsen in het land). Gemiddeld eens in de twee dagen is er een natte dag (meer dan $\frac{1}{4}$ mm neerslag) en een keer per week valt er op één dag 5 mm of meer. Slechts eens in de drie weken is er een dag met meer dan 10 mm neerslag; dit gebeurt dus gemiddeld maar ongeveer 18 keer per jaar. Ook hier moet men weer bedenken, dat natte dagen grillig door het jaar heen zijn verdeeld en het best kan gebeuren dat series van dagen met veel neerslag afwisseld worden door perioden met veel droge

Fig. 47. Gemiddelde herhalingstijd voor dagen met meer dan de aangegeven hoeveelheid neerslag voor De Bilt. Gemiddeld gesproken komt er bijvoorbeeld eens in de vier dagen een dag met meer dan 2 mm neerslag voor, d.w.z. 91 keer per jaar. De kans op zo'n dag is dan $\frac{1}{4} = 25\%$; dit is aangegeven onder aan de grafiek. De grafiek geeft slechts een *gemiddelde* weer: als er zo'n dag optreedt, dan kan men *beslist* niet aan de hand ervan de volgende voorspellen.

dagen. Wel is het zo, dat neerslag, evenals vele andere elementen, een zekere persistentie vertoont: terwijl de kans op een natte dag gemiddeld 46% is, bedraagt deze voor een opeenvolgende natte dag 65%. Hetzelfde geldt voor dagen waarop minder dan $\frac{1}{4}$ mm neerslag valt, hier zijn deze getallen resp. 54% en 70%. Ook als men de grens tussen nat en droog anders legt (bijvoorbeeld bij 10 mm), dan blijft de persistentie gehandhaafd.

In Nederland kan men dus op ongeveer de helft van het aantal dagen neerslag van betekenis verwachten. Voor de stadsmens hoeft dit nog niet te betekenen dat hij op zulke dagen ook neerslag voelt: 's nachts slaapt hij en overdag zit hij voor het grootste deel van de dag binnen. Als wij aannemen dat hij twee keer per dag één uur buiten is (bijv. van 8-9 uur en van 17-18 uur), dan blijkt hij gemiddeld eens in de 10 dagen regen te voelen, waarbij natuurlijk weer in een groot aantal gevallen maar een paar druppels. Van lichte regen heeft hij natuurlijk weinig last: vanuit een auto lijkt het dan behoorlijk te regenen en zet men de ruitenwissers aan, maar op de fiets ervaart men dat het nauwelijks nodig is een regenjas aan te trekken. Op deze wijze gezien kan men stellen dat het bij ons eigenlijk maar weinig regent: zelfs als er op een bepaalde dag regen valt, dan is er nog steeds een flinke kans dat men die misloopt. Inderdaad blijkt gemiddeld maar op on-





Plaat 26. Als er stroomopwaarts een tijdlang veel regen is gevallen, dan is de waterstand in onze rivieren hoog. Omgekeerd heeft een droogteperiode in Europa een lage waterstand ten gevolge (foto M. Ulrich).

geveer 14% van de tijd bij ons neerslag te vallen, waarvan bovendien de helft zo licht is, dat die vrijwel onopgemerkt blijft. Slechts in 7% van de tijd valt dus regen van betekenis. De meeste neerslag valt bij zuidwestenwind, de minste bij noordoosten- of oostenwind. Dit houdt echter geen voorspelregel in: bij het passeren van een front verandert de windrichting (met de wijzers van de klok) die bij het naderen best zuidoost geweest kan zijn. Om de kans op droog weer te voorspellen, moet men dus weten dat de wind niet alleen bijvoorbeeld zuidoost is, maar dit ook zal blijven – iets wat men zonder het gebruik van dagelijkse weerkaarten niet kan weten.

In het geheel genomen zijn de neerslaghoeveelheden in Nederland zeker niet buitenissig groot, vooral niet als men ze vergelijkt met die in andere landen. Vlak over de grens, in de Ardennen en in Sauerland valt bijvoorbeeld al bijna twee keer zoveel als bij ons, terwijl in sommige tropische gebieden wel tien keer zoveel regen valt (zie paragraaf 41). Typerend voor het Nederlandse regenklimaat is eigenlijk, dat wij niet alleen door regenperioden, maar ook door *droogteperioden* geteisterd kunnen worden. Voor de recreatie is zo'n droogteperiode natuurlijk alleen maar gunstig, maar bijvoorbeeld voor de landbouw kan zo'n droge periode bijzonder nadelig zijn. In feite is de situatie in de zomer bij ons al zo, dat er

'negatieve neerslag' valt: de grond heeft de neiging om uit te drogen. Dit betekent, dat de gemiddelde verdamping in de zomermaanden groter is dan de gemiddelde neerslaghoeveelheid, en dat men de grond dus zal moeten besproeien om de vochtigheid ervan op peil te houden. Dit effect treedt op in de maanden mei tot augustus, en is het sterkst in juni, als de zon hoog staat en de dagen lang zijn. Wil men de gemiddelde verdamping in de maand juni compenseren, dan zou er 100 mm neerslag moeten vallen. Uit figuur 46 leest men af, dat er gemiddeld maar 65 mm in deze maand valt. Niet voor niets zijn de paden en velden vaak zo droog en stoffig in de zomermaanden!

Hoe droger en zonniger een zomermaand, des te groter is zijn neerslagtekort (zijn 'negatieve neerslag', dus). Dit werkt twee kanten op, omdat bij droog en zonnig weer de verdamping nog eens extra groot is. Omgekeerd is bij bewolkt en regenachtig weer de verdamping klein, zodat de neerslag niet snel verdwijnt en de grond al gauw vochtig blijft. In feite hebben wij dus in de zomermaanden te maken met een nogal precaire situatie, waarbij de balans al gauw om kan slaan van een neerslagtekort naar een neerslagoverschot. Beide situaties kunnen ongunstig zijn voor de landbouw. Hierdoor komt het dan ook, dat er bijna ieder jaar wel gewassen zijn, waarvan de oogst mislukt.

Om een idee te geven van de kans op extreme droogteperioden, is in figuur 48 de gemiddelde herhalingstijd ervan gegeven, waarbij wij hier met een droogteperiode een *onafgebroken* reeks dagen met minder dan $\frac{1}{4}$ mm neerslag bedoelen. Men ziet, dat er gemiddeld drie keer per jaar zo'n periode van meer dan tien dagen voorkomt en gemiddeld eens in de $5\frac{1}{2}$ jaar een droogteperiode van drie weken of langer. Hierbij geldt natuurlijk weer, dat deze herhalingstijden slechts gemiddelden zijn, en geen voorspelregel inhouden. Wel is het zo, dat de kans op een lange droogteperiode in het zomerhalfjaar wat groter is dan in de winter. Bij deze figuur moet men wel bedenken, dat hier het begrip droogteperiode wel erg streng is gedefinieerd: als er in drie weken tijd één of twee dagen met 1 mm neerslag zijn geweest, dan ondervindt men deze drie weken toch als een ernstige droogteperiode. Zulke droogteperioden komen veel vaker voor dan uit deze grafiek blijkt.

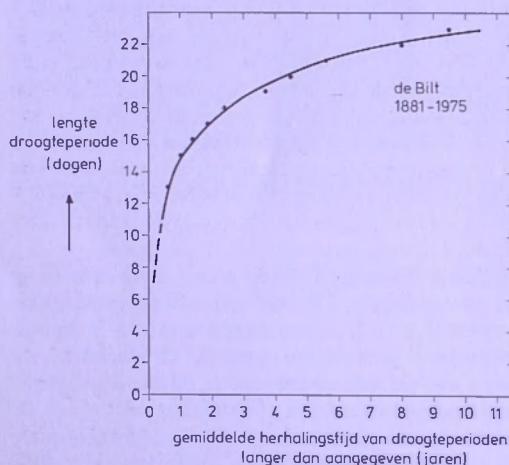


Fig. 48. Gemiddelde herhalingstijd van droogteperioden. Onder een droogteperiode wordt hier een aaneengesloten reeks dagen met minder dan $\frac{1}{4}$ mm neerslag verstaan.

34. Zware neerslag en buien

Vooral in het zomerhalfjaar kan het wel eens gebeuren, dat er in korte tijd opeens een enorme hoeveelheid neerslag valt. Dergelijke zware buien blijven veelal lang in het geheugen, omdat ze meestal gepaard gaan met een heftig onweer, terwijl de neerslagmassa's tot zware overlast aanleiding kunnen geven. Dit kan men zich wel voorstellen, omdat er in bepaalde gevallen in een kwartier tijd wel 20 mm neerslag kan vallen, en dat is evenveel als de totale neerslag van 10 'gemiddelde' dagen! Op zulke watermassa's zijn niet alle rioleringen berekend, zodat een ware overstroming hiervan het gevolg kan zijn.

Gelukkig behoren dergelijke gebeurtenissen tot de zeldzaamheden. Uit figuur 47 zien wij, dat er ge-

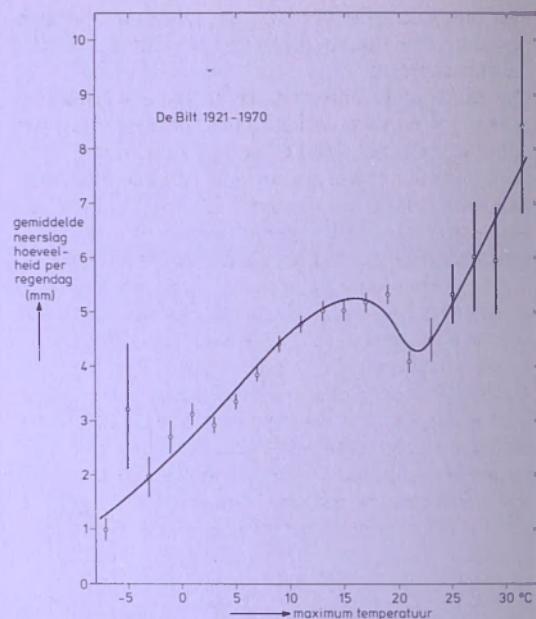


Fig. 49. Neerslaghoeveelheid per regendag (meer dan $\frac{1}{4}$ mm neerslag), in afhankelijkheid van de maximumtemperatuur. Hoe hoger de temperatuur, des te meer neerslag kan er vallen. De neerslag bij de hoogste temperaturen komt voornamelijk uit buien; bij lagere temperaturen uit fronten. Het minimum van de kromme markeert de plaats waarbij beiden niet zo actief zijn. Overigens is de kans op een neerslagdag bij zeer hoge of zeer lage temperatuur kleiner dan bij gematigde temperaturen.

middeld maar één keer per jaar een dag met meer dan 30 mm neerslag voorkomt en gemiddeld eens in de tien jaar meer dan 50 mm op een dag valt. Deze getallen gelden echter voor één bepaalde plaats; over heel Nederland gezien gebeurt het natuurlijk vaker.

Zoals men uit ervaring wel weet, is de kans op zeer zware neerslag in de zomer veel groter dan in de winter. Inderdaad blijkt, dat er bijvoorbeeld een vier keer zo grote kans is op een dag met meer dan 35 mm neerslag in het zomerhalfjaar. Valt de neerslag in de vorm van sneeuw, dan zijn zulke hoeveelheden nog veel zeldzamer: een laag verse sneeuw van 15 cm op één dag (dat is 15 mm neerslag in gesmolten vorm) behoort al tot de zeer grote uitzonderingen. Blijkbaar is er een verband tussen de temperatuur van de hogere delen van de atmosfeer en de hoeveelheid neerslag die er uit kan vallen. Dit is begrijpelijk, want warmere lucht kan meer waterdamp bevatten, en als gevolg hiervan zijn er dus grotere neerslaghoeveelheden mogelijk, maar er is meer dat meespeelt. Zo is een zeer hoge temperatuur meestal gekoppeld aan een zomers hogedrukgebied, en in een dergelijke situatie kunnen de regenfronten van de oceaan maar moeilijk ons land bereiken: als er toch regen valt, dan is dat meestal het gevolg van onstabilitéit in de atmosfeer,

dus van buien. De neerslag hiervan kenmerkt zich doordat hij korter duurt, maar wel heviger is dan die van de fronten.

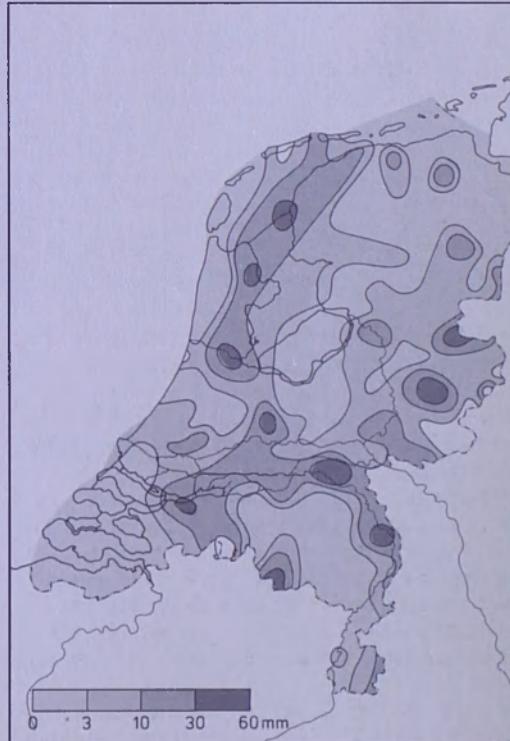
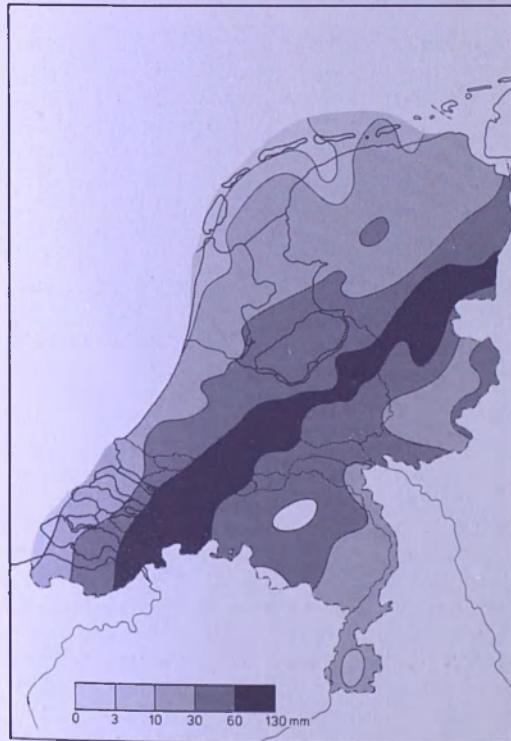
Om dit alles te illustreren, is in figuur 49 weergegeven hoe de gemiddelde hoeveelheid neerslag per *natte* dag afhangt van de bereikte maximumtemperatuur, welke nauw gekoppeld is aan de temperatuur van de hogere luchtlagen. Men ziet hieruit, dat deze hoeveelheid tot ongeveer 16 graden onderdaad toeneemt met de temperatuur (de atmosfeer kan meer vocht opnemen), maar daarna even minder wordt: fronten komen niet meer zo aktief over, terwijl de buien nog geen extreme neerslaghoeveelheden opleveren. Bij nog hogere temperaturen worden de buien snel actiever, zodat de kromme daar scherp stijgt. Wij zijn hier aangeland in het gebied van de zware zomerse buien, die, zoals wij verderop zullen zien, voor geweldige neerslaghoeveelheden kunnen zorgen. Natuurlijk is het zo, dat dagen met een zeer hoge (of lage) maximumtempe-

ratuur zeldzaam zijn en bovendien vaak droog. Hierdoor is de bijdrage van deze neerslag op het *totaal* van het jaar toch vrij gering. Dit neemt niet weg, dat figuur 49 ons een beeld verschafft van wat er kan gebeuren: als zo'n dag eenmaal optreedt, dan 'vergeet' men al gauw hoe anders de temperatuur kan zijn en vertelt de grafiek wat ons te wachten kan staan.

Extreme neerslag draagt altijd in zekere mate een plaatselijk karakter. Dit is begrijpelijk, want de zwaarste neerslag wordt veroorzaakt door buiencomplexen, en deze hebben altijd een beperkte afmeting. Het kan echter wel gebeuren, dat deze complexen zich over grotere afstanden groeperen, bijvoorbeeld tot buienlijnen ('onweersfronten'). In zo'n geval is de verdeling van de neerslag wat regelmatiger dan wanneer er sprake is van losse buiencomplexen.

Ter illustratie hiervan is in figuur 50 en 51 de neerslagverdeling over Nederland bij twee markante gevallen van extreme neerslag weergegeven. In het eerste geval was er sprake van een langgerekte buienlijn, die van zuidwest naar noordoost over Nederland is getrokken; in het tweede geval was er weinig stroming en viel de neerslag uit buiencomplexen die vrijwel niet van plaats veranderden (stationaire buiencomplexen). De buienlijn van figuur 50 bracht in heel Nederland regen, waarbij een scherp gebied aan te geven is waar de buien de

Fig. 50-51. Twee gevallen van zware neerslag. Links de situatie op 4 juli 1952, toen een aktief onweersfront vanuit het zuidwesten overtrok. Het kaartje geeft de neerslaghoeveelheden die dit opleverde. Rechts de situatie op 7 juni 1961. Toen stond er maar weinig stroming, zodat de zware neerslag tot enkele plaatzen beperkt bleef. Situaties als deze doen zich regelmatig in de zomer voor, al leveren ze lang niet altijd zo'n enorme hoeveelheid regen op.



grootste aktiviteit hadden. Bij de stationaire buien van figuur 51 is er echter duidelijk sprake van geïsoleerde plaatsen met veel neerslag. Deze plekken markeren in principe de heetste plaatsen op deze dag, of beter de plaatsen waar het verschil in temperatuur tussen de grond en de bovenlucht het grootst was. Maar er is nog een tweede reden voor het lokale karakter van deze neerslag. Het blijkt namelijk, dat een stationair buiencomplex lucht kan aanzuigen uit zijn omgeving en dit eveneens laat uitregenen; hierdoor wordt de lucht die grenst aan het complex steeds droger. Als gevolg hiervan neemt de kans dat zich naast het buiencomplex een nieuwe bui vormt steeds af, en blijft het daar dus bijna droog. Omgekeerd zijn de neerslaghoeveelheden van zo'n complex vaak groter dan men zou verwachten, omdat dit het vocht uit een groot gebied aantrekt en dit laat uitregenen op enkele geconcentreerde plaatsen.

Bijna alle gevallen van zeer zware neerslag volgen op een zomerdag met hoge temperaturen, waarbij er zich dus veel waterdamp in de lucht kan bevinden. Een buienlijn (onweersfront) zoals in figuur 50 vormt zich vaak in de zomer als begrenzing van zeer warme lucht boven Nederland en koelere lucht elders; het overtrekken van zo'n onweersfront betekent meestal het abrupte einde van een hete periode. Stelliggende buien zoals in figuur 51 zijn meestal het gevolg van grote onstabilliteit in de lucht bij warm weer en vormen zich dan vooral in de middag, als de temperatuur het hoogst is. Hoewel meteorologische situaties als hierboven afgebeeld zich regelmatig in de zomer voordoen, zijn de neerslaghoeveelheden in de meeste gevallen natuurlijk niet zo extreem hoog als in deze voorbeelden. Het geval van de buienlijn van figuur 50 bracht bijvoorbeeld op een bepaalde plaats zelfs 124 mm neerslag, waarvan het leeuwendeel in slechts enkele uren tijd viel. Uit het feit dat de totale neerslag in een jaar gemiddeld ongeveer 800 mm bedraagt, kan men begrijpen dat zo'n hoeveelheid op één dag tot de uiterste zeldzaamheden moet behoren.

Tot slot van deze paragraaf komen wij nog terug op het verschijnsel zomerse namiddagbuien. In het voorafgaande is al enkele malen genoemd, dat op de zomermiddag de kans op buien groter is dan in de ochtend. Dit geldt voor het hele land, uitgezonderd een smalle strook langs de kust (zie paragraaf 35). Vrijwel iedereen kent dit verschijnsel, dat overigens ook wel in andere seizoenen optreedt, uit ervaring.

Met ervaringsregels moet men echter voorzichtig zijn. Als wij namelijk het neerslagverloop van een *gemiddelde* zomerdag beschouwen, dan is hier nauwelijks een dagelijkse gang in terug te vinden: de kans op neerslag is op ieder tijdstip vrijwel gelijk. Dit betekent, dat de totale neerslaghoeveelheden van namiddagbuien blijkbaar maar klein zijn

vergeleken met die uit bijvoorbeeld fronten, welke op elk tijdstip van de dag kunnen overtrekken. Zomerse namiddagbuien bestaan echter wel degelijk, maar ze behoren vooral bij *warm weer*. Inderdaad ziet men op warme dagen regelmatig, dat ze wel erg helder beginnen, maar dat er zich in de loop van de dag wolken beginnen te vormen die vervolgens uitgroeien tot (zware) buien, vaak ook met onweer. Beschouwt men nu het verloop van de neerslaghoeveelheid op *warme* dagen, dan komen de zomerse namiddagbuien er opeens wel duidelijk uit! In figuur 52 is dit weergegeven voor zomerdagen die minstens 22 graden haalden: verreweg de meeste neerslag valt na 12 uur. Als er dus op een warme dag regen valt (wat natuurlijk lang niet altijd zo is) dan gebeurt dit meestal in de middag of vroege avond. Hierdoor is ook de kans op onweer in de tweede helft van de dag het grootst. In de volgende paragraaf gaan wij hier verder op in.

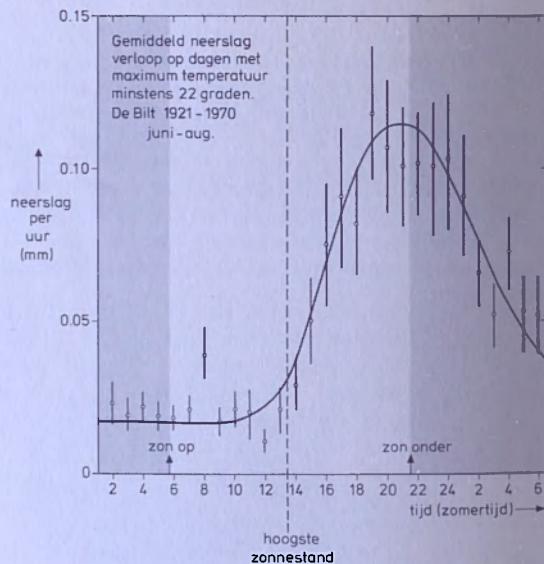


Fig. 52. Gemiddelde dagelijkse gang van de neerslaghoeveelheid van De Bilt op *warmere* dagen; in dit geval dagen waarop het minstens 22 graden wordt. Op warme dagen is de kans op buien 's middags zeer veel groter dan in de ochtend; dit zijn de zogenoemde zomerse namiddagbuien.

35. Onweer in Nederland

Bliksem behoort tot de meer spectaculaire meteorologische gebeurtenissen. Dit verschijnsel ontstaat als er sterke elektrische velden in de atmosfeer aanwezig zijn, die zich dan ontladen met een stroomstoot van soms wel meer dan 100.000 Ampère. Dit gaat gepaard met een felle lichtflits en een drukstoot; deze laatste horen wij dan als een knal (als de bliksem dichtbij is) of als een rommelende donder. Uit het tijdsverschil tussen flits en



Plaat 27. Bliksemflits. De flits verdwijnt hier even achter een wolk (foto P. P. Hattinga Verschure).

Plaat 28. Als de bliksem in het zand slaat, smelt dit door de grote hitte. Bij stolling vormt dit een buisje dat men kan opgraven.



donder kunnen wij schatten hoever de bliksem van ons af was: per drie seconden verschil één km. Bliksem op meer dan 25 km afstand zien wij nog wel, maar horen wij in het algemeen niet meer. De lengte van een bliksemflits is meestal ongeveer 5 km, maar het kan gebeuren dat wij hem slechts gedeeltelijk zien, omdat hij dwars door de wolken heen of er achter langs kan gaan (plaat 27). De breedte van een bliksemkanaal blijkt niet meer dan $2\frac{1}{2}$ cm te zijn; de temperatuur hierin kan tot 30.000 graden oplopen. Dit is een vijf keer hogere temperatuur dan die van de oppervlakte van de zon!

Grote elektrische spanningsverschillen komen voor in de atmosfeer, als er sterke opwaartse luchtbewegingen plaatsvinden. Hieruit volgt meteen, dat onweersgebieden moeten samenhangen met gebieden met hevige neerslag (zie paragraaf 34). Dit betekent, dat onweer meestal samenhangt met zware buien, hoewel het ook kan gebeuren dat het tijdens de passage van een aktief front bliksemt. In feite kan men het verschijnsel bliksem opvatten als een extreme uiting van zware neerslag, zodat het bestuderen van het aantal onweersdagen een goed beeld geeft van de kans op zware neerslag.

In figuur 53 is de jaarlijkse gang van het aantal onweersdagen voor De Bilt weergegeven. Gemiddeld zijn er in De Bilt 34 onweersdagen per jaar, maar dicht bij de kust, waar het ook 's zomers

nooit zo extreem warm is, blijkt de kans op onweer duidelijk lager. Gemiddeld op 107 dagen in het jaar onweert het wel ergens in Nederland.

Uit de grafiek ziet men, dat de kans op onweer in De Bilt in de zomer het hoogst is, zoals ook de kans op extreme neerslaghoeveelheden dan het grootst is. In feite geeft figuur 53 een beter beeld van de jaarlijkse gang van (zware) buien dan figuur 46. Voor onweer geldt, als voor zware buien, dat de jaarlijkse gang wat anders is als men dichter bij de kust komt: de grootste kans op onweer ligt daar niet in de zomer, maar eerder in het najaar. Dit

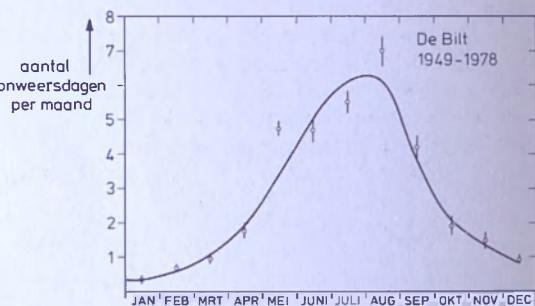


Fig. 53. Gemiddelde jaarlijkse gang van onweersbuien voor De Bilt. Meestal gaat onweer gepaard met zware neerslag; de grafiek geeft dus tevens een beeld van de kans hierop door het jaar heen.



Plaat 29. Een groep van negen koeien die tijdens een onweer onder een boom schuilen, werd gelijktijdig gedood toen de boom werd getroffen als gevolg van indirekte inslag (foto Un. Press).

komt overeen met de ervaring, die leert dat het in het najaar boven het relatief warme zeewater soms langdurig kan onweren. Dit gebeurt dan niet zo zeer overdag, maar vooral 's nachts en is daarom des te spectaculairder. Door dit nachtelijke onweer verschilt het klimaat aan de kust wezenlijk van dat in de rest van het land (zie ook paragraaf 18).

Om dit nader te illustreren, is in figuur 54 de dagelijkse gang van onweer weergegeven van het landstation De Bilt en het kuststation Den Helder. Dit is gedaan voor de maand augustus. Inderdaad ziet men, dat de dagelijkse gang vrijwel tegengesteld is voor deze stations! Blijkbaar zijn aan de kust de nachtelijke Noordzeebuien grotere onweerbrengers dan de zomerse namiddagbuien. Het gebied waar de Noordzeebuien het veelvuldiger overheersen is maar zeer smal: een tien of twintig kilometer landinwaarts heeft men alweer hoofdzakelijk te maken met de 'gewone' zomerse namiddagbuien.

Bliksem is niet ongevaarlijk; in het tijdvak

1939-1969 werden er in ons land gemiddeld 7 personen per jaar door gedood. Vroeger, toen er meer mensen buitenhuis werkten, gebeurden er meer ongevallen. Gemiddeld slaat de bliksem overigens ongeveer 100.000 keer per jaar ergens in Nederland in, zodat er eigenlijk maar relatief weinig dodelijke ongelukken gebeuren. De meeste inslagen gebeuren in de grond, waarin door de hoge temperatuur een spoor wordt achtergelaten (plaat 28). Voor mensen is overigens niet alleen een directe inslag gevvaarlijk, maar ook een inslag op enige afstand: via de grond lopen er dan sterke stromen, waardoor er een stroom geforceerd kan worden door het lichaam (zie figuur 55). Om deze indirekte inslag te vermijden, moet men dus beslist niet onder een boom gaan schuilen (plaat 29). Beter is het, zijn heil te zoeken in een auto of een huis. Als dit niet mogelijk is, dan kan men het best hurken en hierbij de armen om de benen slaan, zodat het contact met de grond zo klein mogelijk is.

Al met al wordt bliksem door veel mensen vooral ervaren als een spectaculair, doch beangstigend en gevvaarlijk natuurverschijnsel. Weinig bekend is, dat de bliksem een zeer belangrijke rol vervult bij het in stand houden van bijvoorbeeld naaldwouden en subtropische bosgebieden. Dergelijke bossen vertonen namelijk een interne voedselcyclus, waarbij dode plantenresten steeds weer opnieuw worden gebruikt als voedsel voor nieuwe vegetatie. Het blijkt nu, dat na verloop van tijd dit afval zich toch gedeeltelijk ophoopt in de vorm van biologisch niet-afbreekbaar materiaal. Als dit te lang doorgaat, dan begint het bos te degenereren en breken er plantenziekten uit door gebrek aan bepaalde mineralen. De enige manier om deze stoffen weer in de voedselcyclus op te nemen is ze te verbranden. Wil zo'n bos in stand blijven, dan is het essentieel dat het af en toe afbrandt; deze branden worden aange-

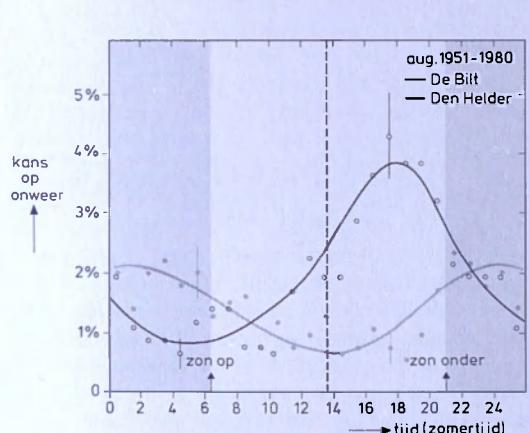
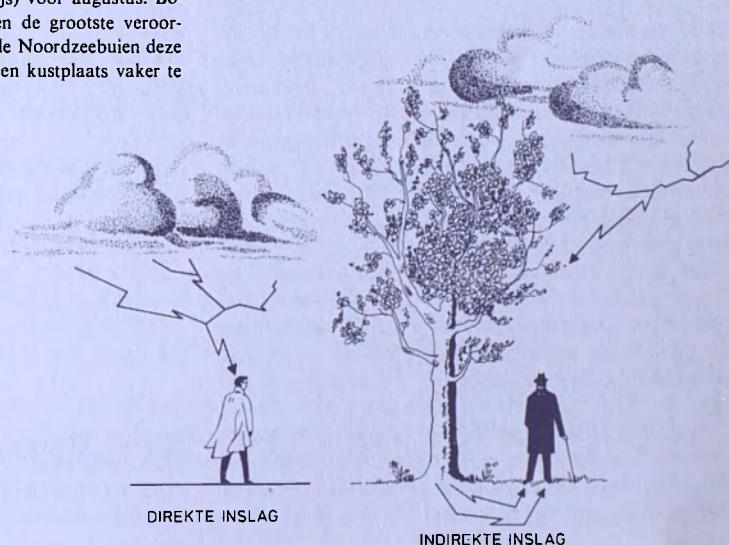


Fig. 54. Gemiddelde dagelijkse gang van onweer voor De Bilt en het typische kuststation Den Helder (grijs) voor augustus. Boven land zijn de zomerse namiddagbuien de grootste veroorzakers van onweer; vlak aan zee nemen de Noordzeebuien deze rol over (paragraaf 18). Hierdoor heeft een kustplaats vaker te maken met nachtelijk onweer.

Fig. 55. Twee manieren om letsel op te lopen bij bliksem. Links: directe inslag, waarbij een sterke stroomstoot door het lichaam loopt. Rechts: indirekte inslag. De inslag slaat in een boom, en wekt een stroomstoot door de grond op. Hierdoor ontstaan er grote spanningsverschillen langs de grond; deze forceren een stroomstoot door het lichaam via de benen. Hoe wijder deze uit elkaar staan, des te groter de kans op ongelukken.



Z A M E N S P R A A K
T U S S C H E N E E N
L A N D H E E R E N Z I J N' T U I N M A N ,
O V E R
H E T O N W E D E R .

HEER. Wel baas! gij schijnt 'er van te zweeten?

TUINMAN. Ja, Mijnheer! dat is met zulk een booze warmte geen wonder: doch het wordt daar in het Zuidwesten zoo donker, ik vrees dat wij eene zware donderbui krijgen.

HEER. Vrees je daar voor, baas? Ik waarschijn niet! zeg mij eens: wat zou 'er van ons, van de dieren op het veld, van de gewassen worden, wanneer deze benauwde hette zoo bleef voortduren? het aardrijke zoude immers een algemeen kerkhof worden, door dien geen scheepje in zulk eene verftikte lucht, op den duur, zoude kunnen leven: en wat herstelt dat alles beter dan het onweder van donder en blikfeen, verzeild van wind en regenvlagen, welke als zovele bezems der natuur, de lucht schoon ve-

A gen;

Plaat 30. Ook vroeger trachte men de angst voor bliksem weg te nemen, door boeken hierover uit te geven. Dit boek is uit 1805.

stoken door blikseminslag. Zonder bliksem is zo'n bos gedoemd te degenereren en uiteindelijk te verdwijnen. Voor savannegebieden geldt hetzelfde.

36. De bedekking van de hemel

Voor de manier waarop de mens het weer ondergaat, behoort deze factor – naast de factor neerslag – misschien wel tot de belangrijkste, althans op dagen waarop geen extreme temperaturen of windsnelheden voorkomen. Dit is in feite op het merendeel van het aantal dagen per jaar het geval. De rol van de zonneschijn op de aangenaamheid van het weer kwam al uitvoerig ter sprake in paragraaf 26. Het tegenovergestelde van zonneschijn is bewolking; dit is een element dat in vele soorten kan voorkomen. Mist is er een bijzondere vorm van, want eigenlijk is dit niet anders dan een wolk die tot de grond reikt. Omdat het zicht dan zo enorm terugloopt, grijpt de aanwezigheid hiervan echter wel zeer diep in. In feite is ook neerslag een wolk die tot de grond reikt, maar hierbij zijn het alleen de grootste deeltjes die zover komen; de kleinste deeltjes blijven hoog in de lucht zweven.

Hoewel de hoeveelheid zonneschijn persistentie

vertoont, blijkt het in de praktijk een van de moeilijkst voorspelbare grootheden te zijn. De hoeveelheid wolken in de atmosfeer hangt op vaak nogal subtiele wijze af van een aantal andere grootheden, zoals luchtvochtigheid, vertikale bewegingen en de temperatuuropbouw in de atmosfeer. De voorspelbaarheid van de zonneschijnduur is geringer dan bijvoorbeeld die van de temperatuur. Door het belang van de zonneschijn en de bewolking moet dit gezien worden als een ernstige handicap voor de praktische meteorologie. De klimatologie van deze elementen vertoont echter een duidelijke structuur, die wordt behandeld in de volgende paragrafen.

37. Zonneschijn

In figuur 56 en 57 is het jaarlijkse verloop van het aantal zeer zonnige en zonloze dagen per maand voor De Bilt weergegeven. Zoals in paragraaf 26 is gezegd, verstaat men onder een zeer zonnige dag een dag waarop de zon minstens 80% van de tijd dat hij boven de horizon staat ook geschenen heeft; onder een zonloze dag verstaat men er een, waarop helemaal geen zon is geregistreerd. Uit de figuren blijkt, dat het aantal zonloze dagen in Nederland vele malen groter is dan het aantal zeer zonnige dagen. In de maanden november t/m januari is er zelfs op de helft van het aantal dagen helemaal geen zon te zien. Anderzijds toont figuur 56, dat zeer

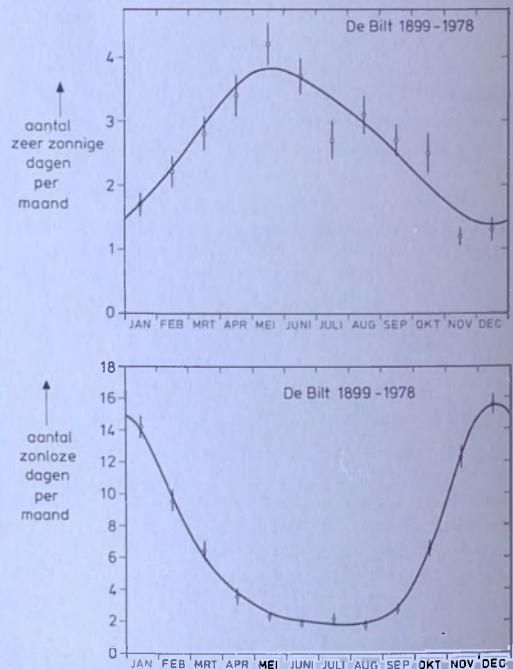


Fig. 56-57. Gemiddelde jaarlijkse gang van het aantal zeer zonnige en zonloze dagen per maand voor De Bilt. Een zeer zonnige dag is een dag waarop minstens 80% zon is geregistreerd. Merk op, dat de aantallen in de figuren sterk verschillen.

zonnie dagen door het hele jaar heen voor kunnen komen, terwijl de zon in de winter toch veel lager staat dan in de zomer, en alleen hierdoor reeds minder kans heeft geregistreerd te worden (als er zich bijvoorbeeld een heiige laag aan de horizon bevindt, duurt het 's winters veel langer voordat de zon hier bovenuit is gestegen). Voeg daarbij het feit dat de zon in de winter minder hoog staat en dus niet zo makkelijk wolken- of mistvelden kan oplossen, en dat de midwinterdag bij ons ruim twee maal korter is dan de midzomerdag (7,7 tegen 16,8 uur), dan begrijpt men dat het 's winters veel minder waarschijnlijk moet zijn om 80% zon te halen. Deze effecten weerspiegelen zich in de vorm van de beide figuren, maar maken het toch niet onmogelijk om ook in de winter veel zon te hebben.

De meteorologische situaties, waarbij zeer zonnige dagen optreden, verschillen enigszins per seizoen. 's Zomers komen dergelijke dagen vaak bij oostenwind of bij windstilte voor, als er zich een groot hogedrukgebied boven Midden- of Noordoost-Europa gevormd heeft. In de winter is het bij oostenwind eveneens vaak helder, omdat er dan lucht wordt aangevoerd die boven de koude sneeuwvelden van Oost-Europa is uitgedroogd. In een hogedrukgebied is het 's winters echter lang niet zo vaak onbewolkt als in de zomer, en blijven lage bewolking of mistvelden vaak de hele dag aanwezig. Ook hierdoor is het aantal heldere dagen in de winter beperkter (zie ook paragraaf 26). Toch blijkt dat zelfs midden in de winter soms nog zonneschijnpercentages van meer dan 90% gemeten zijn.

Als men weet dat de hoogst gemeten zonneschijnpercentages rond de 96% liggen (gemiddeld komt maar éénmaal in de 18 jaar een dag van meer dan 95% voor, tegen 3,8 dag per jaar met meer dan 90%), dan begrijpt men dat een dergelijke dag extreem helder moet zijn.

Zoals al opgemerkt in paragraaf 27, is de persistente van zeer zonnige dagen bijzonder groot. Terwijl de gemiddelde kans op zo'n dag iets meer dan 8% bedraagt, is de kans op een opeenvolgende dag 38%. De zonnige dagen in het jaar treden dus vaak in groepjes op: gemiddeld zijn er 19 van dit soort groepjes in het jaar en bijna de helft van het aantal zeer zonnige dagen wordt gevolgd door nog zo'n dag!

Figuur 58 geeft de verdeling van de zeer zonnige dagen voor juni over Nederland weer. Men ziet, dat in de zomer het grootste aantal zonnige dagen in het westen en noordwesten van het land voorkomt. In de winter is het centrum van het land het zonnigst.

Behalve een jaarlijkse gang, kent de kans op zon ook een dagelijkse gang. Deze wordt weer veroorzaakt door de dagelijkse gang in de stabilitet van de atmosfeer. Nu zijn er vele verschillende wolken-typen (zie tabel IV op blz. 90), waarvan sommige

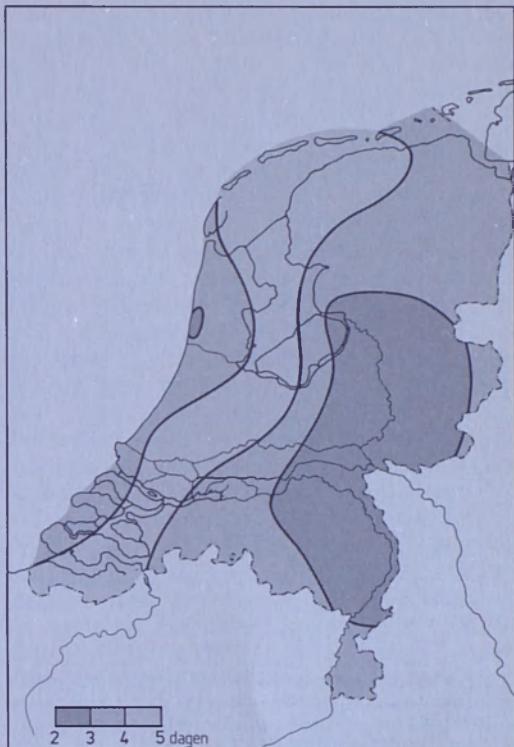


Fig. 58. Verdeling van het aantal zeer zonnige dagen in juni over het land. Aan de kuststrook is de kans erop iets groter dan in het binnenland.

(stratus, stratocumulus etc.) behoren bij een stabiele situatie en andere (cumulus, cumulonimbus) bij een onstabiele situatie. Dit betekent, dat de wolken van het eerste type in de loop van de dag een grote kans hebben te verdwijnen, terwijl de wolken van het tweede type dan juist een grotere kans krijgen te ontstaan. Het totale effect hiervan is, dat de kans op zon het grootst is rond de hoogste zonnestand en vroeg in de middag. Dit gedrag is weer gegeven in figuur 59 voor de maand juni, en wel voor die dagen in de maand die als geheel genomen half bewolkt zijn geweest, d.w.z. een zonneschijnpercentage van tussen de 40 en 60% hebben gehad. Kiest men hiervoor andere grenzen, of beschouwt men een andere maand in het jaar, dan krijgt men ruwweg hetzelfde beeld te zien. Als men deze grafiek omkeert, geeft deze een beeld van de dagelijkse gang van de kans op wolkenvorming; dit is het gearceerde deel. Feitelijk leest men dan nog duidelijker het merkwaardige gedrag ervan af, dat resulteert in zowel een grotere wolkenkans in de morgen als tegen de avond.

Als men de reeks zonneschijnmetingen voor De Bilt vanaf het begin van deze eeuw bestudeert, dan blijkt er geen sprake te zijn van een aantoonbare toe- of afname van de kans op bijvoorbeeld een

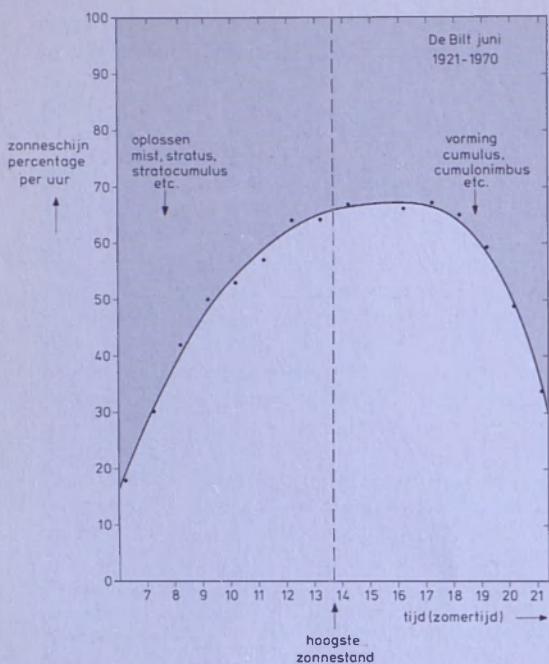


Fig. 59. Dagelijkse gang van het zonneschijnpercentage op een gemiddelde junidag in De Bilt. In de ochtend is de kans op zon gemiddeld iets kleiner doordat mist- en stratocumulus nog niet verdwenen zijn; in de middag doordat er buienwolken kunnen ontstaan. Keert men de grafiek om, dan geeft deze een beeld van de dagelijkse gang van de wolkenhoeveelheid (grijs).

zeer zonnige dag. Indien de industriële vervuiling van de atmosfeer tot zo'n effect moet leiden, dan kan worden vastgesteld dat hier, althans voor De Bilt, niets van te merken is.

38. Mist en zicht

Zoals gezegd, is een mistlaag in feite niets anders dan een wolk die tot de grond reikt; vanuit een vliegtuig is er meestal geen enkel verschil waar te nemen tussen een laag wolkendek en een mistveld. Op de grond is er wel verschil, want men bevindt zich daar nu niet meer *onder* de wolken, maar er midden *in*. Omdat het zicht hierbij enorm kan teruglopen (soms kan men voorwerpen op een tiental meters afstand al niet meer zien), kan deze situatie als zeer hinderlijk worden ervaren. Meteorologisch spreekt men van mist als het zicht minder is dan 1000 meter; is het zicht 200 meter of minder, dan is er sprake van dichte mist. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat gevaarlijke en hinderlijke situaties meestal pas optreden als het zicht beneden deze 200 meter komt.

Mist ontstaat meestal door afkoeling van vochtige lucht via de ondergrond, waarbij de in de lucht aanwezige waterdamp tot fijne druppeltjes condenseert.

Dit gebeurt bijvoorbeeld als warme, vochtige lucht door de wind over een koeler oppervlak wordt gevoerd. Zowel boven land als boven zee ontstaat op geregelde tijden op deze wijze mist. Boven land wordt de mist echter het meest gevormd in heldere nachten, als de grond bij rustig weer door de nachtelijke uitstraling sterk kan afkoelen. Door de koude ondergrond koelt dan ook de lucht erboven af. Als de luchtemperatuur beneden een bepaalde waarde komt (die afhangt van de luchtvochtigheid), dan is de lucht verzwadigd geraakt met waterdamp. In plaats van een verdere temperatuurdaling treedt dan condensatie van waterdamp en dus druppelvorming op. In principe vormt de mist zich dus eerst bij de grond, en breidt zich dan naar boven toe uit. Een mistlaag, die ergens op de een of andere wijze ontstaan is, kan vervolgens door de wind naar andere plaatsen gevoerd worden, bijvoorbeeld van zee naar het land. Hoewel een mistlaag nooit erg hoog is (meestal niet hoger dan 100-500 meter) kan hij toch zeer hardnekig zijn. Het oplossen ervan door de zon gebeurt namelijk eveneens van onder af, via opwarming van de grond door de zonnewarmte (zie ook paragraaf 20). Vooral in maanden waarin de zon laag staat heeft deze moeite om de grond door de mistlaag heen op te warmen.

In figuur 60 is het gemiddeld aantal mistdagen per maand weergegeven voor De Bilt; onder een mistdag verstaan wij hier een dag waarop mist is meld. Tevens is het aantal dagen per maand met dichte mist gegeven.

Uit figuur 60 leest men af, dat in de periode oktober t/m januari de kans op mist het grootst is. Men spreekt van het *mistseizoen*; in de zomermaanden is de kans op mist aanzienlijk geringer. Bovendien zullen wij van zomermist ook vaak niet veel merken, omdat die zich doorgaans pas in de nacht vormt en snel na de (vroege) zonsopkomst weer verdwijnt. Inderdaad is ook de gemiddelde *duur* van een mistperiode verschillend in de sezoenen; 's zomers bedraagt deze ongeveer 3 uur en in het

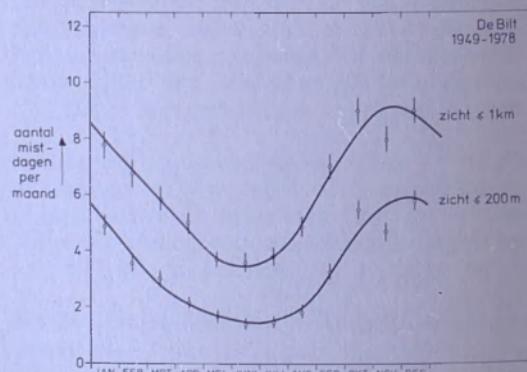


Fig. 60. Gemiddelde jaarlijkse gang van het aantal mistdagen per maand voor De Bilt. Het mistseizoen is duidelijk herkenbaar.

mistseizoen, als de nachten lang zijn, ongeveer 6 uur. Voor dichte mist zijn deze getallen resp. 2 en 4 uur.

Hoewel de zon in de maanden oktober en november even hoog boven de horizon staat als in de maanden januari en februari, komt er in de eerstgenoemde periode toch meer mist voor. Dit wordt veroorzaakt door het naijlen van de temperatuur van het zeewater: in het najaar is de zee nog warm, zodat de wind warme en vochtige lucht van zee kan aanvoeren waarin zich gemakkelijk mist vormt. In januari en februari is de zee afgekoeld, en in de lucht die daar vandaan komt vormt zich minder gauw mist – behalve als er sneeuw op het land ligt en de temperatuur dus erg laag is. In dat geval vormt zich, als de wind van zee opsteekt, soms zeer dikke mist.

Naast een jaarlijkse gang, kent de mist boven land ook een zeer uitgesproken dagelijkse gang. Dit is begrijpelijk, omdat mist meestal ontstaat door nachtelijke afkoeling en overdag weer verdwijnt door de zonnewarmte. Deze dagelijkse gang is weergegeven in figuur 61 voor de maand september. Andere maanden vertonen eenzelfde beeld, met dien verstande, dat het in het winterhalfjaar regelmatig gebeurt dat de mist de hele dag blijft hangen. Natuurlijk kan het ook wel eens gebeuren dat mist op een ongebruikelijk tijdstip verdwijnt of verschijnt, bijvoorbeeld omdat de wind plotseling opsteekt, respectievelijk wegvalt. Dit soort gebeurtenissen behoort echter tot de uitzonderingen, zodat figuur 61 een goed beeld geeft van het verloop van een doorsnee mistsituatie.

Gemiddeld is de mist rond zonsopkomst het dikst.

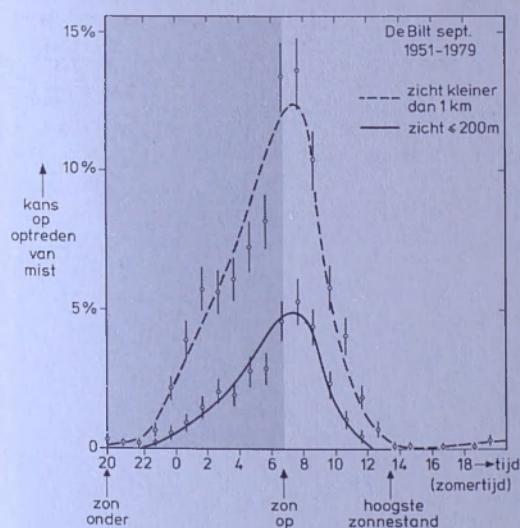


Fig. 61. Gemiddelde dagelijkse gang van mist voor De Bilt voor september. Bij zonsopkomst neemt het zicht even af doordat de belichting verandert.

In een bepaalde mistsituatie is het zicht op dat tijdstip dus het slechtst. Uit figuur 61 leest men dit ook af. Toch blijkt de afname van het zicht gedurende de ochtendschemering niet alleen veroorzaakt te worden door de dichtheid van de mist, maar ook door de veranderende belichting. In de nacht ziet men namelijk alleen maar de lichtpuntjes van lampen en dergelijke, maar in de schemering licht de hele mistlaag op en zorgt voor een diffuse belichting van onze omgeving. De oplichtende mist tussen het voorwerp en de waarnemer zorgt er echter voor, dat het voorwerp slechter zichtbaar is dan 's nachts, zodat er bij de overgang van de nacht in de dag een extra zichtverslechtering wordt waargenomen. In figuur 61 zien wij dit als een toenemende kans op mist rond zonsopkomst; deze heeft dus verder niets met de echte dikte van de mist te maken. In de avond leidt hetzelfde verschijnsel tot een (tijdelijke) zichtverbetering rond zonsondergang. Mistdruppels zijn maar klein: ze hebben meestal een diameter tussen de 0,01-0,03 mm. Willen ze het zicht ernstig belemmeren, dan moeten er dus enorm veel in de lucht aanwezig zijn. Inderdaad blijken er, bij een zicht van 100 meter, ongeveer 200.000 druppels in iedere liter (1,2 gram) lucht te zweven. De totale hoeveelheid vloeibaar water, die in deze lucht is opgeslagen, is echter maar zeer gering: ongeveer 0,1 milligram. Dit is zo'n honderd keer minder dan de hoeveelheid water, die naast de druppeltjes in gasvorm aanwezig is.

Behalve bij mist, kan het zicht ook aanzienlijk teruglopen bij zware neerslag. Toch gebeurt het maar zelden dat het zicht hierbij 200 m of minder wordt; terwijl dit gemiddeld op 39 dagen per jaar door mist gebeurt, is dit maar op 1½ dag per jaar door zware neerslag het geval. Omdat sneeuwvlokken zoveel groter zijn dan regendruppels, gebeurt dit in 85% van de gevallen tijdens sneeuwval, en maar in 15% tijdens zware buien of dichte motregen.

39. Wolkenvorming en wolktypen

Bewolking ontstaat als delen van de atmosfeer zo ver afgekoeld worden, dat de daarin aanwezige waterdamp in de lucht overgaat in waterdruppels of in ijskristallen. Dergelijke wolkendeeltjes zijn veel groter dan de moleculen in de dampkring, en verstrooien het zonlicht veel effectiever. Een vrij gering aantal ervan is dus al voldoende om de lucht een geheel ander aanzien te geven: de hemel verandert al gauw van blauw in melkwit als er condensatie begint op te treden. Een dikkere wolk verstoot zonlicht zo effectief, dat hij tien keer helderder kan zijn dan de blauwe lucht, zodat hij zich er fel tegen aftekent. Als men door een wolk heenvliegt ervaart men hoe groot het verschil tussen de wereld binnen en buiten de wolk is: het inwendige van een wolk is



Plaat 31. Boven: In een mistsituatie kan het zicht zeer sterk teruglopen. Onder links: Grondmist, een typisch verschijnsel in weilanden. Onder rechts: Oplossende mistlaag, gezien vanaf een hoge toren, waarvan de schaduw zichtbaar is (foto's G. P. Können).



Plaat 32. Enkele wolkentypen.

Boven: links cirrus met hieronder cumulus, rechts altocumulus (foto's B. Zwart).

Midden: links altostratus, rechts (mooiweer) cumulus (foto's B. Zwart).

Onder: links cumulonimbus (buienwolk), rechts de onderkant ervan met regenboog in de neerslag (foto links L. M. Hafkenscheid, rechts G. P. Können).

meestal zeer mistig en vertoont geen structuur. Hetzelfde ervaart men als men boven een mistlaag uitklimt. (zie plaat 31).

Het belangrijkste mechanisme dat tot afkoeling en wolkenvorming aanleiding geeft is het optreden van opwaartse luchtbewegingen in de atmosfeer. Zie paragraaf 31. Meestal worden zulke bewegingen mogelijk gemaakt door de structuur en de verplaatsing van de druksystemen van de atmosfeer. Opwaartse bewegingen kunnen echter ook ontstaan doordat de wind tegen een bergmassief blaast en hierbij gedwongen wordt omhoog te gaan, wat dan leidt tot plaatsgebonden wolkenvorming. Verder ontstaan er, bijvoorbeeld door de wrijving van de wind aan het aardoppervlak, luchtwervels, waarbij eveneens in de stijgende delen ervan condensatie op kan treden. Bij al deze oorzaken vormt het opstijgen van de lucht de basis voor de wolkenvorming, en verreweg de meeste wolken komen op een dergelijke wijze tot stand. In een enkel geval kunnen ze echter ook gevormd worden doordat de lucht door uitstraling afkoelt, of dat de lagere luchtlagen door contact met de koude ondergrond geforceerd kouder worden. Hierdoor kan mist ontstaan die bij opsteken van wind overgaat in lage wolken als stratus – deze behoren dus bij een stabiele atmosfeer. Als laatste, minst voorkomende mechanisme noemen wij menging van twee vochtige luchtkorten van verschillende temperatuur. Dit gaat eveneens gepaard met condensatie, en dus met mist- of wolkenvorming. Op deze wijze ontstaat bijvoorbeeld de bekende slootmist.

Voor het uiterlijk en de dikte van bewolking is het van het grootste belang te weten welke verticale bewegingen een rol spelen, en op welke schalen ze optreden. Gebruiken wij dit als leidraad, dan kan men de wolken op een zinvolle wijze naar hun ontstaanswijze ordenen als in tabel IV.

Op de lichtende nachtwolken op 80 km hoogte en de parelmoerwolken op 20 km na, vormen al deze wolkensoorten zich in de troposfeer en strekken zich dus nooit hoger dan tot ongeveer 10 km boven het aardoppervlak uit. In het vlakke Nederland treden alle genoemde wolkentypen op, behalve natuurlijk de aan gebergten gebonden wolken die genoemd zijn onder 5. Bovenstaande indeling wijkt af van de meer gebruikelijke, die de wolkenhoogte als basis heeft. Omdat het geen enkel verschil maakt op welke hoogten de bovenstaande processen zich afspelen, is het beter de bovenstaande classificatie aan te houden.

Plaat 32 geeft de belangrijkste wolkentypen weer. Duidelijk is de schaal te herkennen waarop de opwaartse bewegingen zich afspelen; bij gebroken, geordende wolken als altocumulus is deze veel kleiner dan bij cumulonimbus; bij altostratus en dergelijke hebben de opwaartse bewegingen op de groot-

Tabel IV. Ordening van wolkensoorten naar ontstaanswijze

1. Wolken die ontstaan door zwakke opwaartse luchtbewegingen over een groot gebied (cirrostratus, altostratus, nimbostratus, lichtende nachtwolken).
2. Wolken die ontstaan door zwakke opwaartse luchtbewegingen in dunne lagen, en die zich dan ordenen in geïsoleerde gebiedjes met afwisselend een opwaartse en een neerwaartse luchstroom (cirrocumulus, altocumulus, stratocumulus).
3. Wolken die ontstaan door sterke opwaartse bewegingen over een klein gebied in dikke lagen (cumulus).
4. Wolken die ontstaan door zeer sterke opwaartse bewegingen over een klein gebied in zeer dikke lagen, vaak reikend tot de tropopauze (altocumulus castellanus, cumulonimbus).
5. Wolken die ontstaan door opwaartse bewegingen over een obstakel (gebergte) (cumulus en cumulonimbus aan de lofzijde; cirrus lenticularis, altocumulus lenticularis, stratocumulus lenticularis en parelmoerwolken aan de lijzijde).
6. Wolken die ontstaan door luchtvervelingen ten gevolge van de wrijving van de wind aan het aardoppervlak (stratus fractus, cumulus fractus).
7. Wolken die ontstaan door luchtvervelingen (turbulentie) in de hogere atmosfeer (cirrus, altocumulus).
8. Wolken die ontstaan door menging van vochtige luchtlagen met verschillende temperaturen (vliegtuigsporen, stratocumulus, stratus, (sloot)mist).
9. Wolken die ontstaan door nachtelijke afkoeling van de hogere luchtlagen door uitstraling (altocumulus in de ochtend).
10. Wolken die ontstaan door afkoeling van de onderste luchtlagen vanaf de ondergrond (mist, stratus, stratocumulus).
11. Wolken die ontstaan door afkoeling van een bepaalde luchtlag tot het vriespunt doordat smeltende vaste neerslagdeeltjes hierdoor heen vallen, hetgeen een extra onstabiele laag in de atmosfeer oplevert. (cumulus fractus en stratus fractus, beide onder neerslagwolken).

ste schaal plaats. Dit is ook duidelijk te zien op de satellietsfoto (plaat 21 op blz. 71), waarop men een veel groter gebied op aarde te zien krijgt. Zoals gezegd, worden gebieden met opwaartse luchtbewegingen gemarkeerd door wolken, en neerwaartse bewegingen meestal door opklaringen. Dikke wolken geven aanleiding tot neerslag; het ontstaan hiervan en de rol die hierbij de temperatuuropbouw van de atmosfeer speelt is uiteengezet in paragraaf 31.

De bovenstaande behandeling van de wolkentypen sluit het hoofdstuk over de weerelementen in Nederland af, waarin alle belangrijke weerelementen nu een plaats hebben gehad. Wij hebben gezien dat ze alle, naast een onvoorspelbare grilligheid, een regelmatig gedrag vertonen in de vorm van een jaarlijkse en dagelijkse gang. In dit hoofdstuk hebben wij de elementen grotendeels ontdaan van hun grilligheden en vooral de regelmatigheden weergegeven. In de volgende hoofdstukken doen wij het omgekeerde en richten ons juist op de grillige uitschieters en bespreken de extreme omstandigheden die deze kunnen veroorzaken.

HOOFDSTUK 5

Extremen in ons weer

40. Het breken van een weerrecord

Klimaatbeschrijving is niet eenvoudig. Men kan volstaan met gemiddelde waarden van weerelementen te presenteren, maar deze beschrijven het klimaat slechts ten dele. Minstens zo belangrijk als de gemiddelden zijn de uitersten, de extremen. Deze geven ons een idee van de verrassingen die een klimaat ons kan bezorgen en verschaffen hierdoor een veel breder beeld van het klimaat.

In dit hoofdstuk worden records behandeld van de weerelementen temperatuur, neerslaghoeveelheid en windsnelheid. In het algemeen beschouwen wij hiervan de records die zich in de 20e eeuw hebben voorgedaan. Natuurlijk is het mogelijk, dat een aantal van deze records in de toekomst zal sneuvelen, maar dat neemt niet weg dat het behandelen ervan toch een idee geeft van de mogelijkheden van ons klimaat.

Records bestaan er in verschillende typen. Zo kent het weer zowel records 'naar boven' als records 'naar beneden'. Als zo'n record wordt geëvenaard of doorbroken, maakt dit niet in alle gevallen evenveel indruk. Bij de temperatuur bijvoorbeeld, is er bij een uitschiet na boven in de zomer een kans, dat ook de allerhoogste temperatuur die ooit gemeten is wordt overschreden. In de winter is dit bij zo'n uitschiet uiteraard onmogelijk. Wij moeten zeker wat betreft de temperatuur – een onderscheid maken tussen absolute records en 'datum records', d.w.z. de recordhitte of -koude van een bepaalde datum of periode van het jaar.

Als een temperatuurrecord van een bepaalde dag wordt gebroken, dan leidt dit altijd tot uitzonderlijk weer: het is abnormaal warm (zacht) of koud (koel) voor de tijd van het jaar. Dit geldt nog sterker bij het breken van een neerslag- of windsnelheidsrecord naar *boven*, aangezien dit altijd betekent dat er sprake is van zwaar weer. Het omgekeerde geldt echter helemaal niet: het breken of evenaren van een neerslag- of windsnelheidsrecord naar *beneden* is helemaal niets bijzonders, zeker niet op de tijdschaal van een dag. Droger dan droog kan een dag nu eenmaal niet zijn. Toch kan ook bij droogte een record ontstaan, namelijk door een aaneensluiting van zulke dagen, maar dit zijn 'sluipende' records en geen onstuimige gebeurtenissen.

Records zijn relatief. Niet alleen omdat ze gebroken kunnen worden of omdat ze per jaargetijde of tijdschaal verschillen, maar ook omdat ze afhangen van de plaats op Aarde. Nederlandse records ver-

bleken bij wereldrecords, omdat wij nu eenmaal te maken hebben met een gematigd klimaat waardoor het weer bij ons niet al te rare sprongen maakt.

In dit hoofdstuk behandelen wij records vanuit verschillende gezichtshoeken. In de komende paragraaf vergelijken wij eerst onze absolute records met de absolute records op Aarde. Hierbij maken wij ook nog een uitstapje naar andere planeten, waar de omstandigheden nog extremer zijn. In de paragraaf hierna beperken wij ons tot Nederland en gaan wij in op onze nationale records, waarbij wij het verloop van een willekeurig gekozen jaar (1980) vergelijken met extreme gebeurtenissen die in de daaraan voorafgaande jaren van onze eeuw plaatsvonden onder het motto: 'zo kan het ook, maar het zal je maar gebeuren!'.

41. Nationale records en wereldrecords

Bijna overal op Aarde liggen de uiterste waarden die een klimaat kan presteren ver van de gemiddelden. We weten allen uit ervaring hoe veranderlijk het weer in onze streken is. In de poolgebieden is dit nog erger, maar dichter bij de evenaar is het klimaat vrij gelijkmatig. Dit wil echter niet zeggen, dat ook daar van tijd tot tijd geen enorme uitschieters in temperatuur, neerslaghoeveelheid of windsnelheid kunnen optreden.

Wereldrecords van het weer zijn min of meer plaatsgebonden. Ze ontstaan vaak in gebieden die zowel een extreem gemiddeld klimaat kennen als daar bovenop een grote veranderlijkheid in dit element. Op deze wijze komen bijvoorbeeld temperatuurrecords tot stand. Daarnaast kunnen records ontstaan omdat er zich geïsoleerde weersystemen in een bepaald gebied kunnen ontwikkelen die voor korte tijd sommige weerelementen tot extreme waarden opjagen. Dit geldt bijvoorbeeld voor windsnelheid en neerslag. Omdat zulke systemen meestal uitingen zijn van een bepaald type klimaat, liggen de streken waar men absolute wind- of neerslagrecords moet zoeken eveneens min of meer vast.

a. Temperatuurrecords

In tabel V zijn voor de temperatuur de hoogst en laagst gemeten waarden naast elkaar gezet.

Het zal ons niet verbazen dat de laagste temperatuur, die ooit op Aarde is gemeten, voorkwam in de

TABEL V. Temperatuurrecords (graden).

	Wereldrecord	Nationaal record
Laagste	-88,3 (Zuidpool 1960)	-27,4 (Winterswijk 1942)
Hoogste	+ 58,0 (Lybië 1922)	+ 38,6 (Uithuizermeden 1944)

poolgebieden. Dit gebeurde op de Zuidpool, waar door Russische onderzoekers op het Zuidpoolstation Vostok op 24 augustus 1960 een temperatuur werd gemeten van -88,3 graden. Aan de Noordpool komen zulke lage temperaturen niet voor, zelden worden ze er lager dan -60 graden. Dit houdt verband met het feit dat het Zuidpoolgebied gevormd wordt door een continent, bedekt met een dikke ijskap, terwijl de Noordpool slechts een bevroren zee is, die bovendien op één plaats nog een brede verbinding heeft met de Atlantische Oceaan. In het Noordpoolgebied worden de laagste temperaturen dan ook niet waargenomen op de Poolzee zelf, maar op de continenten aan de rand ervan. De koude in Siberië is bijvoorbeeld berucht: Werchjansk heeft lange tijd de 'eer' gehad de laagste temperatuur op Aarde te hebben geregistreerd. Deze was -68,0 graden, gemeten op 5 en 7 februari 1892. Pas toen de Zuidpoolexpedities goed op gang kwamen, sneuvelde dit record.

Het is duidelijk, dat de hoogste temperatuur op Aarde gezocht moet worden in de buurt van de evenaar. Men zou verwachten dat dit precies op deze lijn moet zijn, omdat daar de zon gemiddeld het hoogste staat, maar dit is niet zo. Gemiddeld over het hele jaar is het daar wel het warmst, maar het tropische klimaat dat daar heerst, kent geen grote temperatuuruitscheters en bovendien niet zo'n groot verschil in dag- en nachttemperatuur. De hoogste temperatuur op Aarde vindt men ter weerszijden van de tropen, in de droge subtropische woestijnen. Te Al'azizyah in de Lybische woestijn werd tot nu toe de hoogste luchtemperatuur op waarnemingshoogte (1,5 meter) geregistreerd: 58,0 graden op 13 september 1922. Tot dit tijdstip was Death Valley in Californië recordhouder met 56,7 graden op 10 juli 1913. Tussen de laagste en de hoogste temperatuur die ergens op Aarde is waargenomen ligt dus een verschil van bijna 150 graden!

Vergeleken met deze uiterste waarden vallen die in ons land in het niet. De laagste temperatuur die in Nederland ooit is gemeten was -27,4 graden (Winterswijk, 27 januari 1942) en de hoogste temperatuur is 38,6 graden geweest (Warnsveld, 23 augustus 1944, eveneens in oostelijk Gelderland). Dit is een verschil van 66 graden. Ook ons land is dus in staat flinke uitscheters te produceren, want gemiddeld is het verschil tussen de hoogste en laagste temperatuur in een jaar slechts zo'n 25 graden.

Net als voor de Aarde als geheel, weet men ook van ons land welke streek een bepaald record kan opleveren. In hoofdstuk 3 hebben wij al gezien, dat de Noordzee ervoor zorgt dat er een behoorlijk verschil in klimaat bestaat tussen de kust en het binnenland. Het is dan ook geen toeval, dat de uiterste temperaturen in het binnenland zijn gemeten.

In het getemperde klimaat aan de kust is de kans dat een nationaal record van dit type sneuvelt veel kleiner, hoewel uiteraard niet helemaal onmogelijk. In de praktijk vinden wij toch de hoogste temperaturen in het zuidoosten en de laagst opgetreden temperaturen in het oosten van het land; dit laatste gebeurt tijdens heldere nachten als het land bedekt is met sneeuw. Op de Waddeneilanden is een dag met een temperatuur boven 30 graden al een zeer grote uitzondering. Maar als de Waddenzee is dichtgevroren kan het 's winters ook daar bijzonder koud zijn: in een enkel geval is er daar wel eens een temperatuur van -20 graden waargenomen.

Het verschil tussen de hoogst en laagst gemeten temperatuur op Aarde is zoals gezegd 150 graden en voor Nederland 66 graden. Toch zijn deze verschillen niet helemaal vergelijkbaar. Temperatuurverschillen van 150 graden kunnen namelijk op Aarde in principe op éénzelfde dag optreden, omdat de winter op de Zuidpool samenvalt met de zomer in bijvoorbeeld de Sahara. In Nederland is zojuist uiteraard niet mogelijk, zodat er altijd minstens enkele maanden moeten verlopen tussen een extreem lage en een extreem hoge temperatuur. Natuurlijk varieert de temperatuur ook al in de loop van een etmaal, maar het verschil tussen de hoogste en laagste temperatuur op één dag is dan veel minder dan de hierboven genoemde 66 graden. Toch kan het (vooral bij zonnige, 'schrale' voorjaarsdagen) gebeuren, dat het bij ons 's nachts 20 of 25 graden kouder is dan overdag. Dit zijn onze typische nachtvorstsituaties.

Ook hier geldt weer, dat elders op Aarde veel grotere dag-nacht verschillen optreden. In de Sahara bijvoorbeeld kan de temperatuur overdag tot in de buurt van de 40 graden oplopen, om vervolgens in de nacht tot rond het vriespunt te dalen. Zulke grote temperatuurschommelingen zijn alleen mogelijk als er zich weinig vocht in de lucht bevindt, want zoals wij in hoofdstuk 3 zagen, maakt vocht zowel een enorme temperatuurstijging als een grote temperatuurdaling onmogelijk. Dit verklaart ook waarom de tropen minder extreme temperatuurverschillen kennen dan de subtropische woestijnen: de grote luchtvuchtigheid leidt daar iedere middag tot de vorming van wolken en buien, wat een buitensporig stijgen van de temperatuur tegenstaat, terwijl 's nachts diezelfde vochtigheid een belangrijke daling verhindert.

In ons land komen regelmatig weersomstandigheden voor die met de tropen vergelijkbaar zijn,



Plaat 33. Op satellietfoto's zijn aan de wolkenformaties de klimaatzones van de Aarde vaak te herkennen (zie ook plaat 8). Wereldrecords in het weer zijn extreme uitingen van een bepaald klimaattype, zodat de plaatsen op Aarde waar ze kunnen optreden min of meer vastliggen. Even links onder het midden van de foto is de bewolking van een tropische cycloon zichtbaar.

meestal in juli en augustus. Een enkel voorbeeld: op 6 augustus 1981 was de temperatuur in De Bilt 's middags om drie uur 25 graden bij zeer hoge luchtvuchtigheid. Het was dan ook een 'drukkend hete dag', waarbij de temperatuur 's nachts niet verder dan tot 18 graden daalde. Soortgelijke omstandigheden (hoge vochtigheid tijdens warmte) komen in ons land in de zomer regelmatig voor. Dit is een onaangenaam trekje van ons klimaat: het verhindert het transpireren, waardoor dezelfde temperaturen in ons land als veel onprettiger worden ervaren dan de droge hitte in de subtropen. Het feit, dat de zomerdag bij ons zoveel langer duurt dan in de sub-

tropen versterkt dit nog eens. Bij ons wordt een hete, vochtige dag vaak afgesloten met zware onweersbuien. Niet voor niets spreekt men dan van tropische buien, want in de tropen gebeurt hetzelfde.

Hierboven hebben wij gezien dat onze Nederlandse temperaturen verbleken bij die elders op Aarde. Toch zijn de Aardse temperaturen nog gematigd; vergeleken met de andere planeten in het zonnestelsel zijn de omstandigheden bij ons heilig. Mars bijvoorbeeld, met zijn ijle, droge atmosfeer is veel kouder dan onze planeet. De Viking-ruimte-

vaartuigen (één landde op 22°NB en de ander op 48°NB) maten een hoogste temperatuur van -25 graden op een zomerdag en een laagste temperatuur van -120 graden in de winter. Bij de polen kan het natuurlijk nog veel kouder worden. Het verschil in nacht- en dagtemperatuur op deze planeet, die evenals de Aarde in ongeveer 24 uur om zijn as draait, is op de evenaar ongeveer 60 graden. Eigenlijk is Mars een soort koude woestijn. En dan te bedenken dat deze planeet nog de meest bewoonbare plaats naast de Aarde is! De overige buitenplaneten (Jupiter, Saturnus etc.) en hun manen zijn natuurlijk nog veel kouder dan Mars. Maar het meest onbewoonbare plekje in ons zonnestelsel is toch wel de planeet Venus, waar de temperatuur ongeveer plus 460 graden is. Bij deze temperatuur is lood vloeibaar; de Venusrotsen zijn zelfs roodgloeiend. Ook de nacht brengt daar geen verkoeling, al duurt deze 58 Aardse dagen. De dikke Venusatmosfeer houdt namelijk vrijwel alle straling tegen, waardoor het 's nachts maar één of twee graden koeler is dan overdag. In dit licht gezien hebben wij het met de Aarde nog niet eens zo slecht getroffen, zowel wat betreft de gemiddelden als wat betreft de extremen.

b. Neerslagrecords

Wij keren nu terug naar het weer op onze moederplaneet.

Het tweede element waarvan wij nu de records bespreken is *neerslag*. Hier zijn vele typen records mogelijk, afhankelijk van de tijdschaal die wij beschouwen. Wij moeten ons dus beperken en kijken alleen naar de hoogste *neerslagintensiteiten* (millimeters per minuut), de hoogste *neerslaghoeveelheden* op een dag en in een jaar en naar de lengte van *droogteperioden*.

Grote neerslaghoeveelheden in korte duur (enkele minuten) blijken typisch verschijnselen te zijn die bij buien horen. In paragraaf 34 (figuur 49) zagen wij bovendien, dat de omstandigheden hier voor het gunstigst zijn bij warm weer, als er veel waterdamp in de atmosfeer kan zijn. Hierdoor zijn records op dit gebied voor Nederland in de zomer geconcentreerd, terwijl men de wereldrecords in of nabij de tropen moet verwachten.

Neerslagintensiteiten worden gemeten in millimeters per minuut. Op zichzelf zegt zo'n eenheid minder dan die van de temperatuur, waarvan iedereen weet wat het ongeveer voorstelt. Wat 2 mm per minuut ongeveer betekent wordt misschien duidelijk als wij er aan toevoegen, dat een Nederlander dit gemiddeld ongeveer eens in de twee jaar maakt. Met andere woorden: de zwaarste plensbui die wij ons nog herinneren leverde tijdens zijn grootste hevigheid ongeveer 2 mm per minuut op. In tabel VI zijn de grootst waargenomen neerslagintensiteiten voor Nederland opgesomd met daar-

TABEL VI. Grootste neerslagintensiteiten in Nederland
(minstens 4 mm per minuut)

plaats	datum	intensiteit (mm/min.)	duur (in min.)
Ammerzoden	15 juli 1934	4,25	2
Stein	13-14 mei 1930	3-6	1-2
Lisse	14 juli 1930	3-5	1-1,5 (deel)
De Bilt	24 juni 1909	4,0	1 van een
De Bilt	27 aug. 1916	4,0	1 regen)
<i>Wereldrecord:</i>			
Gabriel Range	4 april 1926 (Californië)	26	-

naast het wereldrecord. Ook hier zien wij de Nederlandse getallen verbleken. Het wereldrecord van 26 mm/min is *tien* keer hoger dan de zwaarste bui die de Nederlander nog in het geheugen heeft. Ons voorstellingsvermogen schiet dan ook eigenlijk te kort om te begrijpen wat zoets betekent. Het moet een soort waterval van warme regen zijn die alles onder water zet.

Uit de tabel blijkt, dat grote neerslagintensiteiten bij ons gelukkig maar kort duren. Hierdoor blijft de hoogst mogelijke neerslaghoeveelheid in een etmaal toch nog binnen enigszins redelijke grenzen. Het gebeurt maar zelden dat er op een gegeven plaats in Nederland meer dan 100 mm binnen de vierentwintig uur naar beneden komt: gemiddeld komt dat maar eens per 1000 jaar voor. Over heel Nederland gezien gebeurt dit natuurlijk vaker, zodat er wel degelijk landgenoten zijn die zoets hebben meegeemaakt. Tabel VII geeft weer, waar in deze eeuw wel eens meer dan 110 mm is gevallen.

TABEL VII. Grootste neerslaghoeveelheden in Nederland.
(etmaalsommen van 110 mm en meer,
periode 1900 t/m 1981).

208 mm te Voorthuizen	op	3 aug. 1948
148 Amsterdam (Handelskade)		9 aug. 1951
146 Gouda		24 juni 1975
129 Schagen		13 juni 1930
126* Uithuizen		14 aug. 1915
124 Steenbergen		4 juli 1952
117 Mookhoek		4 juli 1952
117 Ruinen		8 aug. 1918
112 Numansdorp		4 juli 1952
112 Petten		15 sep. 1976
110 Putten		3 aug. 1948
<i>Wereldrecord:</i>		
1092 Réunion		28 feb. 1964

* Minimale waarde van een schatting.

Voorthuizen spant hier met 208 mm de kroon. Hoewel wij de reputatie hebben een nat land te bewonen, stelt ook hier weer ons nationale record op wereldschaal niets voor. Zo viel er op 28 februari 1964 tijdens het voorbijtrekken van een tropische cycloon (de grootste regenbrengers op de tijdschaal van een dag) in Belouve op het eiland Réunion in

negen uur tijd 1092 mm regen – evenveel als de totale hoeveelheid neerslag van De Bilt in een zeer nat *jaar*. Dit betekende een gemiddelde neerslag-intensiteit (over die negen uur) van 2 mm/minuut: dezelfde als van onze kortdurende plensbuien! Als wij hier aan toevoegen dat het passeren van zo'n cycloon met windsnelheden van ver over de 150 km/uur gepaard gaat, kan men zich misschien enigszins voorstellen wat deze gebeurtenis voor dit eiland betekende.

Toch zijn ook de dagrecords maar gebeurtenissen van korte duur. Ze geven niet weer, wat nu gemiddeld de natste plaatsen op Aarde zijn. Deze blijkt men te moeten zoeken in berggebieden op enige hoogte. Als er tegen een bergketen een wind blaast, dan wordt de lucht gedwongen om langs de hellingen omhoog te stijgen zodat de waterdamp erin gaat condenseren. Op deze manier valt de beschikbare waterdamp van een groot gebied op één geconcentreerde plaats (als regen) neer. De natste plaats op Aarde is een meetpunt op de berg Waialeale op het eiland Kauai in de Hawaii archipel, waar *gemiddeld* per jaar 11450 mm regen wordt afgetapt. Het is duidelijk, dat hierbij vergeleken het *record* voor De Bilt (1165 mm in 1965) geen enkele indruk maakt. De op één na natste plaats is Cherrapunji (India) waar de gemiddelde neerslaghoeveelheid 10.820 mm bedraagt. En nu het wereldrecord (Cherrapunji): 22.987 mm in 1861: bijna 23 meter! Dit is *gemiddeld* ruim 60 mm voor iedere dag – een daghoeveelheid die een Nederlander maar één keer in de 25 jaar meemaakt (zie figuur 47 op blz. 76).

Nederland kent behalve zijn regenrecords, ook zijn droogterecords. In het begin van dit hoofdstuk zaken wij al, dat droogterecords pas interessant worden als wij langere tijdsduren beschouwen, want een droge periode van een paar dagen of een week is nergens op Aarde iets bijzonders, ook voor Nederland niet.

Iets anders is het, als een droogteperiode een maand of langer duurt. Dan worden de weersomstandigheden in Nederland vergelijkbaar met die in de woestijngebieden. Tabel 8 achterin het boek toont ons, dat het in de periode 1951-1980 maar vier keer is voorgekomen, dat er in De Bilt in een hele maand minder dan 10 mm neerslag viel. Betrek is de grote droogteperiode van 1976, die in februari begon en pas in september eindigde. Er waren toen weliswaar geen maanden waarin helemaal geen neerslag viel, maar de opeenstapeling van tekorten veroorzaakte tenslotte grote schade. Gemiddeld over het hele land was februari t/m augustus 1976 het droogste tijdvak van zeven maanden sinds het begin van de landelijke metingen op 1 december 1848.

c. Windsnelheidsrecords

Het laatste element waarvan wij de wereldrecords

bespreken is de windsnelheid. Ook hier vragen wij ons eerst af, op welke plaatsen op Aarde de meeste of minste wind waait, en hoe de extremen zich vergelijken met die van Nederland.

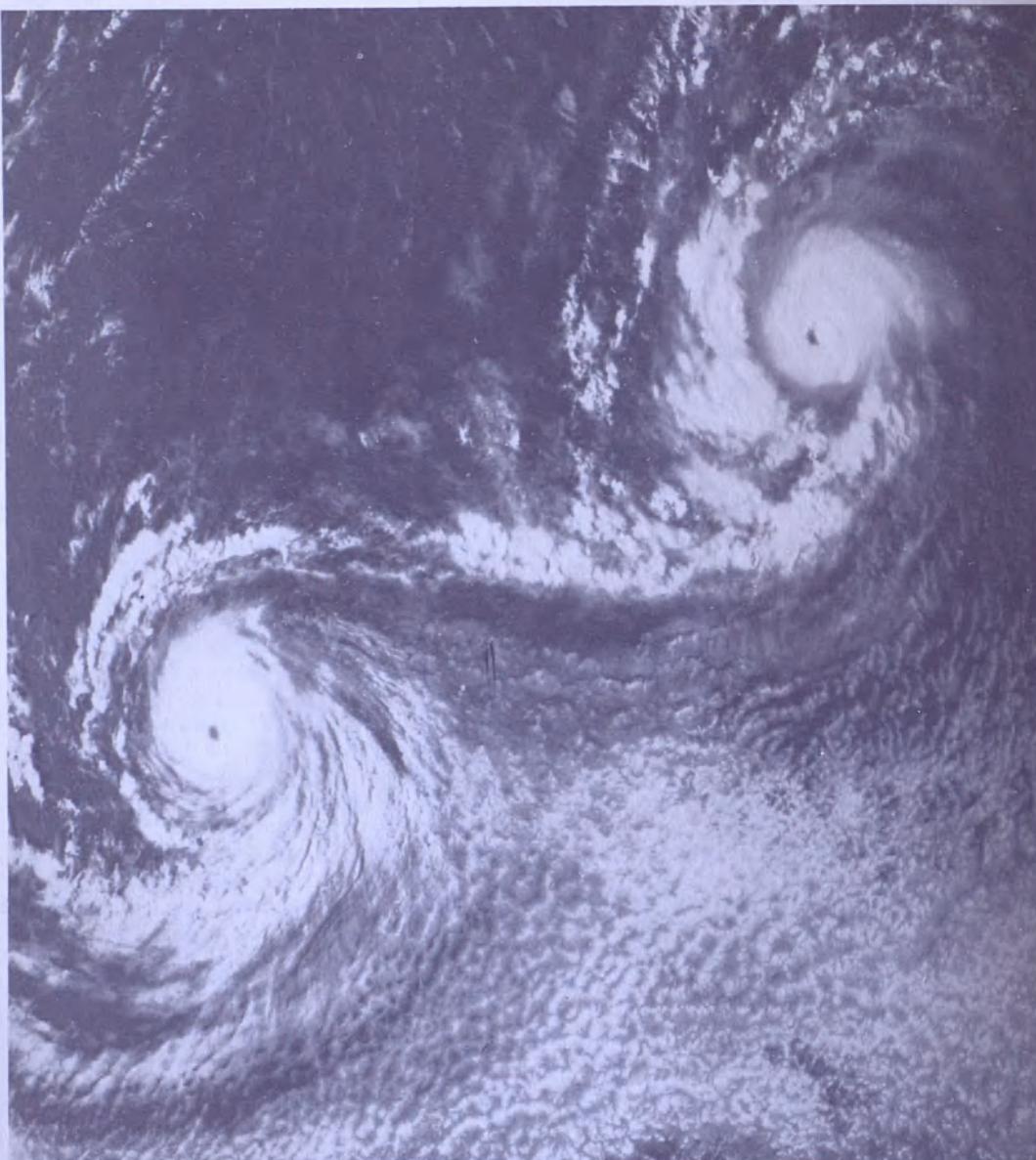
Hoewel stormen veel korter duren dan perioden met weinig wind, behoren lange werkelijk stille perioden bij ons toch tot de uitzonderingen. De stilste dagen zijn die waarbij een hogedrukgebied vrijwel met zijn centrum boven ons land ligt. Maar zelfs dan waait het overdag altijd nog wel van tijd tot tijd, doordat de verwarming van de atmosfeer luchtstromingen opwekt. Werkelijk stil is het dan eigenlijk alleen in de nachten.

Dit neemt niet weg, dat er af en toe perioden voorkomen met weinig wind, maar zo'n stille periode duurt bij ons nooit echt lang.

Elders op Aarde is dit anders. Er zijn plaatsen waar windstilte regel is. Het zijn de uitgestrekte gebieden in de subtropische oceanen, die door onze zeevaartende voorouders de Paardenbreedten werden genoemd. Hier werden de paarden, bestemd voor de Nieuwe Wereld, overboord gesmeten als door een wekenlange drijfpartij het voedsel voor deze dieren was opgeraakt. Deze windstilten worden veroorzaakt doordat de grote, subtropische hogedrukgebieden (waarvan het Azorenhogedrukgebied er één is) de neiging hebben, langdurig op hun plaats te blijven liggen. De Paardenbreedten (tussen 20°NB en 40°NB) en het vergelijkbare gebied op het zuidelijk halfrond waren wat dit betreft berucht bij de zeilvaart (honger, dorst en scheurbuik).

Te weinig wind mocht dan vooral vroeger in een aantal opzichten rampzalig geweest zijn, te veel wind is nog erger. Wat betreft windsnelheid slaat ons land geen gek figuur in vergelijking met de rest van de wereld: wij bevinden ons in de westenwinddrift van het noordelijk halfrond, zodat depressies hier regelmatig langs trekken. Gemiddeld komen hoge windsnelheden dus vrij vaak voor. Dit wil echter niet zeggen, dat wij hier ook met de hoogst mogelijke windsnelheden op Aarde te maken hebben.

Net zoals bij de neerslag, hangt ook bij de windsnelheid het record af van de schaal waarop wij kijken. Niet zozeer de tijdschaal, maar eerder de afmetingen van de stormsystemen zijn hier belangrijk. Er zijn drie grote windbrengers op Aarde, te weten: depressies, tropische cyclonen en windhozen. Depressies zijn het grootst, dan volgen de cyclonen; de windhozen zijn het kleinst. Dit betekent dat depressies meestal langere tijd storm veroorzaken dan tropische cyclonen, terwijl windhozen maar zeer korte tijd voor harde wind kunnen zorgen. Omgekeerd is de windsnelheid in een hoos hoger dan die in een tropische cycloon, terwijl deze weer een hardere wind oplevert dan een depressie. Overigens duurt ook een 'depressie-storm' maar zelden langer dan een paar dagen.



Plaat 34. Satellietopname van een dubbele tropische cycloon boven de Stille Oceaan. Tropische cyclonen zorgen voor een enorme wind en zeer grote neerslaghoeveelheden en zijn berucht in de subtropen. Midden in een cycloon is het echter rustig weer met opklaringen; dit is het zgn. oog van de cycloon. Bij beide cyclonen is dit oog zichtbaar, dat meestal een diameter van ongeveer 20 km heeft.

Als wij de meest winderige plaats op Aarde zoeken, dat wil zeggen de plaats met de meeste zware stormen, dan komen wij terecht in de streken met de meeste depressieaktiviteit. Dit is het zeegebied rond de Zuidpool, dus de westenwinddrift op het zuidelijk halfrond. Op het noordelijk halfrond is de westenwinddrift (met daarin Nederland) door de aanwezigheid van landmassa's wat minder sterk; wat betreft winderigheid neemt dit gebied op Aarde

de tweede plaats in. Dit betekent, dat de Nederlandse records ons al een behoorlijk beeld geven waar toe depressies in staat zijn.

Voor wij de getallen van deze records vermelden, noemen wij eerst nog even wat karakteristieken van de andere stormsystemen. Tropische cyclonen zijn kleiner (diameter ca. 500 km tegen 500-2000 km voor depressies) maar heviger dan onze depressies. Ze ontstaan in de zomer iets ten noorden van de



Plaat 35. Links: Zware windhoos boven land. Rechts: Boven water (foto's S. Carter, Amerika en H. Beuker).



Plaat 36. De ravage na een zware windhoos in Grand Island (Nevada, Amerika) (foto H. A. F. M. Otten).

evenaar boven de Atlantische Oceaan en bereiken hun volle sterkte dikwijls in het Caribische gebied (Cuba). Vervolgens buigen ze meestal naar het noorden om en kunnen daarbij de zuidkust van Noord-Amerika (Florida) teisteren. Daarna beginnen ze aan de oversteek terug over de Atlantische Oceaan, maar tot ons geluk gaan ze daarbij doorgaans spoedig over in gewone depressies of verdwijnen helemaal. Er is maar één geval bekend waarin er nog iets van het oorspronkelijke gebied met orkaanwinden over was op het ogenblik, dat

het overblijfsel van deze tropische cyclonen West-Europa bereikte. Dat was op 16 september 1961, toen de orkaan 'Debbie' langs de westkust van Ierland trok en daar ernstige schade veroorzaakte.

Zware windhozen (tornado's) komen wel een enkele maal in Nederland voor, hoewel hun kracht geringer is dan van die in Amerika. Ze zijn bijzonder klein (een tiental tot honderd meter in diameter), maar kennen enorme windsnelheden. Vaak zijn ze een onderdeel van een buienwolk – een gebied dat zich toch al kenmerkt door windstoten. Ze onder-

scheiden zich van de bovengenoemde systemen, omdat ze veel hoger zijn dan breed. Ze veroorzaken bij het voorbijtrekken maar zeer korte tijd harde wind: feitelijk alleen één (of twee) enorme windstoten. In Amerika komen jaarlijks honderden zware hozen voor, in ons land zijn ze gelukkig zeldzaam. Bekende zware windhozen kwamen voor in Borculo (10-8-1925), Neede (1-6-1927), op de Veluwe (23-8-1960), in Tricht (25-6-1967) en op Ameland (11-8-1972). In al die gevallen veroorzaakte de hoos een zeer lokale, maar intense vernieling waarbij ook doden vielen.

In tabel VIII zijn de windsnelheden van een zware storm in Nederland vergeleken met de hoogste windsnelheden van tropische cyclonen en windhozen.

TABEL VIII. Windsnelheidsrecords

	max. uurgemiddelde snelheid (km/uur)	maximale windstoot
Texel 2-4-1973	108	151
Tropische cyclonen	240	350
Windhoos	-	500

Al verbleken de Nederlandse stormen bij de tropische cyclonen, hun vernietigende kracht is toch enorm. Windstoten van 100 km/uur of meer ontwortelen bomen, vegen dakpannen van de daken of blazen soms hele daken weg. Ook zijn ze krachtig genoeg om schoorstenen om te blazen en torensputten af te breken, zoals gebeurde met de spits van de St. Bonifaciuskerk te Leeuwarden tijdens de storm van 3 januari 1976. Vrachtwagens worden omver geworpen en personenauto's van de weg geblazen. Stormt het uit het noordwesten, dan wordt boven-dien het water van de Noordzee tegen de kust omhoog gestuwd waarbij het wel twee tot drie meter hoger kan komen dan normaal. Men kan er zich nu een voorstelling van maken hoe de omstandigheden zijn in het stormveld van een tropische cycloon, waar een *gemiddelde* windsnelheid van 150 km/uur (als in onze sterkste windstoten) heel normaal is. In zo'n windveld wordt letterlijk alles plat geblazen. Alles wat met de wind meeveegt krijgt de snelheid van een projectiel. Latten en stokken doorboren houten wanden, een ping-pongbal vliegt dwars door een vensterruit. Regendruppels striemen de huid open, auto's en houten huizen worden omver geblazen. Trekt een cycloon langs de kust, dan kan deze het water vele meters omhoogstuwen, zodat enorme overstromingen volgen. Deze overstromingen eisen regelmatig hun tol in landen als India en Bangladesh.

De hoogste windsnelheden op Aarde komen echter voor in zware windhozen, zoals de tabel laat zien. Vooral in het voorjaar in Amerika veroorzaken hozen dan ook in korte tijd een geweldige ravage.

Vernietigend is niet alleen de kracht van de hoos, maar ook het feit dat het vóór en na de hoos helemaal niet hard hoeft te waaien: de wind neemt plotseling toe tot een formidabele sterkte en verandert bovendien snel van richting.

In het algemeen kan men wel stellen, dat het ondergaan van een wereldrecord op weergebied alles behalve aangenaam is. De bovenstaande beschrijvingen maken echter duidelijk, dat het meemaken van een windrecord in een tropische cycloon of in een zware windhoos misschien wel het ergste is wat een mens kan overkomen.

42. 1980: een jaar van extremen?

Nu wij in het voorafgaande onze nationale records hebben vergeleken met de wereldrecords, zullen wij vervolgens het weer in het jaar 1980 voor verschillende seizoenen doorlopen en vergelijken met voorbeelden van extreem weer van vroeger. Als 'kapstok' hiervoor gebruiken wij de temperatuurkromme van 1980 voor De Bilt (afgebeeld in figuur 62) en de neerslaggrafiek voor De Bilt van dat jaar (figuur 63).

Het verloop van de temperatuur, gemiddeld over een etmaal, voor De Bilt in 1980 is door een dikke lijn weergegeven in figuur 62. De vloeierder dunne lijn, die door de dikke lijn heenloopt, stelt het *gemiddelde* verloop van deze temperatuur voor. Deze lijn is verkregen door alle temperaturen van een gegeven datum over de periode 1901-1979 te middelen. Opvallend is, dat er in 1980 geen enkele periode is aan te wijzen waar de temperatuur dit gemiddelde een tijdje heeft gevuld: de dikke lijn slingert op een willekeurige wijze om de gemiddelde lijn heen. Globaal is de afstand tussen twee opvallende toppen ongeveer één week, zoals wij dit verwachten op grond van de verplaatsingssnelheid van de lange golven in de atmosfeer (par. 22). De sterke persistentie van de temperatuur zorgt ervoor, dat grote schommelingen van de ene dag op de andere onwaarschijnlijk zijn: inderdaad vertoont de temperatuurlijn maar op enkele plaatsen een sprongsgewijze verandering.

Zeer opvallend is de periode met lage temperaturen van half juni tot omstreeks 20 juli: hier bekrijpt ons onmiddellijk het gevoel dat er toen iets bijzonders plaats vond. Toch is deze periode eigenlijk even normaal of abnormaal als alle andere delen van de grafiek, zoals wij dit kunnen begrijpen uit een vergelijking met een dobbelsteen: vijf maal achter elkaar zes gooien is even bijzonder als bijvoorbeeld achtereenvolgens 3-4-1-1-6 of ieder andere van te voren gekozen volgorde, maar 3-4-1-1-6 vormt nu eenmaal een minder opzichtig patroon dan vijf zessen. Op dezelfde manier valt in het weer een langdurige koele of warme periode meer op dan

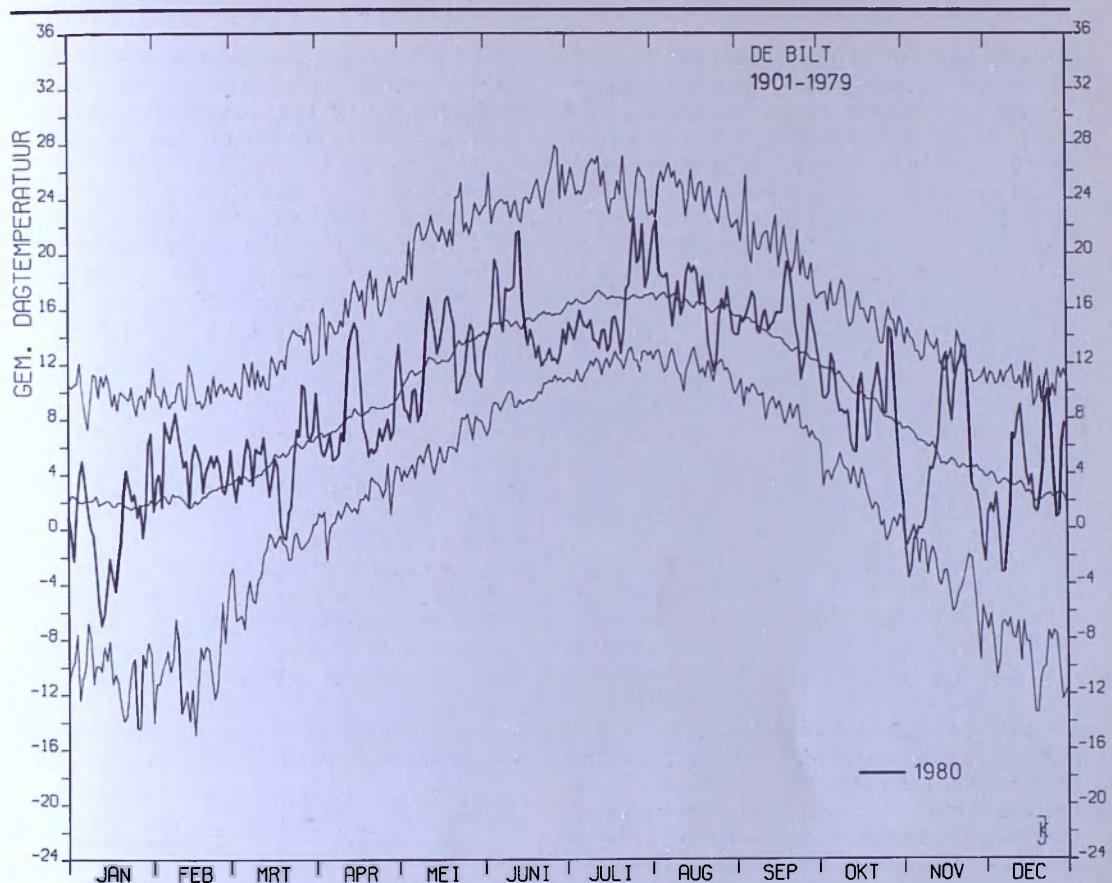


Fig. 62. De dikke lijn geeft het verloop van de gemiddelde dagtemperatuur in 1980. De dunne lijnen geven resp. de gemiddelde waarden en de hoogst- en laagst opgetreden waarden van dag op dag voor de periode 1901-1979.

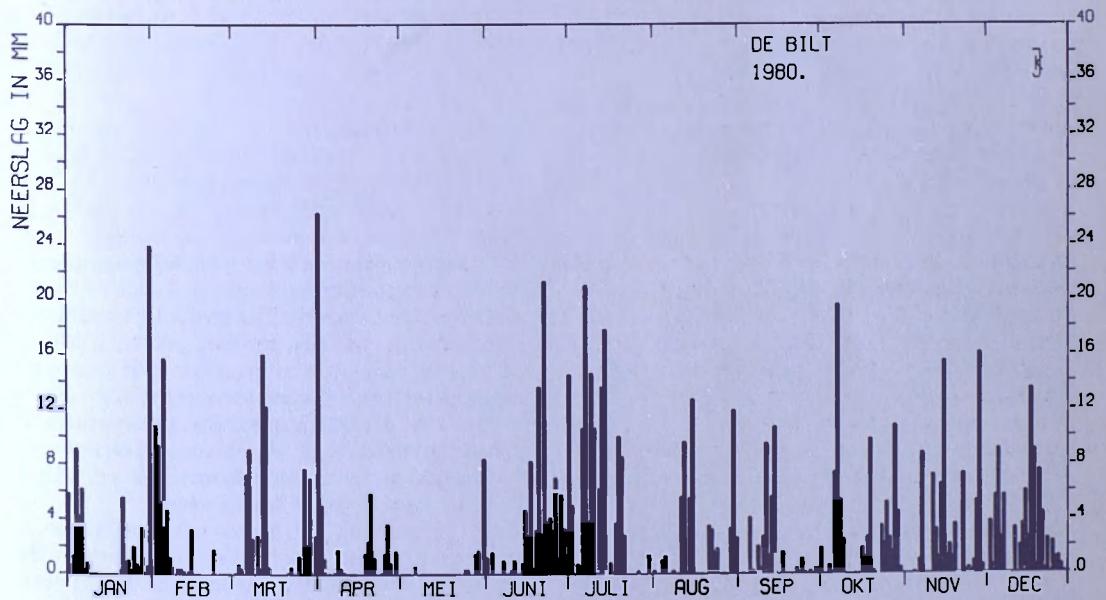


Fig. 63. Neerslaghoeveelheden per dag van 1980.

een afwisseling van koele en warme dagen.

In figuur 62 zijn nog twee dunne lijnen getekend, een bovenste en onderste lijn. Ze verbinden van iedere dag de recordwaarden in de temperatuur over het tijdsinterval 1901-1979, dus de voorafgaande jaren van deze eeuw. De temperatuurlijn voor 1980 loopt vrijwel overal tussen deze recordlijnen in, maar in november schiet hij er een paar keer overheen; aan het begin van de maand naar beneden en hierna naar boven. Hier zijn dus temperatuurrecords gebroken, d.w.z. dat het op die data nog niet eerder deze eeuw zo koud of warm is geweest. Verder werden recordwaarden bijna geëvenaard in maart (vorst aan het begin van de lente), nabij de maandovergang juli-augustus (warmtegolf), eind augustus (lichte nachtvorst), midden september (warmtegolf), eind oktober (warmtegolf) en in december omstreeks de Kerstdagen (eveneens een warmtegolf).

De neerslaghoeveelheden voor 1980 (figuur 63) vertonen een grilliger beeld dan het temperatuurverloop. Van de ene dag op de andere kunnen de hoeveelheden enorm verschillen. Als wij alleen uit deze figuur ons een beeld zouden moeten verschaffen van het verloop van het weer in 1980, dan kwamen wij niet ver. Leggen wij echter het neerslagverloop naast het temperatuurverloop, dan is er een samenhang: bijvoorbeeld de koudeperiode van half juni tot half juli was tevens nat; de hieropvolgende warme periode was vrijwel droog. Van de twaalf maanden van 1980 brachten alleen mei, augustus en september minder neerslag dan gemiddeld: de overige maanden waren te nat.

In tabel IX is het weer in 1980 samengevat voor verschillende elementen.

TABEL IX. Samenvatting weer 1980 (De Bilt).

	overheersende windrichting	temperatuur	neerslaghoeveelheid	zonneschijnduur
jan.	ZZW	-	+	-
feb.	ZZO	+	+	-
mrt.	Z	-	+	-
apr.	NW	-	+	-
mei	NO	-	-	+
juni	ZZW	-	+	-
juli	ZW	-	+	-
aug.	ZW	+	-	-
sept.	ZZO	+	-	+
okt.	ZZW	-	+	-
nov.	ZW	-	+	+
dec.	ZW	+	+	+
jaar	ZZW	0	+	-

+ betekent hoger dan gemiddeld
- betekent lager dan gemiddeld

0 betekent gemiddeld

Duidelijk is te zien dat er tussen al deze elementen verbanden bestaan: een maand met te veel neerslag

levert meestal weinig zon op, enzovoort. De jaartemperatuur van 1980 was vrijwel gelijk aan het gemiddelde, maar de neerslaghoeveelheid en zonneschijnduur week er behoorlijk vanaf: in onze streken zijn jaren die niet erg warm of koud zijn nu eenmaal vaak nat en somber. In de meeste maanden was er in 1980 sprake van een zuidwestelijke wind: zo'n luchtstroming levert inderdaad betrekkelijk veel regen op bij gematigde temperaturen. Mei springt er met zijn overheersend noordoostelijke wind uit: deze maand was dan ook zonnig en zeer droog. Maar als geheel genomen gebeurde er in 1980 op het eerste gezicht verder weinig bijzonders met het weer, zeker in vergelijking met sommige andere jaren. Om dit verder uit te werken zullen wij nu de seizoenen in meer detail bekijken en deze vergelijken met jaren 'van naam'.

a. Koude en zachte winters

Met een gemiddelde temperatuur van +3,5 graden in De Bilt was de winter van 1980 (d.w.z. dec. 1979 t/m feb. 1980) aan de zachte kant. Dit blijkt al uit figuur 62, waar wij zien dat de temperatuur voor januari en februari overwegend hoger was dan gemiddeld. Het is ook te zien in tabel X, waarin de vijf koudste en zachtste winters van deze eeuw zijn opgenomen.

TABEL X. Winters De Bilt, 1901-1980.

koudste winters		zachtste winters	
jaar	temperatuur	jaar	temperatuur
1963	-3,0 graden	1975	+5,5 graden
1947	-2,4 graden	1935	+4,8 graden
1940	-1,9 graden	1916	+4,7 graden
1929	-1,5 graden	1957	+4,7 graden
1942	-1,5 graden	1920	+4,4 graden

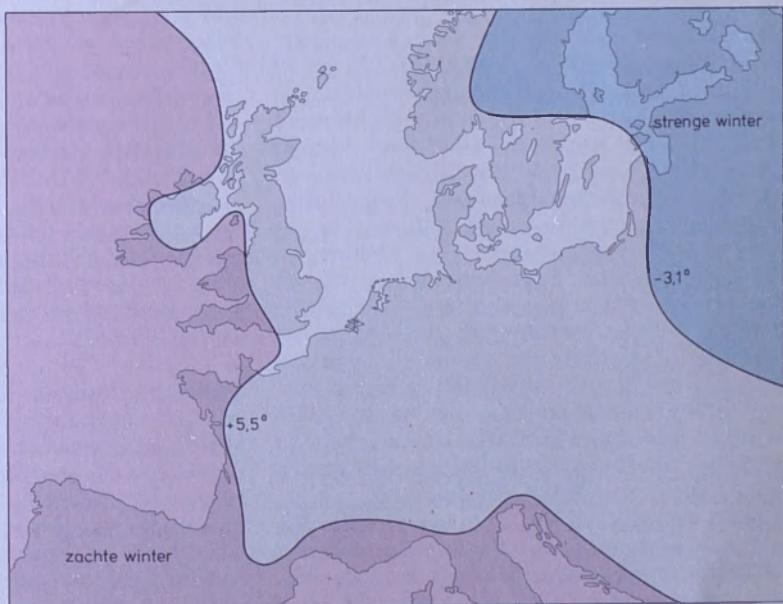
Vooral de winters van 1963 en 1975 zijn in dit lijstje extreem: de eerste is de op één na koudste sinds het begin van de metingen (alleen overtroffen door 1830 met -3,1 graden) en de laatste de zachtst bekende sinds het begin van de metingen. In zulke extreme winters krijgt men het gevoel dat de klimaatzones omgedraaid zijn: de koude of warme plaatsen in de atmosfeer lijken volledig verschoven. In de praktijk valt dat erg mee, want wij hoeven niet ver te reizen om in gebieden te komen waar zulke wintertemperaturen normaal zijn. In figuur 64 is te zien dat onze superzachte winters normaal zijn in Bordeaux en midden Engeland, terwijl onze superkoude winters overeenkomen met een gemiddelde winter in Polen of Zuid-Zweden.

Wat 1980 betreft: de winter was vrij zacht en kwam overeen met een 'gemiddelde' winter in Parijs. Wel is er van 11 tot en met 21 januari een korte koudeperiode geweest, die voor De Bilt een aangesloten periode van acht ijsdagen opleverde.



Plaat 37. Winterlandschap (foto M. Ulrich).

Fig. 64. Onze extreemste wintertemperaturen zijn $-3,1$ graad en $+5,5$ graad. De figuur geeft aan, waar dit in Europa de normale winters zijn. Een zeer strenge winter bij ons is een gemiddelde winter in Zuid-Zweden; een zeer zachte winter bij ons is een gemiddelde winter in Zuid-Frankrijk.





Plaat 38. Schaatsen op straat is een zeldzaam genoegen, dat op grote schaal mogelijk was na zware ijzel in de winter van 1979 (foto Herman van Dam, 24 januari 1979).

Dit wil zeggen dat de temperatuur op die dagen ook overdag niet boven nul kwam. Bij deze koude bleef het echter: in de rest van deze winter was verder geen ijsdag te bespeuren.

Natuurlijk kan het ook anders. De strenge winters van 1940 en 1942 telden respectievelijk 22 en 20 ijsdagen in januari, terwijl januari 1963 er 19 had. Het grootste aantal ijsdagen in een wintermaand werd echter wat betreft De Bilt geproduceerd in februari 1947, namelijk 24. Dit betekent, dat maar op vier dagen in die maand de temperatuur overdag boven nul kwam. Februari 1956 (overigens een schrikkeljaar) is een goede tweede met 23 dagen. Het wekt misschien enige bevreemding, dat dit laatstgenoemde jaar toch niet op de lijst van de strengste winters voorkomt. De oorzaak is het merkwaardige karakter van die winter: uit tabel 1 en 2 achterin dit boek zien wij, dat december 1955 en januari 1956 allebei behoorlijk zacht waren, terwijl februari enorm koud was. Hierdoor bestond de 'echte' winter van dat jaar alleen maar uit één lange, intense koudegolf aan het einde van de winter. Natuurlijk maakt zo'n soort winter veel meer indruk dan een winter als bijvoorbeeld die van 1970, die gemiddeld wel even koud was als 1956, maar waarbij er sprake was van verschillende

koudegolven van kortere duur. Zo'n soort winter wordt dan ook betrekkelijk snel vergeten.

Koude winters kenmerken zich door noordoostelijke of oostelijke winden. Hiermee wordt de lucht uit Scandinavië, Polen of Rusland aangevoerd, dus van streken waar het in de winter bijzonder koud kan zijn. Met deze luchtverplaatsing krijgen wij ook te maken met ongewone weerstoestanden. De meest markante voorbeelden hiervan zijn de langdurige sneeuwstormen, die in de winter van 1963 en vooral ook in die van 1979 het verkeer herhaaldelijk hebben ontwricht. In de eerstgenoemde winter werd het verkeer tussen de Kerstdagen en Oudejaarsdag tussen Amsterdam en Utrecht geheel stilgelegd, terwijl in februari 1979 grote delen van onze noordoostelijke provincies enige dagen volledig werden geïsoleerd.

Hoewel de winter van 1979 wat betreft de temperatuur pas op de zesde plaats komt op de lijst van strenge winters van deze eeuw, heeft deze zo'n opmerkelijk karakter gehad, dat wij hem apart in vogelvlucht bespreken.

Het meest spectaculaire van die winter was wel het grote aantal dagen met ijzel. In De Bilt werd dit verschijnsel op 14 dagen waargenomen; op sommige dagen in januari was de ijsafzetting op de straten

5 tot 10 mm dik. Er werd dan ook uitgebreid op straat geschaatst. Opmerkelijk was verder het grote aantal dagen met sneeuwval. In De Bilt waren het er 36, één minder dan het recordaantal in de winter van 1963; op 26 januari woei de sneeuw tijdens een sneeuwstorm op tot hoge duinen.

Halverwege februari lag de sneeuw in de noordelijke provincies ongeveer 30 cm hoog. Vervolgens stak er op 14 februari een storm op die de sneeuw omhoog blies waarbij er zich sneeuwduinen begonnen te vormen van vele meters hoogte. Toen na afloop van de storm de sneeuw in het noorden letterlijk huizenhoog lag vroeg men zich af, waar komt al die sneeuw toch vandaan? In de eerste plaats uit het open veld, dat vrijwel kaal geblazen was, maar vermoedelijk ook uit Duitsland, waar een laag van een halve meter sneeuw gelegen had. Niet alleen het weer, maar ook de sneeuwlaag werd dus in de vorm van stuifsneeuw uit het oosten geïmporteerd. Zulke stuifsneeuw bestaat niet uit vlokken, maar uit kleine ijskristalfragmenten, die net als zandkorrels tijdens een storm honderden kilometers in de lucht kunnen blijven. Deze stuifsneeuw dringt dan ook door nauwe kieren en spleten heen. In luwtjes vallen de ijskristalletjes neer en bouwen dan hele heuvels op. Omdat de lucht, die zich normaal tussen de vlokken van een sneeuwlaag bevindt nu ontbreekt, zijn de heuvels zo vast, dat men er gemakkelijk op kan lopen.

Aan iedere winter komt een einde, zo ook aan die van 1980. Als een oostenwind plaats maakt voor een zuidwestelijke luchtstroming, dan is een koudegolf snel afgelopen en slaat het weer om van koud naar zacht. Rond 9 februari 1980 werd er met zulke wind zachte lucht van de Azoren aangevoerd. Toen de zon op die dag doorbrak kon de temperatuur in De Bilt tot ruim 12 graden oplopen. Dit is bijzonder zacht voor de tijd van het jaar: het gebeurt maar uiterst zelden dat in de wintermaanden de temperatuur ergens in Nederland boven de 15 graden komt. De kans op zoets is natuurlijk het grootst rond eind februari, als het winterzonnetje alweer wat kracht heeft (de zon staat dan even hoog als in begin oktober!). Extrem zacht is bijvoorbeeld 27 februari 1900 geweest, toen in Winterswijk een temperatuur van 20,3 graden werd gemeten.

b. Het voorjaar: de overgang naar de zomer. IJsheiligen

De voorjaarsmaanden (voor de weerkunde maart, april en mei) kenmerken zich door een behoorlijke stijging van de gemiddelde temperatuur. Gemiddeld is deze begin maart nog maar 4 graden, maar eind mei al 13 graden in De Bilt. Hierdoor kan men in het begin van het voorjaar nog te maken hebben met zeer koud weer en aan het eind van het voor-

jaar soms met zomerse warmte.

Figuur 62 toont ons, dat er eind maart 1980 nog een flinke koudeperiode optrad: de temperatuurlijn bereikte rond 19 maart bijna de onderste recordlijn. Dit was een merkwaardig staartje van de winter, want sinds eind januari was het niet meer zo koud geweest. Ook in deze koudeperiode was er weer sprake van oostelijke wind. 's Nachts vroor het te De Bilt 4 graden en overdag werd het ongeveer plus twee graden. Echt koud kan het eind maart toch niet meer worden, want in die maand loopt de sneeuwbedekking in Europa snel ten einde. Oostelijke wind brengt hierdoor aan het begin van de maand nog wel zeer koude lucht naar ons toe (bijvoorbeeld op 5 maart 1971 vroor het in De Bilt nog 13,9 graden), maar later in de maand niet meer. Wij zien de onderste recordlijn in maart dan ook steil oplopen.

Doordat de zon in het voorjaar steeds hoger boven de horizon kan komen, neemt de kans op warm weer snel toe. Drie weken na de koude periode van eind maart 'brak in 1980 de lente door': op 14, 15 en 16 april werd het overdag in De Bilt warmer dan 20 graden; 15 april leverde zelfs 22,3 graden op. Maar lang duurde deze warmte niet, want op 18 april was de maximumtemperatuur alweer beneden tien graden.

De afsluiting van het voorjaar wordt gevormd door de maand mei. In 1980 was er toen gemiddeld sprake van een noordoostelijke luchtstroming, maar omdat het Europese continent nu tussen de zomer en de winter inzit, levert dat geen extreme temperatuur op. Wel was mei 1980 bijzonder droog, zoals wij uit figuur 63 kunnen zien. Totaal viel er maar 15 mm neerslag (tegen ongeveer 50 mm gemiddeld); ruim de helft hiervan viel op één dag (30 mei).

In mei kan het al bijzonder warm worden, soms stijgt de temperatuur zelfs tot boven de 30 graden. Toch is in mei soms ook de winter nog voelbaar, wat zich uit in sneeuw en vorst. Inderdaad, al is sneeuwval in mei erg zeldzaam, onmogelijk is het niet. In deze eeuw is dit tot 1980 op 9 dagen in De Bilt gebeurd; deze data zijn in Tabel XI weergegeven.

TABEL XI. Sneeuwval in mei in De Bilt, 1901-1980.

14 mei 1902	17 mei 1935
1 mei 1909	5 en 7 mei 1957
10 mei 1928	1, 2 en 3 mei 1979

Drie data in mei hebben de faam dat zij heel vaak eenzelfde koud weertype meebrengen: 12, 13 en 14 mei, de IJsheiligen. In paragraaf 29 is echter uiteengezet dat hier geen sprake van is, waarbij ook de achtergronden van dit fabeltje zijn toegelicht. De bovenstaande tabel toont ons ten overvloede, dat



Plaat 39. Bloemen in de sneeuw na een late sneeuwval (foto G. W. Th. M. de Bont).

het deze eeuw maar éénmaal op een van de IJshiligen gesneeuwd heeft.

Zijn er dan helemaal geen singulariteiten (datumgebonden weersverschijnselen) in ons klimaat? Nee, ons klimaat is er veel te wisselvallig voor. Dit wil niet zeggen dat datumgebonden weersverschijnselen helemaal niet bestaan, maar wij moeten ze elders op Aarde, in de tropen of subtropen zoeken. Een fraaie singulariteit is bijvoorbeeld El Niño, een rampzalige klimaatschommeling die zich rond Kerstmis kan voordoen in Peru, waar wij in paragraaf 44 verder op ingaan. Ook het voorkomen van tropische cyclonen kan tot de singulariteiten gerekend worden, want zoals figuur 65 toont, is op de Noordelijke Atlantische Oceaan de kans hierop in de eerste week van september verreweg het grootst. Wat betreft ons land moeten wij er echter in berusten, dat echte datumgebonden verschijnselen niet bestaan.

c. De zomer: koudegolven en hittegolven

Hoewel de zomer van 1980 enkele warme perioden heeft opgeleverd, was hij als geheel genomen aan de koele kant: de gemiddelde zomertemperatuur (dus over de maanden juni, juli en augustus) was 15,8 graden. Aan het temperatuurverloop van deze zomer in figuur 62 zien wij onmiddellijk de reden van deze koelte: van 15 juni tot 21 juli hadden wij

te maken met een onafgebroken periode van koud weer. Het dieptepunt vond plaats op 28 juni, toen het in De Bilt niet warmer werd dan 13,2 graden. Dit doet eerder aan het vroege voorjaar dan aan midzomer denken. Vrijwel iedere dag viel er regen (figuur 63) en er was niet veel meer zon dan in een gemiddelde wintermaand. Het is duidelijk, dat hier in de overige acht zomerweken heel wat hitte en zon tegenover had moeten staan om dit goed te maken. In 1980 lukte dat dan ook niet meer en ondanks een herstel in eind juli en augustus was de zomer als geheel genomen toch nat, somber en aan de koele kant. Wat betreft somberheid (gering aantal uren zon) neemt deze zomer in deze eeuw zelfs de vierde plaats in (na 1907, 1956 en 1977).

Na 21 juli was het gedaan met de kou en liep de temperatuur omhoog. Tot eind augustus werden er zelfs in De Bilt nog 7 zomerse dagen geregistreerd, dat wil zeggen dagen waarop het minstens 25 graden werd. Samen met de 6 zomerse dagen in begin juni betekende dat 13 van zulke dagen voor de hele zomer. Wat dat betreft was deze zomer niet eens zo slecht, vooral als wij weten dat de zomers van 1907, 1954 en 1956 slechts twee van zulke dagen opleverden. Overigens kwam de temperatuur in 1980 op geen enkele dag in De Bilt boven 30 graden uit.

Al zijn ze in de minderheid, het Nederlandse klimaat heeft naast koele zomers ook warme en zonnige zomers met veel zomerse dagen. In tabel XII zijn de zomers weergegeven die in dit opzicht de kroon spanden.

TABEL XII. Zomers De Bilt, 1901-1980, met minstens 30 zomerse dagen (max. temperatuur minstens 25 graden).

jaar	aantal zomerse dagen
1974	46
1976	41
1911	35
1975	31
1932 en 1953	30

Als wij bedenken dat de drie zomermaanden in het totaal maar 92 dagen tellen, dan begrijpen wij hoe schitterend die van 1947 zijn geweest. Het is dan ook geen wonder, dat dit jaar de hoogste gemiddelde zomertemperatuur sinds het begin van de metingen in 1706 opleverde (zie tabel 13 achterin het boek). Bovendien telde de meimaand ook al zeven zomerse dagen en september tien, zodat het warme weer dat jaar vele maanden bijna onafgebroken aanhield. Als wij de tabel zouden willen uitbreiden tot 1982, dan zou de laatste warme zomer (die van 1982) toch niet in de tabel voorkomen. Hoe mooi deze zomer ook was, hij haalde het wat betreft het aantal zomerse dagen lang niet bij die van 1947, want 'slechts' op vijfentwintig dagen werd het toen in De Bilt 25 graden of warmer.

Al kunnen wij het ons tijdens een koele, natte zomer nauwelijks voorstellen, een warme en zonnige zomer wordt toch ook niet onverdeeld als plezierig ervaren, als men er eenmaal mee te maken heeft. De meeste warme zomers bestaan namelijk uit een aantal warmtegolven, waarin de hitte eerst wel meevalt, maar vervolgens steeds sterker wordt. Inderdaad wordt in ons land een hitte van boven bijvoorbeeld 30 graden niet plotseling bereikt, maar onstaat doordat de op zichzelf al warme lucht iedere dag iets verder door de zon wordt verwarmd.

Een zeer hoge temperatuur is dus altijd een hoogtepunt van een op zichzelf al opvallende reeks van warme dagen. Als de temperatuur tot boven de 30 graden stijgt is dat doorgaans niet plezierig meer. Het betekent dan ook vaak toch een opluchting als er aan zo'n hittegolf een einde komt: men heeft die brandende zon nu wel lang genoeg gevoeld. Maar als het dan weer een tijdje koel en regenachtig is, begint men toch weer naar het warme en zonnige weer terug te verlangen.

Eigenlijk gebeurt hetzelfde met winters: als de winters een aantal jaren zacht zijn geweest spreekt men met weemoed en verlangen over de 'ouderwetse' winter. Als er dan eindelijk toch een koudegolf aankondigt, dan merkt men opeens weer met hoeveel overlast koude en sneeuw gepaard kan gaan. Na een paar dagen heeft men er dan meestal alweer schoon genoeg van!

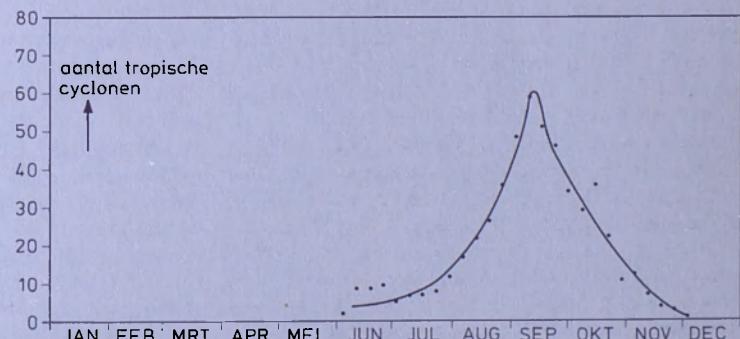
d. Het najaar en het stormseizoen. De stormvloed van 1953

Na augustus worden de dagen snel korter en kondigt de herfst zich aan. Dit gaat niet zo snel, want de Aarde en zijn atmosfeer hebben tijd nodig om af te koelen. In september zijn dan ook veel hogere temperaturen mogelijk dan in maart, ofschoon de daglengte in die maanden niet veel verschilt.

Ook in 1980 had september nog te maken met een periode van warm weer. Op 20 september werd het zelfs nog 25 graden: de temperatuurlijn van 1980 (figuur 62) kwam dicht bij de recordlijn. Maar het is duidelijk, dat de kans op zo'n hoge temperatuur in september en oktober snel minder wordt: het Europees continent koelt steeds verder af en warm weer ontstaat alleen als de wind lucht aanvoert uit de steeds schaarser wordende warme plekken in onze omgeving. Zoets is op het laatst alleen nog mogelijk als wij te maken hebben met lucht die afkomstig is uit Zuid- of Zuidoost-Europa.

Een blik op de temperatuurkromme leert ons, dat van eind oktober tot eind november 1980 enorme temperatuursprongen zijn opgetreden, waarbij zowel warmte- als kouderecords werden gebroken. Op deze manier demonstreerde de atmosfeer ons

Fig. 65. Tropische cyclonen vormen een voorbeeld van een singulariteit, d.w.z. een datumgebonden verschijnsel. Weergegeven is het aantal waargenomen cyclonen op de Atlantische Oceaan 1901-1963. Verreweg de grootste kans op het verschijnsel is in het eerste gedeelte van september.



dat jaar duidelijk dat het najaar twee gezichten heeft: het is zowel het staartje van de zomer als de aanloop tot de winter.

Op 28 oktober was van deze winter nog niets te merken, want het werd in De Bilt overdag nog ruim 18 graden. Maar nauwelijks een week later, op 3 november, was de temperatuur zover gedaald, dat het de hele dag bleef vriezen: de eerste ijsdag van het seizoen! Deze was in de 20e eeuw nog niet eerder zo vroeg in de herfst gevallen. Op 6 en 7 november kondigde de winter zich nog nadrukkelijker aan, want het begon langdurig te sneeuwen; ten noorden van de grote rivieren lag ten slotte een sneeuwlaag van 10 tot 15 cm. Deze sneeuwval was wel vroeg, maar van een record was geen sprake: tabel XIII laat zien, dat het ook wel eens in oktober heeft gesneeuwd.

TABEL XIII. Sneeuwval in oktober (De Bilt, 1901–1980).

27 oktober 1905	29 en 30 oktober 1941
25 oktober 1908	18 oktober 1973
30 oktober 1922	13 oktober 1975
30 oktober 1931	

Al met al was de eerste week van november de koudste van deze eeuw, zodat de schaatsliefhebbers moed begonnen te krijgen. Het verdere verloop van het weer toonde echter nogmaals, dat zo'n vroege

koudegolf niets zegt over de verdere gang van de temperatuur: het weer stevende regelrecht af op een extreem zachte periode, waarbij in De Bilt tussen 15 en 24 november herhaaldelijk een temperatuur van bijna 15 graden werd bereikt. Eind november en begin december was het nogmaals even koud, maar hierna niet meer. Achteraf gezien vormde deze vreemde novembermaand de ouverture tot een doodgewone, zachte winter. In november 1980 konden wij dat nog niet weten, omdat het weer nu eenmaal niet verder dan een paar dagen vooruit te voorspellen is: op dat moment was dus voor de winter van 1981 *letterlijk alles nog mogelijk*.

Niet alleen betekent het najaar het definitieve einde van de kans op warm weer, het vormt ook het begin van het zogeheten *stormseizoen* (oktober tot en met april). Het woord *stormseizoen* belooft echter meer dan het kan waarmaken, omdat er vele stormseizoenen voorbij zijn gegaan zonder dat er sprake was van een zware storm. In 1980 is er bijvoorbeeld in ons land geen enkele zware storm geweest. Eigenlijk wil het *stormseizoen* alleen maar zeggen, dat er in die periode een *kans* op het verschijnsel bestaat.

Als wij als criterium voor een zware storm hanteren dat de windsnelheid (gemiddeld over een uur) ergens in Nederland tenminste 90 km/uur is geweest, dan blijkt dat er in de periode 1940–1980 veertien

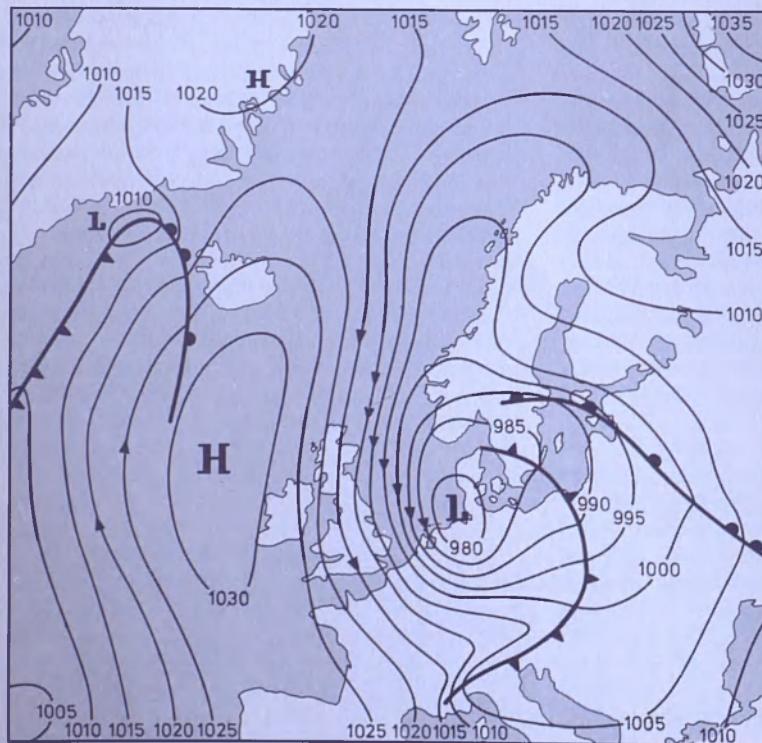


Fig. 66. Weerkaart van 1 februari 1953, 1 uur wintertijd. Een strakke noordwestelijke luchstroming boven de Noordzee veroorzaakte een catastrofale verhoging van de zeespiegel langs de kust. De drukwaarden zijn in millibar.



Plaat 40. Dijkbreuk in Zeeland na de storm van 1 februari 1953 (foto Aerocamera - B. Hofmeester).

maal sprake was van een zware storm. Het beruchtste geval was 1 februari 1953, toen een zware noordwesterstorm meer dan achtenveertig uur aanhield. Figuur 66 toont ons, dat er zich toen een enorme windbaan over de hele lengte van de Noordzee had gevormd. Hierdoor werd het zeewater hoog tegen de kust opgestuwed: in Hoek van Holland was de verhoging van de zeespiegel door de wind op een gegeven moment 3,04 meter en in Vlissingen 2,60 meter. Op zichzelf hoeft dit nog niet tot een ramp te leiden, maar op die bewuste datum was er sprake van een noodlottige samenloop van omstandigheden: het tijdstip van deze extra verhoging viel in het kwetsbare Zeeland namelijk vrijwel samen met dat van hoogwater. Het resultaat is bekend: een enorme overstroming op de Zuidhollandse en Zeeuwse eilanden. Het beter beveiligde Noord-Nederland ontsprong de dans, mede omdat het tijdstip van vloed daar ongeveer zes uur later valt dan in Zeeland – hier viel de hoogste opstuwing van het water door de wind dus ongeveer samen met eb.

Na de ramp is er nogal eens de nadruk op gelegd, dat deze mede veroorzaakt was doordat het op die

bewuste dag ook nog springvloed was. Het moet echter opgemerkt worden, dat deze factor geen werkelijke rol heeft gespeeld: de springvloed van die datum was buitengewoon laag. De hoogste waterstand zou op die dag (zonder de storm) zelfs nog iets lager geweest zijn dan die van een gemiddelde vloed. Hierdoor komt de ramp eigenlijk alleen op rekening van de storm en de bovengenoemde samenloop van omstandigheden.

In de periode 1971-1980 zijn er in het totaal in Nederland vier zware stormen geweest. In tabel XIV worden ze vergeleken met die van 1953.

TABEL XIV. Windsnelheid in IJmuiden tijdens de storm van 1953 en tijdens de zware stormen 1971-1980.

	max. uurgemiddelde snelheid (km/uur)	maximale windstoot (km/uur)
1 feb. 1953*	97	117
13 nov. 1972	99	137
2 apr. 1973	101	139
3 jan. 1976	103	144
3 jan. 1978	85	124

* Windsnelheidsmeter in 1968 verplaatst (van het duin naar de pier).

Hoewel de stormen van de jaren zeventig zeker niet onderdeden voor de februaristorm van 1953 en vooral de drie middelste stormen van de tabel zware schade in het binnenland veroorzaakten, hebben ze niet tot overstromingen geleid. De reden is, dat de fatale lange windbaan over de Noordzee zich óf helemaal niet vormde óf maar korte tijd in stand bleef. Afgezien hiervan waren er in het kwetsbaarste gebied van Nederland inmiddels een aantal dijken verhoogd, waarmee de kans op een herhaling van de ramp van 1953 aanzienlijk was verkleind.

Met deze besprekking van stormen zijn wij aan het einde gekomen van het overzicht van het jaar 1980. Dit jaar heeft veel uitzonderlijk weer gebracht en er sneuvelden verscheidene records. Maar is dit nu wel zo bijzonder? Nee, in ons wisselvallige klimaat is ieder jaar opgebouwd uit een unieke opeenvolging van weertypen en worden ieder jaar wel een aantal records gebroken. Het jaar 1980 was een jaar met records zoals vele andere jaren: een jaar dat we snel zullen vergeten.



Plaat 41. Na de storm van 1 februari 1953 waren grote delen van de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden overstroomd (foto Aerocamera - B. Hofmeester).

HOOFDSTUK 6

Het weer en de samenleving

43. Klimaat en overleving

*Toen, op slag, dreef Poseidon het wolkenpakket saam, brak de wateren open,
Hand om de drietand geklemd, joeg all'én uit iedere windhoek
Waaiende stormvlaggen op en bedolf onder slierende nevels,
Aarde en zee, onherkenbaar; en nacht ging om, nacht uit de hemel!
Botsend vachten er Ooster en Zuid en de nukkige Wester
Noorder ook, luchteblauws zoon, met zijn hoge rollende golven'.
(Odyssee boek 5, vertaling W. E. J. Kuiper, Haarlem, 1949)

Inderdaad, de god Poseidon was een vijand van Odysseus. Hij probeerde dan ook alles om Odysseus op zijn zeilend vlot te dwarsbomen en hanteerde als wapen het weer. Hoewel hij niet geheel slaagde in zijn opzet, had hij hiermee toch zijn pijlen op de Achilleshiel van de mensheid weten te richten. De mens is nu eenmaal in hoge mate afhankelijk van het weer dat hem omringt en kan zich bij zware weersomstandigheden maar moeilijk handhaven. Dit was niet alleen vroeger zo, maar geldt nu nog even goed. In het dagelijkse leven van tegenwoordig is men zich dat niet altijd even sterk bewust, maar van tijd tot tijd, vooral als er zich ergens een catastrofe heeft voltrokken, realiseert men het zich weer ten volle.

Het meest kwetsbaar is natuurlijk de naakte mens in primitieve omstandigheden. In deze oorspronkelijke staat kan de mens zich slechts handhaven en ontwikkelen in zeer bepaalde streken op Aarde – te weten die gebieden die een hoge temperatuur en voldoende neerslag kennen. De grenzen hiervoor liggen bij een gemiddelde temperatuur van meer dan 25 graden en een neerslaghoeveelheid van minstens 1000 mm per jaar, zodat hiervoor alleen de tropen in aanmerking komen. Thans is de mens over bijna de hele Aarde uitgezwermd, omdat technologie en kleding hem in staat stellen zich tot op zekere hoogte tegen klimatologische invloeden te beschermen. In dit opzicht onderscheidt de mens zich van de overige bewoners van de Aarde, die zich immers niet op deze wijze kunnen aanpassen. Weliswaar gedijen ook deze het best bij bepaalde klimatologische omstandigheden, maar de gunstigste omgeving verschilt van soort tot soort. Het gevolg is, dat ieder klimaatgebied op Aarde wordt gekenmerkt door een eigen flora, fauna en specifieke landschappelijke kenmerken.

Om een beeld te krijgen van de invloed van het

klimaat op mens en dier, splitst men dit wel op in drie niveau's. Het eerste is het *microklimaat*, d.w.z. het klimaat dat het individueel organisme omringt (bij de mens het klimaat nabij de huid, dus onder de kleding); het tweede het *ecoklimaat*, waaronder men het klimaat van de directe omgeving verstaat (bijvoorbeeld in een gebouw) en het derde het *geoklimaat*, dus het gewone, grootschalige klimaat om ons heen.

Om te overleven, moet vooral ons *microklimaat* zich binnen nauwe grenzen bewegen. Voor de naakte mens buitenhuis, waar het micro-, het eco- en het geoklimaat gelijk zijn, legt dit bovengenoemde nauwe restricties op aan de mogelijke vestigingsplaatsen. Gebruik van kleding stelt ons echter in staat om het microklimaat op peil te houden bij een afwijkend omringend klimaat. Hetzelfde geldt voor diersoorten die, met behulp van veren of beharing, een relatief koud klimaat kunnen doorstaan en aldus in staat zijn zich daar te vestigen. Het verschil met de mens is, dat de dieren deze 'kleren' niet uit kunnen trekken zodat de weg terug naar warme streken in principe is afgesneden.

Van zeker zo groot belang voor de overleving is de mate waarin wij ons *ecoklimaat* kunnen regelen. Kleding en dergelijke stellen ons wel in staat om ons microklimaat gedurende enige tijd bij een ongunstig klimaat te handhaven, maar op de lange duur brengt dit toch problemen met zich mee. Bewoning van onherbergzame streken zou ondenkbaar zijn, als daar geen ruimten bestonden waar het ecoklimaat niet veel afwijkt van het voor ons noodzakelijke microklimaat. In vroegere tijden vingen holbewoners dit al op door vuren te stoken; thans levert de technologie brede mogelijkheden dit op ruimere schaal te verwesenlijken, waardoor het aantal mogelijke woonplaatsen zich enorm heeft uitgebreid – zelfs tot de poolstreken, de diepzee en

de wereldruimte toe. Ook voor de dierenwereld geldt, dat de mate waarin het ekoklimaat geregeld kan worden een zeer belangrijke factor is voor hun overleving onder barre omstandigheden. Sommige dieren zijn hiertoe in staat: eenden passen bijvoorbeeld tijdens vorst hun ekoklimaat aan door een wak open te houden in de sloot. Hiermee zijn zij in staat hun voedselbron relatief lang open te houden en breiden aldus eveneens hun mogelijke woongebied op Aarde uit. Dit heeft echter zijn grens, want als het wak voor te lange tijd dichtvriest leidt dit tot voedselgebrek, gevolgd door een massale sterfte. Gebieden waar dit te vaak gebeurt, vallen af als woonplaats voor deze diersoort.

Terwijl de mens nog in staat is zijn ekoklimaat tot op zekere hoogte te regelen, geldt dat niet voor het grootschalige *geoklimaat*. Hij kan zich wel enigszins voor de invloed ervan afschermen, maar zeker bij een langdurig verblijf blijkt dat dit toch maar tot op zekere hoogte lukt. Zo zal bijvoorbeeld een te lang verblijf in een ijskoud klimaat op den duur meestal tot voedselproblemen moeten leiden. Ook hier geldt weer, dat de technologie dit grotendeels kan oppangen in de vorm van transporten, waarbij dus produkten van een gunstiger geoklimaat naar onherbergzamer streken worden gebracht, maar ook dit heeft zijn grenzen. Voor de dierenwereld geldt eveneens, dat het geoklimaat zodanig gunstig moet zijn, dat niet alleen de soort zich kan handhaven, maar dat er ook voldoende voedsel aanwezig moet zijn – dit stelt dan nauwere grenzen aan de mogelijkheden tot vestiging. Hoe verder het geoklimaat afsligt van het noodzakelijke microklimaat, des te meer moeite moet de soort zich getroosten in stand te blijven.

Uit dit alles ziet men, dat mens en dier tot op zekere hoogte in kunnen spelen op de weersomstandigheden, maar de invloed ervan zeker niet kunnen omzeilen. Hoe extremer het klimaat, des te moeilijker wordt dit. Daarbij komt, dat het weer ook zijn uitschieters kent. Overschrijden deze bepaalde grenzen, dan kunnen de gevolgen rampzalig zijn omdat het incasseringenvermogen van mens en dier er niet tegen opgewassen is. Waar die grenzen liggen hangt af van de soort, of beter gezegd van de fluctuaties die het eco- en microklimaat ervan kunnen hebben. Bijvoorbeeld een grote overstroming, voor de mens een catastrofale gebeurtenis, betekent voor een meeuw niets – die vindt zijn bedreiging in geheel andersoortige weerfluctuaties. Op dezelfde manier zijn er weersomstandigheden die voor de mens in natuurlijke staat gevraaglijker zijn dan voor de geciviliseerde burger, maar het omgekeerde geldt evenzo (bij gladheid, bijvoorbeeld). De technologie heeft ons niet weeronafhankelijk gemaakt, maar slechts bepaalde risico's gereduceerd, waarbij de prijs is geweest dat wij op een andere wijze weer-afhankelijk zijn geworden. Hoe men het ook be-

schouwt, iedere samenleving is ingesteld op zijn omringende klimaat, waarbij bepaalde marges gelden voor de weergevoeligheid. Uit de volgende paragraaf blijkt, hoe nauw deze soms wel zijn en hoe rampzalig de gevolgen kunnen zijn als ze overschreden worden.

44. Rampen en calamiteiten

Als het weer zich over de hele Aarde altijd met dezelfde seizoenregelmaat zou voltrekken, dan zou het leven zich overal kunnen ontwikkelen zonder dat er ernstige verstoringen van het biologisch evenwicht door weersinvloeden optreden. De praktijk is echter anders. Het weer kent, naast een regelmaat, ook uitschieters die onze leefomstandigheden tijdelijk volkomen wijzigen. Kenmerkend voor zulke uitschieters zijn hun zeldzaamheid, zodat in het grootste deel van de tijd het leven en de samenleving ongestoord voort kunnen gaan. Treedt er dan opeens zo'n uitschieter op, dan zijn wij hier doorgaans niet op ingesteld. De gevolgen hiervan zijn dan soms catastrofaal. Een werkelijk grote uitschieter van het weer leidt vaak in meer dan één opzicht tot een totale verstoring van het biologisch evenwicht en een algehele ontwrichting van de maatschappij – men spreekt dan van een *weerramp*. Kleinere storingen van dezelfde aard hoeven nog niet rampzalig te zijn, maar geven wel aanleiding tot ernstig ongemak. Zulke gebeurtenissen kan men klassificeren als *calamiteiten*.

Weerrampen kan men verdelen in drie typen, te weten *plotselinge extremiteiten*, *tijdelijke klimaatveranderingen* en *cumulatieve gebeurtenissen*. Van deze typen geven wij hier een beschrijving. De eerste vorm houdt een plotselinge, ingrijpende verandering van het weer in, die zich meestal in een betrekkelijk klein gebied afspeelt. Het verschijnsel is (zeer) tijdelijk, maar de hevigheid zo enorm, dat het tot gigantische ontwrichtingen aanleiding kan geven. Voorbeelden van zulke rampen zijn overstromingen, zware windhozen (tornado's) en tropische cyclonen, ijzel, extreme hagel, en, buiten het weer om, verschijnselen als aardbevingen en vulkaanuitbarstingen. De gevolgen van deze verschijnselen zijn vernietigend voor de samenleving die er door getroffen wordt. De technologie is niet meer in staat om zulke natuurkrachten te weerstaan; sterke gebouwen veranderen in levensgevaarlijke instortende ruines. Slechts het tijdelijk waarschuwen stelt ons in staat het verlies aan mensenlevens te beperken, maar dat funktioneert alleen maar voldoende in gebieden waar deze rampen bekend zijn en de mens weet wat hij moet doen. Hoe zeldzamer het verschijnsel, des te groter is de uitwerking – men wordt door het onbekende overvalLEN. Weerrampen van dit type komen ieder jaar veelvuldig over de



Plaat 42. Het passeren van een tropische cycloon leidt tot een plotselinge extremitet in het weer: enorme neerslag en zeer harde wind bij een temperatuur van 25 graden of meer (foto NOAA).

hele Aarde voor. Zij kenmerken zich door een formidabele hevigheid waar tegen de mens zich moeilijk kan wapenen – het enige wat hem in zo'n geval nog te doen staat, is te trachten tijdig het veilig te reden.

Tijdelijke klimaatschommelingen zijn rampen van een geheel ander type. Deze leiden er toe, dat een gemeenschap opeens geconfronteerd wordt met een volkomen afwijkend weertype. Men kan zeggen dat in het klein zoiets in Nederland gebeurt tijdens een strenge winter, waarbij men opeens te doen heeft met omstandigheden die in Finland normaal zijn. Dat leidt tot een grote reeks ongemakken en zelfs tijdelijke ontwrichtingen (geïsoleerde dorpen door stuifseeuw, massale gladheid), maar dit alles draagt hier nog steeds het karakter van een calamiteit en niet van een weerramp.

Werkelijk rampzalige klimaatschommelingen moet men elders zoeken. Een berucht voorbeeld is een verschijnsel dat zich van tijd tot tijd rond Kerstmis voordoet in Peru, en ter ere van dit feest El Niño (het Kind) wordt genoemd. Wat er dan gebeurt is het volgende. De gebruikelijke koele zeestroming uit het zuiden maakt tijdelijk plaats voor een warme stroming uit het noorden, waardoor het zee water langs de kust wel tien graden in temperatuur kan

stijgen. Men zou denken dat dit een meevaller is, maar het tegendeel is het geval. In het water vindt een massale sterfte plaats van vissoorten die niet tegen deze nieuwe omstandigheden zijn opgewassen. Erger nog is de weersverandering die op deze temperatuurstijging volgt: boven het zeer warme zee water kunnen zich opeens tropische buien ontwikkelen, die, als ze het land binnendrijven, voor een ongekende regenval zorgen, en dat gebeurt dan in een land waar het leven en de plantengroei volledig zijn ingesteld op een uitgesproken woestijnklimaat. De gevolgen hiervan zijn vernietigend voor mens en dier. Behalve overstromingen veroorzaken de buien een enorme erosie, omdat de schamele begroeiing niet is ingesteld op tropische regenval. Het duurt dan ook jaren, voor dit gebied deze ramp te boven is. In zijn ergste vorm is El Niño 16 keer sinds 1791 opgetreden, voor het laatst (tot 1981) in 1976. Juist deze zeldzaamheid draagt echter bij tot het desastreuze karakter ervan.

Terwijl weerrampen in de vorm van plotselinge extremiteten en tijdelijke klimaatveranderingen in het betrekkelijk korte tijd toeslaan, geldt dit niet voor het derde type. Hier gaat het om meteorologische gebeurtenissen, die op zich zelf niet gevvaarlijk zijn, maar door het lange aanhouden geleidelijk de vorm

van een catastrofe kunnen aannemen. Zo is bijvoorbeeld een droge dag of zelfs een droog jaar van weinig invloed, maar kan een aaneenschakeling van zulke jaren een ontwrichtend effect hebben op mens en samenleving, vooral wat betreft de landbouw en dus de voedselvoorziening. Op dezelfde wijze grijpt een aaneenschakeling van extreem hete dagen in op de landbouw, het biologisch evenwicht (botulisme in het water bijvoorbeeld) en de gezondheid van de mens – dit laatste soms ook indirect via epidemieën. Ofschoon de invloed van dit soort cumulaties zich eerst beperkt tot het geoklimaat, grijpt het met het voortschrijden van de tijd steeds verder in en verstoort vervolgens ons ecoklimaat en uiteindelijk het microklimaat. Als dit laatste punt bereikt is, dan is de catastrofe in volle hevigheid aanwezig.

Het leidt geen twijfel, dat weerrampen in het verleden van zeer grote invloed zijn geweest op de loop van gebeurtenissen en de historie soms een beslissende wending hebben gegeven. Hongersnood heeft aanleiding gegeven tot volksverhuizingen en ook in politiek opzicht is het gezicht van onze geschiedenis (mede) door het weer bepaald: in sommige gevallen hebben bijvoorbeeld zware weersomstandigheden en weerrampen de balans bij militaire operaties in een bepaalde richting doen doorslaan. Spectaculaire voorbeelden hiervan zijn het vergaan van de Spaanse Armada in 1588 en van de Franse vloot tijdens de Krimoorlog in 1854, maar in de geschiedenis zijn talloze andere voorbeelden aan te wijzen. Vooral Rusland heeft in dit opzicht een rijke historie, want zowel Hitler als Napoleon hadden daar toevallig te maken met een zeer strenge winter (die van 1941/1942 resp. 1811/1812), die mede tot het mislukken van de veldtochten heeft bijgedragen. Minder bekend is, dat ook de beruchte Zweedse koning Karel XII iets dergelijks is overkomen: nadat hij in de strenge winter van 1708/1709 in de Oekraïne was ingesneeuwd, werd zijn gedecimeerde leger de zomer erop vernietigend verslagen. Maar ook weersystemen van kleine omvang vermochten soms een verrassend stempel op onze geschiedenis te drukken, zoals een zwaar onweer op 5 december 1637. Dit noodweer dwong namelijk de Franse koning Lodewijk XIII te schuilen bij zijn kinderloze echtgenote Anna van Oostenrijk, van wie hij al jaren gescheiden leefde. Dit voorval was de directe oorzaak van de geboorte van de zonnekoning Lodewijk XIV op 5 september 1638. Het is in zijn algemeen zeker niet overdreven te stellen, dat de huidige landsgrenzen van Europa gedeeltelijk tot stand zijn gekomen door het weer, maar dan vooral door zijn grilligste uitingen die geleid hebben tot weerrampen of calamiteiten.

Met het ontwikkelen van de techniek is de mens geleidelijk aan minder kwetsbaar geworden voor sommige weersfluctuaties. Bijvoorbeeld door de

verbeterde dijkenbouw neemt een extreme waterstand niet meer zo gauw de vorm aan van een ramp. Zoals gezegd staat daar tegenover, dat een ontwikkelde maatschappij gevoelig blijkt voor weersfluctuaties van een ander type, die voor de vroegere, primitieve samenlevingen nauwelijks een bedreiging vormden. Zo is onze economie sterk gekoppeld aan de grootschalige landbouw en de mogelijkheden tot transport, en deze kunnen door meteorologische omstandigheden ontwricht worden. De luchtvaart is een nieuwe tak van weergevoelige activiteit, b.v. speciaal met betrekking tot windvlagen, blikseminslag en zware hagel. De hoogbouw kan bij bepaalde weersomstandigheden gevaarlijke situaties opleveren voor de veiligheid, bijvoorbeeld als een dooiinvall er toe leidt dat brokken ijs van grote hoogte naar beneden vallen. Zulk soort gevaren waren in vroegere tijden vrijwel onbekend. In feite heeft er in de loop van de eeuwen een accentverschuiving plaats gevonden in de gevoeligheid van de samenleving voor het weer: terwijl de techniek er aan de ene kant in is geslaagd ons tegen een aantal weerrampen te wapenen, heeft zij niet kunnen verhinderen dat hiervoor in de plaats toch een andere vorm van weersafhankelijkheid is ontstaan die in vroegere tijden niet optrad. In Nederland draagt het weer toch nog zo'n gelijkmataig karakter, dat men zich eigenlijk nauwelijks bewust is hoe afhankelijk onze maatschappij van het weer is – de maatschappij is als het ware in het klimaat ingepast. Toch zijn de grenzen waartussen het weer zich moet bewegen nauw, willen er geen verstoringen in onze samenleving optreden. Treedt het weer buiten deze grenzen, dan keert het zich tegen ons. Pas bij een echte weerramp realiseert men zich weer hoe nauw deze marges wel kunnen zijn.

45. De rol van het weer in de huidige samenleving

In bijna alle facetten van de maatschappij is de enorme invloed, die het weer op het geheel uitoeft, wel op de een of andere manier voelbaar. Deze invloed heeft verschillende aspecten: de samenleving is *ingepast* in het klimaat, het doen en laten van de mens past zich *aan* bij het heersende weer, en het weer is bovendien van invloed op de gezondheidstoestand van de mens en bepaalt de vegetatie ter plekke.

Van deze drie invloeden is de *inpassing* misschien wel de meest directe. Het is een onmiskenbare realiteit, dat men aan een bepaalde samenleving herkent hoe het klimaat ter plaatse is. Niet alleen de begroeiing, maar ook de bouwwerken zijn vaak *ingepast* in de weersomstandigheden en vormen aldus een weerspiegeling van het heersende klimaat. Hoe geciviliseerder de maatschappij, des te sterker zou



Plaat 43. De strenge winter van 1942 heeft mede het verloop van de 2e wereldoorlog bepaald. Duitse soldaten in aktie aan het Russische front.

dit het geval moeten zijn: als de gebouwen en constructies groter zijn, is de invloed van het weer hierop groter. Toch wordt dit niet overal onderkend, zodat moderne gebouwen in verschillende klimaatgebieden soms een 'tegennatuurlijke' eenvormigheid blijken te hebben.

Hoewel de weersinvloeden in de vele onderdelen van de maatschappij steeds iets anders doorwerken, zijn deze toch voornamelijk terug te voeren op slechts enkele weerelementen, te weten temperatuur, zonneschijn, wind en neerslag. Hierbij geldt in de eerste plaats, dat constructies bestand moeten zijn tegen de extremiteiten die deze elementen kunnen vertonen. Riolering moet dus berekend zijn op grote neerslaghoeveelheden, bouwwerken moeten grote windsnelheden kunnen doorstaan en berekend zijn op grote hoeveelheden sneeuw en dijkhoogten moeten ingesteld zijn op de extra fluctuaties die de zee- of rivierspiegel door meteorologische omstandigheden kunnen vertonen. Verder moet bij de constructie van bijvoorbeeld viaducten rekening worden gehouden met de uitzetting van de overspanning op warme, zonnige dagen en moet het verkeer (vlieg-, trein- en wegverkeer) zoveel mogelijk bestand zijn tegen wind, mist, gladheid. Aangezien constructies doorgaans vele jaren mee moeten, betekent dit, dat ze berekend moeten zijn op alle mogelijke weersinvloeden die kunnen optre-

den. Hierdoor weerspiegelt zich zowel de mogelijkheid van een koude winter als van een hete zomer in de vormgeving van onze samenleving. Al dit soort inpassingen, vaak onvermijdelijk omdat ze een veiligheidsaspect dragen, zijn in hoge mate bepalend voor het gezicht van onze architectuur en drukken dus een duidelijk stempel op de gehele maatschappij.

Bij *aanpassingen* ligt het accent geheel anders. Zodra het weer verandert, wijzigt het gedrag van de mensen zich. Dit is misschien wel het sterkst bij recreatieve activiteiten: mooi weer in de zomer veroorzaakt bijvoorbeeld een massale trek naar buiten, terwijl aanhoudend slecht weer een 'vlucht' van de vakantiegangers naar het zuiden teweegbrengt. Zulk massaal gedrag is bijzonder gevoelig voor wijzigingen in het weer: bij een plotselinge weersverslechtering (onweer op een hete dag) ziet men de stranden op slag leegstromen. Maar de invloed van zulke gedragsaanpassingen reikt nog veel verder. Het heersende weer bepaalt tevens het koopgedrag van de mensen, speciaal als het om weergevoelige producten gaat (ijs, kleding, schaatsen, paraplu's, tenten etc.). Dit gedrag kent – in tegenstelling tot de *inpassingen* – een sterke seizoensvariatie waar de maatschappij op ingespeeld moet zijn. Bedrijfstakken die hiermee te maken hebben, houden hier zo

goed mogelijk rekening mee, maar kunnen zich toch niet geheel beschermen tegen de gevolgen van de grilligheden van het weer van dag op dag. Ook de landbouw, de bouwnijverheid en vele andere weergevoelige bedrijfstakken hebben met dit probleem te maken, zodat onze economie voor een deel bepaald wordt door de wispelturigheden van het weer. Hoewel men, door goed gebruik te maken van weersverwachtingen, verliezen wel kan beperken, neemt dit niet weg dat men de ware oorzaak van deze gevoeligheid (het weer) niet kan beïnvloeden. Hierdoor kennen zulke bedrijfstakken een grilige afwisseling van 'goede' en 'slechte' seizoenen, op dezelfde wijze waarop de mensheid wordt geconfronteerd met een onvoorspelbare afwisseling van bijvoorbeeld warme en koele zomers.

Behalve dat wij ons gedrag aanpassen aan het weer, is het weer ook van invloed op de plantengroei en zelfs op onze gezondheid. Via welke elementen en mechanismen dit nu precies gaat is zeker niet in alle opzichten duidelijk, maar het bestaan van zo'n verband is boven iedere twijfel verheven. Vooral in het voorjaar worden wij er ieder jaar weer op spectaculaire wijze mee geconfronteerd, als de verschillende planten in een vrijwel vastliggende volgorde beginnen te bloeien. Dit verschijnsel is weergegeven in figuur 67, waar de gemiddelde bloeiperioden van een aantal plantensoorten zijn weergegeven. Deze figuur geldt voor De Bilt, waarbij moet worden aangegetekend dat deze data voor Zeeland gemiddeld ongeveer een week eerder en voor Groningen een week later in het jaar vallen. Blijkbaar heeft de 'bloeigolf' dus ongeveer twee weken nodig om van zuidwest naar noordoost Nederland te trekken.

Natuurlijk liggen de bloeidata niet helemaal vast, maar kan er, afhankelijk van de weersomstandigheden, sprake zijn van een 'vroeg' of een 'laat' voorjaar. Het blijkt echter, dat het zeker in de lente tot de zeldzaamheden behoort als het begin van de bloei meer dan twee weken afwijkt van wat hier is weergegeven. Uit de grafiek leest men ook het merkwaardige verschil tussen de lente- en de zomerbloei af: terwijl er in het voorjaar veel soorten zijn die kort na elkaar tot bloei komen, zijn dat er na juni veel minder en gebeurt het ook veel gespreider. Inderdaad is het moeilijk een tuin zo aan te leggen, dat hij de hele zomer in bloei blijft!

Samenhangend met de bloei bestaan er ook oogsttijden voor verschillende gewassen. De economie in verschillende landen is in hoge mate afhankelijk van de landbouw, zodat zulke data van groot belang zijn. Dit is nog sterker geworden door de invoering van de grootschalige landbouw, waarbij op hoge opbrengsten wordt gemikt. Nachtvorst, droogte e.d. kunnen niet alleen deze data vertragen, maar zijn er ook vaak de oorzaak van dat een oogst mislukt of ver onder de verwachtingen blijft. Zulke gebeurtenissen leiden ook in de tegenwoordige tijd regelmatig tot rampzalige gevolgen voor de voedselvoorziening en de economie van een streek – iets waar wij ons nog steeds niet volledig tegen kunnen wapenen.

De invloed van het weer op de menselijke gezondheid is van alle tot hier toe gegeven voorbeelden het minst goed begrepen en nog steeds het onderwerp van discussies. Toch zijn er zeker ziekten aan te wijzen, die in de hand worden gewerkt door bepaalde weertypen. Dit geldt vooral voor ziekten, die

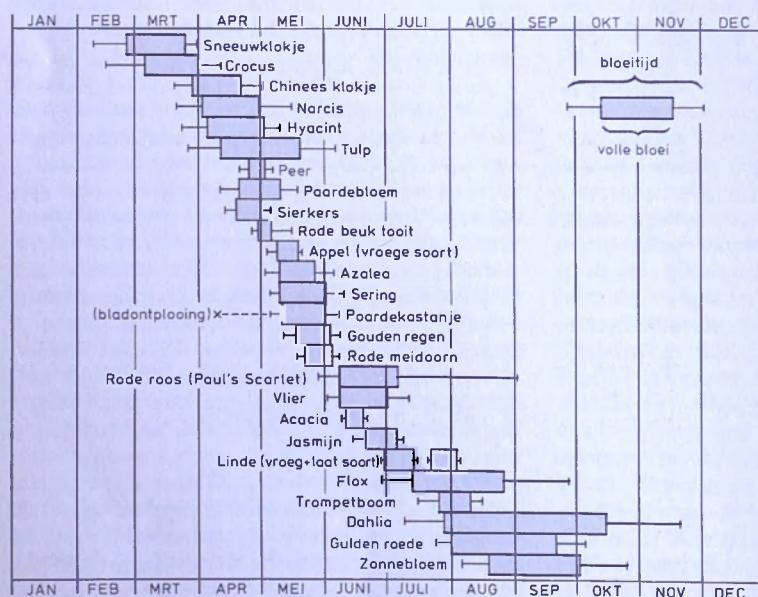


Fig. 67. Gemiddelde bloeiperioden van diverse plantensoorten voor De Bilt, zoals waargenomen door G. W. Th. M. de Bont over een periode van 25 jaar. Van jaar op jaar kunnen de bloeidata twee weken eerder of later vallen dan in de grafiek aangegeven. In het algemeen voltrekt de bloei zich wel ieder jaar in dezelfde volgorde.

verband houden met de luchtwegen. Het is onmiskenbaar, dat mistachtige situaties zulke ziekten in de hand werken. Andere ziekten, zoals griep en hooikoorts, vertonen een duidelijke seizoengebondenheid, zodat ook hier het weer een belangrijke oorzaak moet zijn. Hiernaast blijkt, dat bijvoorbeeld een plotseling optredende extreme hitte direct van invloed is op het sterftecijfer, omdat vooral in de hogere leeftijdsgroepen het zich minder goed aanpassende lichaam hier niet op ingesteld. Maar welke elementen nu precies bepalend zijn voor onze gezondheid als geheel en hoe deze invloed nu precies plaatsvindt, is toch nog grotendeels onbegrepen.

Daarom wordt hier slechts volstaan met verwijzing naar de literatuur achterin het boek. Uit deze paragraaf blijkt wel, hoe enorm groot de invloed van het weer is op de samenleving als geheel. Bij sommige onderdelen is deze invloed zeer duidelijk, en bij andere meer verborgen. Onze maatschappij is zo diep met het weer verweven, dat het bijna ondenkbaar is van al die invloeden een volledig overzicht te krijgen. Om toch een indruk te geven, is als aanvulling op deze paragraaf in tabel XV een reeks voorbeelden gegeven van activiteiten waarbij het weer een rol speelt.

TABEL XV Invloed van weer op de samenleving

Weer en klimaat als vijand

Aspect van de samenleving	Invloed van weer en klimaat
koopvaardij en visserij	1) stormen kunnen scheepen doen vergaan; 2) hoge golven belemmeren de snelheid; 3) ijsbergen en ijsaanslag kunnen gevaar opleveren; dichtgevroren vaarwegen leveren van tijd tot tijd problemen op.
dijkbewaking	langdurige stormen tussen NW en NNW veroorzaken grootste verhoging van de zeespiegel.
luchtverontreiniging	de verspreiding hangt af van de weersomstandigheden.
luchtvaart	zicht, wolkenhoogte, windstoten en ijzel op luchthavens; wind, ijsafzetting, turbulentie, hagel en onweer onderweg zijn alle belangrijke factoren. De windsnelheid onderweg en de luchtemperatuur bepalen de benodigde brandstof.
verkeer op de weg	ijzel, sneeuw, dichte mist, hevige regen en harde wind kunnen het verkeer belemmeren.
het plegen van misdaden en zelfmoord.	bepaalde weersituaties schijnen dit te bevorderen.
bosbranden	droogteperiodes kunnen ze bevorderen en bliksem kan ze aansteken.
lawines, overstromingen	kwaliteit en hoeveelheid van de sneeuw en tijdstip van dooi-inval bepalen de hevigheid.

Energievoorziening

Aspect van de samenleving	Invloed van weer en klimaat
zonneweergave	kan in onze streken een bijdrage leveren; het aanbod hangt sterk af van het weer. De meeste zonneweergave komt echter binnen in de zomer, als de energiebehoefte het kleinste is.
windenergie	de meeste wind is er in de wintermaanden, als ook de energiebehoefte groot is. Molens moeten echter tegen stormvlagen bestand zijn.
getijdekracht	is vooral effectief bij grote verschillen tussen eb en vloed; in Nederland zijn zulke plaatsen nauwelijks te vinden.

Voedselproductie

Aspect van de samenleving	Invloed van weer en klimaat
land- en tuinbouw en veeteelt	variabele oplag van de oogst (met name door aanhoudend extreem weer); nachtvorstschade.
verwijderen van bomenrijen (windsingels)	toenemende invloed van de wind op het gewas, maar daardoor ook minder nachtvorstschade.
glastuinbouw	veel zonnestraling verhoogt temperatuur in kassen en bakken.
transport van bepaalde land- en tuinbouwprodukten, o.a. bloemen en levensmiddelen	temperatuur is van belang voor de houdbaarheid van deze produkten; vorst kan tot beschadigingen leiden.
bestrijden van ziekten en plagen bij gewassen	hoge temperatuur en vochtigheid kan aardappelziekte en schurftzwam bij appel en peer veroorzaken.

Handel

<i>Aspect van de samenleving</i>	<i>Invloed van weer en klimaat</i>
verkoop van ijs en frisdranken	warme zomers doen het verbruik toenemen; het productieapparaat moet ingesteld zijn op een plotselinge toename van de vraag.
maken van reclame	luchtreclame kan alleen bij bepaalde weersomstandigheden.
afsluiten van een verzekering tegen regen tijdens festiviteiten	afhankelijk van het weer zal de maatschappij moeten uitkeren.
kledingindustrie	het weer bepaalt mede, wat we zullen kopen en aantrekken.
doen van inkopen	in sommige seizoenen is er een verband tussen weer en aankopen bij detailhandel.

Industrie

<i>Aspect van de samenleving</i>	<i>Invloed van weer en klimaat</i>
industrialisatie	verspreiding van luchtverontreiniging hangt af van meteorologische toestand.
bosbouw	stormen berokkenen schade aan bomenbestand.
gas- en elektriciteitsbedrijven	behoefte aan energie is afhankelijk van het weer; met name in de winter van temperatuur, windsnelheid en zonneschijn.
waterleidingbedrijven (drinkwatervoorziening)	een lange droogte-periode beïnvloedt het waterverbruik en de verontreiniging; constructie dient zodanig te zijn, dat tekorten niet voorkomen. In Nederland is dit tot dusver gelukt.
bouwnijverheid (incl. wegenbouw)	vertraging kan optreden door neerslag en vorst (onwerkbaar weer). Bovendien kan een vorstinval schade veroorzaken aan niet verhard beton.
wonen en werken	constructie van huizen, kantoren en fabrieken moet tegen allerlei weersinvloeden bestand zijn.
riolering	constructie dient berekend te zijn op grote neerslaghoeveelheden.
stedegebouw (stadsplanning)	hoogbouw bevordert o.m. onaangenaam windklimaat; vestigingsplaats industrieën moet zorgvuldig gekozen worden i.v.m. luchtverontreiniging.

Mens en tijdsbesteding

<i>Aspect van de samenleving</i>	<i>Invloed van weer en klimaat</i>
ziekte bij mensen	bij bepaalde weersomstandigheden voelen patiënten zich beter (of juist slechter).
arbeidsproductiviteit	bepaalde combinaties van weersfactoren, alsmede hun duur, doen de produktiviteit verminderen of juist toenemen.
recreatie in de open lucht	afhankelijk van de recreatievorm (strandweer, schaatsweer, zeilweer, zweefvliegweer etc.) zal de invloed anders zijn.
strandrecreatie	aan de kust is het koeler en zonniger.
sportbeoefening	is vaak alleen bij bepaalde weersituaties mogelijk.
vluchten van postduiven	slecht weer (ongunstige wind, onweer e.d.) kan grote verliezen veroorzaken.
ontvangst van radio- en TV-stations	met name temperatuur-inversies storen de ontvangst of maken juist ontvangst van grote afstand mogelijk.

Diversen

<i>Aspect van de samenleving</i>	<i>Invloed van weer en klimaat</i>
afsluiten van zeearmen	veroorzaken temperatuurveranderingen in kustgebieden, maar een betere bescherming tegen gevolgen van bepaalde extreme weersituaties.
migratie	toenemende droogte doet mensen wegtrekken.
verkiezingen	het weer is mede bepalend voor het opkomstpercentage en beïnvloedt hierdoor ook de uitslag.
oorlogvoering	sommige operaties zijn alleen bij gunstig weer mogelijk; bepaalde weertypen doen de balans bij oorlogshandeling soms ten gunste van een partij doorslaan.

Tabellen

zie pag. 118–135

Tabellen

Deel I. Klimatologische gegevens per maand 1951-1980, voornamelijk De Bilt (bij Utrecht)

Tabel 1: Maandgemiddelde maximumtemperatuur De Bilt 1951-1980

	jan	feb	mrt	apr	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec
1951	5,6	7,0	7,7	11,7	16,7	20,1	21,6	20,9	19,3	14,0	11,0	6,9
1952	4,7	5,5	8,6	15,8	18,3	19,7	21,7	21,3	15,7	12,1	5,6	3,9
1953	3,4	5,3	9,9	13,3	18,1	20,0	21,2	21,2	18,7	15,0	9,7	7,7
1954	3,1	2,7	9,7	11,3	17,9	19,2	17,8	19,6	17,4	14,8	9,9	8,1
1955	2,4	3,1	6,1	12,8	14,3	18,9	21,6	23,1	19,3	13,7	10,0	7,4
1956	5,1	-2,6	9,9	9,8	17,6	17,0	20,6	18,1	18,8	13,0	8,1	7,1
1957	6,0	8,1	12,2	13,4	15,0	21,8	22,3	19,5	16,3	14,3	8,5	5,6
1958	4,7	6,7	6,0	10,7	16,6	19,2	21,0	21,3	20,1	13,6	7,9	7,2
1959	4,6	3,6	11,5	14,6	18,4	21,6	24,0	22,8	21,9	17,1	8,6	6,2
1960	5,1	6,3	9,5	13,4	18,1	21,1	19,4	20,2	18,1	14,1	10,3	4,9
1961	4,5	10,0	11,7	14,8	15,0	20,3	19,7	20,1	21,3	15,5	7,6	4,9
1962	6,0	5,7	5,6	12,0	13,6	18,4	18,8	19,5	17,8	15,0	6,5	2,9
1963	-2,1	0,2	8,7	13,4	15,1	20,4	21,0	19,2	18,1	13,3	11,2	1,3
1964	3,0	6,9	6,3	12,7	19,5	20,3	21,6	21,2	19,6	12,2	9,1	4,8
1965	5,0	4,9	8,7	12,5	16,5	19,3	18,5	20,0	17,9	15,4	6,3	6,8
1966	2,7	7,2	8,7	12,4	18,2	21,5	19,6	20,2	18,5	14,5	7,0	6,9
1967	5,6	8,3	10,2	11,8	17,6	19,1	23,5	21,4	18,3	15,1	8,6	5,8
1968	4,8	3,9	10,3	14,8	15,2	19,9	20,9	21,4	18,7	15,4	7,1	2,2
1969	6,1	2,7	6,1	12,7	17,5	20,3	23,3	22,6	19,9	17,7	9,3	0,8
1970	3,1	4,4	6,4	9,7	18,0	23,4	20,0	22,2	19,1	14,3	10,6	4,9
1971	5,0	6,6	6,4	12,7	19,2	18,3	22,6	21,7	19,4	15,4	8,7	7,5
1972	2,8	6,9	11,8	11,5	15,9	17,9	21,6	20,1	16,6	13,7	8,5	6,0
1973	4,8	5,5	10,0	10,4	16,6	21,4	21,3	23,4	19,7	13,2	8,1	5,3
1974	7,6	8,2	10,0	14,8	16,3	19,5	19,1	21,6	17,0	11,0	9,3	9,1
1975	8,6	7,4	7,9	11,5	15,7	20,2	23,3	26,1	20,1	12,2	8,3	5,8
1976	6,5	5,9	7,0	13,1	19,0	23,6	24,9	24,0	18,6	14,8	9,3	4,1
1977	5,3	7,8	10,9	10,9	16,7	18,7	21,6	20,3	17,9	15,6	9,4	7,5
1978	4,9	3,8	9,7	11,7	16,8	19,5	20,0	19,9	17,3	14,3	8,9	4,0
1979	-0,7	1,4	8,1	11,7	16,3	19,4	20,1	20,0	18,7	14,9	9,1	7,7
1980	2,5	7,8	8,1	12,3	17,5	19,9	19,7	21,4	19,7	13,6	7,5	6,2
Gemiddelen (1951-1980)												
De Bilt	4,4	5,4	8,8	12,5	16,9	20,0	21,1	21,2	18,7	14,3	8,7	5,7
De Kooy (bij Den Helder)	4,5	4,5	6,8	9,9	14,1	17,3	18,9	19,5	17,5	13,8	9,2	6,1
Vlissingen	4,9	5,3	8,1	11,2	15,4	18,4	19,9	20,3	18,2	14,2	9,2	6,4
Eelde	3,5	4,1	7,7	11,7	16,2	19,6	20,5	20,9	18,2	13,6	8,2	4,9
Beek (bij Maastricht)	4,3	5,4	9,0	12,7	17,2	20,4	21,6	21,5	18,9	14,2	8,5	5,4

Tabel 2: Maandgemiddelde minimumtemperatuur De Bilt, 1951-1980

	<i>jan</i>	<i>feb</i>	<i>mrt</i>	<i>apr</i>	<i>mei</i>	<i>juni</i>	<i>juli</i>	<i>aug</i>	<i>sep</i>	<i>okt</i>	<i>nov</i>	<i>dec</i>
1951	2,2	1,2	0,5	2,4	7,1	10,0	11,5	11,7	11,3	3,8	5,5	1,7
1952	0,1	-0,5	1,4	4,7	7,5	9,2	12,0	12,4	7,4	4,4	0,1	-1,1
1953	-1,3	-0,2	0,4	3,7	7,9	11,1	12,7	10,9	8,8	8,0	4,4	2,8
1954	-2,6	-3,1	2,4	1,6	7,6	10,1	10,2	11,5	9,5	8,8	3,2	2,5
1955	-2,5	-2,8	-1,9	3,6	5,6	8,8	13,3	12,9	9,3	5,0	3,2	1,9
1956	-0,5	-11,3	1,7	1,6	6,0	8,3	12,9	9,8	10,4	6,3	2,1	3,3
1957	1,1	2,5	4,9	4,0	5,6	9,9	13,2	11,6	9,6	7,3	4,1	0,4
1958	-0,6	0,6	-0,9	2,7	7,5	9,6	12,5	13,2	11,7	8,2	2,5	2,0
1959	-0,7	-1,8	2,7	4,8	8,1	9,5	12,2	12,5	8,6	5,9	1,8	2,1
1960	0,0	-0,2	2,3	4,7	7,3	10,9	11,4	11,3	9,6	7,9	4,9	1,2
1961	-0,3	2,8	2,9	6,0	6,7	9,9	11,3	11,6	12,6	7,5	1,6	-1,5
1962	0,7	0,0	-1,7	4,1	6,3	8,1	10,0	10,7	8,0	6,7	1,9	-3,8
1963	-8,9	-6,9	0,9	4,3	5,9	10,6	11,0	11,3	9,7	5,7	5,3	-4,0
1964	-1,6	0,2	-0,5	5,0	8,6	9,3	11,6	10,9	8,9	4,3	3,7	-0,7
1965	0,3	-0,5	0,2	2,9	7,2	9,7	11,2	10,3	8,1	5,1	-0,7	1,9
1966	-2,0	1,8	1,6	4,1	7,7	11,5	10,9	11,2	9,2	7,7	1,7	2,0
1967	0,1	2,3	3,6	2,6	7,1	9,3	12,1	11,8	10,3	8,4	1,5	0,9
1968	-1,3	-0,8	2,2	3,3	6,7	10,6	11,8	13,4	10,7	8,2	2,7	-2,9
1969	2,3	-3,0	-1,2	3,1	8,3	9,7	12,6	13,3	9,3	8,4	3,1	-4,4
1970	-1,9	-2,2	-0,4	2,6	8,2	10,8	11,4	11,5	9,9	7,2	4,6	-0,7
1971	-0,5	0,6	-1,2	3,5	8,0	9,5	11,4	12,6	6,4	5,8	2,0	3,0
1972	-1,8	0,5	1,2	4,4	7,7	8,4	13,1	10,4	7,1	4,1	3,1	0,5
1973	0,6	0,1	0,6	1,7	7,1	9,9	12,6	11,8	10,5	4,6	2,0	0,2
1974	2,7	1,3	1,6	3,3	6,6	9,7	11,3	10,7	8,7	3,1	3,5	4,9
1975	3,3	-0,7	1,7	3,6	6,5	9,4	12,6	13,8	10,4	5,0	2,4	1,0
1976	1,7	0,0	-0,7	1,5	7,0	11,2	13,1	11,9	9,3	7,9	3,9	-0,9
1977	0,5	2,1	3,0	1,9	6,8	10,4	12,6	11,9	8,6	7,7	4,3	2,2
1978	0,6	-1,6	3,4	2,6	7,4	10,6	10,5	10,6	9,6	7,0	3,8	-0,6
1979	-6,4	-3,2	1,4	3,7	6,5	10,3	11,5	11,1	8,3	7,1	2,2	2,8
1980	-2,3	1,8	1,1	3,4	6,4	10,4	11,8	12,7	11,0	5,2	2,5	0,7
Gemiddelden (1951-1980)												
De Bilt	-0,7	-0,7	1,1	3,3	7,0	9,8	11,8	11,7	9,4	6,4	2,9	0,5
De Kooy (bij Den Helder)	0,5	0,3	2,0	4,6	8,3	11,3	13,5	13,8	11,8	8,6	4,8	2,1
Vlissingen	1,2	1,0	2,8	5,0	8,8	11,7	13,7	14,0	12,4	9,2	5,1	2,6
Eelde	-1,6	-1,7	0,3	2,5	6,1	9,2	11,0	10,9	8,8	5,7	2,3	-0,1
Beek (bij Maastricht)	-0,6	-0,5	1,5	3,7	7,4	10,6	12,3	12,2	9,9	6,5	2,9	0,6

Tabel 3: Eerste en laatste dag met temperatuur onder of boven een bepaalde waarde voor De Bilt, 1951-1980

	<i>Laatste nacht met vorst vóór zomer</i>	<i>Eerste nacht waarop het minstens ...°C werd</i>		<i>Laatste dag waarop het minstens ...°C werd</i>	<i>Eerste dag met vorst ná zomer</i>	
	15	20	25	25	20	15
1951	30 apr	13 mrt	24 apr	14 juni	13 sep	25 sep
1952	4 apr	17 mrt	9 apr	1 mei	12 aug	1 sep
1953	11 mei	26 feb	25 mrt	16 mei	8 sep	27 sep
1954	30 apr	9 mrt	9 mei	10 mei	1 sep	3 okt
1955	25 apr	24 mrt	29 apr	29 apr	24 aug	23 sep
1956	24 apr	21 mrt	5 mei	28 mei	22 sep	26 sep
1957	8 mei	11 mrt	15 mei	14 juni	5 aug	7 sep
1958	17 apr	27 mrt	2 mei	1 juni	14 sept	29 sep
1959	21 apr	27 feb	13 apr	9 mei	2 okt	16 okt
1960	3 mei	28 feb	6 apr	3 juni	22 aug	16 sep
1961	28 mei	17 feb	17 mrt	6 juni	19 sep	10 okt
1962	1 mei	18 apr	18 apr	14 juni	3 sep	9 okt
1963	13 apr	8 apr	8 mei	30 mei	17 sep	23 sep
1964	8 apr	25 feb	16 apr	12 mei	14 sep	25 sep
1965	20 mei	13 mrt	29 mrt	15 juni	5 aug	7 okt
1966	22 apr	7 apr	30 apr	2 mei	12 sep	7 okt
1967	3 mei	9 mrt	5 mei	11 mei	26 sep	29 sep
1968	12 apr	24 mrt	24 mrt	20 apr	10 sep	27 sep
1969	30 apr	6 apr	7 apr	12 mei	14 sep	20 okt
1970	20 apr	3 mei	5 mei	6 juni	30 aug	11 okt
1971	30 apr	2 apr	15 apr	11 mei	19 aug	11 okt
1972	25 apr	14 mrt	2 mei	26 juni	7 aug	8 okt
1973	16 mei	23 mrt	5 mei	19 juni	15 sep	6 okt
1974	27 apr	25 mrt	3 apr	14 juni	30 aug	16 sep
1975	10 apr	18 apr	22 apr	10 juni	2 sep	30 sep
1976	1 mei	11 apr	6 mei	6 mei	29 aug	11 okt
1977	20 apr	9 mrt	18 mei	25 mei	6 juli	21 okt
1978	17 apr	26 feb	5 mei	30 mei	20 aug	12 okt
1979	7 mei	9 apr	14 apr	15 mei	1 sep	10 okt
1980	23 apr	28 mrt	14 apr	5 juni	20 sep	28 sep

Tabel 4: Gemiddelde temperatuur op verschillende diepten onder de grond voor De Bilt (1961-1980)

	<i>lucht- temperatuur</i>	<i>diepte 5 cm</i>	<i>diepte 10 cm</i>	<i>diepte 20 cm</i>	<i>diepte 50 cm</i>	<i>diepte 100 cm</i>
jan	1,9	2,4	2,6	2,8	4,0	5,6
feb	2,7	3,2	3,2	3,3	4,1	5,3
mrt	4,7	5,3	5,2	5,0	5,2	5,7
apr	7,9	9,5	9,1	8,5	8,0	7,6
mei	12,1	14,2	13,5	12,5	11,3	10,1
juni	15,2	17,7	16,9	15,8	14,2	12,5
juli	16,5	18,9	18,1	17,1	15,8	14,2
aug	16,5	18,5	17,9	17,1	16,2	15,0
sep	14,0	15,6	15,3	15,0	14,8	14,5
okt	10,3	11,5	11,5	11,5	12,1	12,7
nov	5,7	6,7	6,9	7,2	8,5	9,9
dec	2,8	3,6	3,9	4,2	5,6	7,4

* De waterleidingen liggen op één meter diepte, zodat deze temperaturen corresponderen met die van het water uit de kranen

Tabel 5: Gemiddelde watertemperatuur van de zee, het IJsselmeer en de Rijn

	<i>Urk (haven)</i> 1931-1980	<i>Den Helder/ 't Horntje</i> 1861-1980	<i>West- Terschelling</i> 1921-1980	<i>Lobith</i> 1911-1980	<i>lichtschip Noord-Hinder</i> 1891-1940 1951-1980	<i>lichtschip Haaks/Texel</i> 1891-1940 1951-1970
jan	1,9	3,5	2,6	3,7	7,4	5,6
feb	2,3	3,3	2,4	4,0	6,3	4,6
mrt	4,5	4,4	4,2	6,4	6,4	5,0
apr	9,2	7,6	7,7	10,2	7,6	6,7
mei	13,9	11,4	11,8	14,7	10,0	9,8
juni	17,4	15,0	15,3	18,0	12,9	13,1
juli	18,8	17,1	17,2	19,7	15,4	15,7
aug	18,8	17,6	17,4	19,6	16,8	16,9
sep	16,3	16,0	15,2	17,2	16,5	16,3
okt	11,7	12,5	11,5	12,8	14,7	14,0
nov	6,5	8,5	7,2	8,1	12,0	10,7
dec	3,4	5,5	4,1	5,0	9,3	7,8

Tabel 6: Maandgemiddelde windsnelheid Schiphol 1951-1980 in km/uur

	jan	feb	mrt	apr	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec
1951	24	23	28	24	19	17	15	15	16	15	24	25
1952	26	17	20	14	18	15	18	18	17	21	20	17
1953	16	24	21	24	22	17	23	19	21	14	22	17
1954	29	22	23	23	21	19	24	19	24	25	23	29
1955	23	26	24	20	26	19	18	14	16	17	15	24
1956	27	18	21	20	16	19	20	20	17	19	21	23
1957	25	20	23	21	20	16	16	20	20	17	21	23
1958	24	28	16	22	18	12	17	15	19	19	11	18
1959	23	15	19	21	20	18	15	14	13	20	18	27
1960	24	20	23	23	16	21	19	14	14	16	25	22
1961	25	23	23	15	21	16	19	20	14	19	21	20
1962	27	31	17	25	22	18	17	21	17	14	15	20
1963	22	14	21	20	20	22	15	19	18	18	23	17
1964	18	22	22	22	18	17	16	14	17	15	18	22
1965	23	20	19	18	19	18	22	16	16	15	25	26
1966	20	25	25	16	20	17	15	18	13	12	19	26
1967	18	26	29	20	17	15	14	14	19	29	19	24
1968	25	23	31	20	19	18	17	15	16	16	17	17
1969	21	21	24	23	18	18	15	17	15	15	26	17
1970	16	22	23	23	16	16	18	14	18	21	24	16
1971	18	18	19	17	15	17	13	17	12	18	20	19
1972	19	16	19	25	21	16	15	16	13	15	22	19
1973	15	21	16	22	19	16	16	15	15	15	24	22
1974	23	21	17	20	18	17	21	14	20	17	22	29
1975	25	16	19	18	20	17	17	14	19	17	19	20
1976	31	18	21	18	18	15	16	15	14	17	17	17
1977	18	21	21	23	20	17	19	13	16	17	27	21
1978	24	19	24	17	15	18	17	16	22	14	20	21
1979	19	19	25	19	17	16	16	15	16	15	20	27
1980	18	16	19	19	18	17	18	18	15	21	26	25
gemiddelde (1951-1980)	22	21	22	20	19	17	17	16	17	17	21	22

Windsnelheidschaal

<i>Beaufort</i>	<i>Windsnelheid (10 m hoogte)</i>	<i>benaming</i>	<i>Beaufort</i>	<i>Windsnelheid (10 m hoogte)</i>	<i>benaming</i>
0	minder dan 1 km/uur	stil	7	50-61 km/uur	harde wind
1	1-5 km/uur	zwakke wind	8	62-74 km/uur	stormachtig
2	6-11 km/uur		9	75-88 km/uur	storm
3	12-19 km/uur	matige wind	10	89-102 km/uur	zware storm
4	20-28 km/uur		11	103-117 km/uur	zeer zware storm
5	29-38 km/uur	vrij krachtige wind	12	meer dan 118 km/uur	orkaan
6	39-49 km/uur	krachtige wind			

Tabel 7: Dagen met een verhoging van de zeespiegel van tenminste één meter boven het astronomisch tij te Vlissingen 1954-1981

seizoen	eerste dag	laatste dag	aantal dagen	seizoen	eerste dag	laatste dag	aantal dagen
1954/55	5 dec	18 mei	10	1968/69	2 feb	3 feb	2
1955/56	6 okt	2 mrt	5	1969/70	29 sep	29 apr	7
1956/57	29 okt	13 dec	3	1970/71	2 okt	9 nov	5
1957/58	7 jan	19 jan	4	1971/72	17 nov	27 jan	4
1958/59	16 okt	7 apr	5	1972/73	13 nov	3 apr	3
1959/60	27 okt	20 jan	2	1973/74	21 okt	17 jan	10
1960/61	21 sep	27 mrt	6	1974/75	24 sep	18 dec	9
1961/62	17 okt	17 feb	9	1975/76	17 nov	22 jan	7
1962/63	15 nov	16 dec	3	1976/77	10 sep	30 nov	2
1963/64	22 nov	1 feb	2	1977/78	12 nov	12 jan	9
1964/65	16 okt	14 feb	7	1978/79	27 nov	9 mrt	4
1965/66	2 nov	28 mrt	8	1979/80	11 dec	20 apr	6
1966/67	16 nov	6 apr	11	1980/81	7 okt	22 mrt	7
1967/68	5 okt	7 mrt	7				

Tabel 8: Neerslaghoeveelheid (mm) per maand voor De Bilt 1951-1980

	jan	feb	mrt	apr	mei	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec
1951	87	65	89	79	48	39	42	119	64	13	113	52
1952	85	50	61	32	18	47	98	86	76	68	89	85
1953	24	77	15	56	28	114	56	141	29	6	17	44
1954	55	45	37	19	25	95	120	116	88	94	57	66
1955	57	43	32	26	81	50	40	45	67	125	15	80
1956	108	23	31	35	31	62	127	128	39	79	43	44
1957	45	91	59	17	65	35	107	150	209	51	41	55
1958	111	73	33	53	66	64	80	87	82	72	30	78
1959	101	5	61	78	16	28	43	33	3	63	45	65
1960	74	47	27	30	50	58	81	140	42	175	120	84
1961	101	54	39	67	31	92	91	81	64	89	62	142
1962	95	51	49	81	67	21	69	72	54	82	30	95
1963	25	16	62	48	69	73	47	168	89	68	101	12
1964	18	33	37	54	35	101	44	86	66	132	55	88
1965	108	21	60	108	104	97	143	114	78	20	103	205
1966	56	96	79	73	35	139	183	88	50	52	120	172
1967	54	55	56	50	52	49	20	93	90	88	119	129
1968	80	34	41	33	91	108	85	116	116	87	48	26
1969	45	52	48	74	85	42	46	200	10	21	85	41
1970	52	115	58	92	29	55	132	25	85	107	99	60
1971	55	41	49	20	89	93	25	40	24	19	71	34
1972	41	32	32	62	82	68	101	60	39	34	85	21
1973	26	78	21	66	108	33	65	65	77	100	74	66
1974	61	30	63	10	54	87	83	78	140	143	118	128
1975	83	23	72	62	34	86	25	42	65	13	97	27
1976	108	17	37	10	25	53	43	16	64	43	39	87
1977	71	96	41	62	60	39	63	97	11	54	172	48
1978	66	25	81	38	25	68	66	39	55	42	32	107
1979	58	57	98	80	120	93	33	58	28	42	78	129
1980	50	73	71	56	4	100	148	63	42	85	83	88
Gemiddelden (1951-1980)												
De Bilt	67	50	51	52	54	70	77	88	65	69	75	79
De Kooy (bij Den Helder)	63	43	42	42	38	43	66	77	79	78	88	74
Vlissingen	61	49	46	44	44	58	71	77	67	73	77	70
Eelde	64	47	48	48	59	62	87	83	70	66	76	73
Beek (bij Maastricht)	59	53	54	52	57	71	79	85	63	57	71	69

Tabel 9: Zonneschijnduur (in %) De Bilt per maand 1951-1980

	<i>jan</i>	<i>feb</i>	<i>mrt</i>	<i>apr</i>	<i>mei</i>	<i>juni</i>	<i>juli</i>	<i>aug</i>	<i>sep</i>	<i>okt</i>	<i>nov</i>	<i>dec</i>
1951	13	21	32	43	46	47	40	33	37	56	15	21
1952	18	22	25	53	47	45	41	39	37	31	25	14
1953	10	22	33	43	45	36	42	49	45	24	9	14
1954	41	19	19	54	45	36	27	30	30	19	25	17
1955	14	27	43	45	41	42	42	46	37	30	30	15
1956	21	39	36	36	46	30	25	34	30	23	27	9
1957	21	17	31	49	40	53	39	36	23	23	14	20
1958	19	21	37	41	35	35	39	36	39	20	15	15
1959	32	25	34	36	58	60	57	46	63	47	20	14
1960	20	24	28	37	36	49	28	32	35	19	20	10
1961	28	26	32	30	38	45	27	32	31	35	20	28
1962	23	27	27	30	28	45	28	39	39	36	8	30
1963	38	31	24	35	33	40	40	24	33	25	18	31
1964	17	25	27	31	49	43	38	40	45	35	15	16
1965	14	26	35	30	37	37	29	45	35	50	35	17
1966	25	14	17	23	51	38	31	44	33	20	15	15
1967	16	26	23	43	42	37	50	42	25	26	27	15
1968	18	23	34	45	27	32	41	33	29	21	18	15
1969	8	20	28	49	33	45	37	41	48	36	14	22
1970	14	22	28	23	40	55	32	49	37	26	24	21
1971	18	22	28	38	49	34	50	36	46	45	21	13
1972	14	15	48	31	36	34	34	41	43	42	20	24
1973	10	17	38	33	40	54	36	54	37	35	25	20
1974	17	31	29	55	38	46	31	50	31	27	13	10
1975	18	49	19	24	38	46	43	65	40	32	22	23
1976	17	18	43	55	48	58	50	60	32	25	8	25
1977	17	23	35	34	46	24	37	29	32	31	23	19
1978	17	25	23	41	34	36	33	35	25	26	25	13
1979	14	15	28	28	39	36	29	34	45	34	19	12
1980	19	20	16	39	57	33	26	32	43	29	25	22
Gemiddelden (1951-1980)												
De Bilt	19	24	30	39	42	42	37	40	37	31	20	18
De Kooy (bij Den Helder)	18	25	33	41	46	45	40	44	38	30	20	16
Vlissingen	19	24	32	40	43	44	40	42	40	32	21	17
Eelde	16	22	29	37	40	41	36	39	35	28	20	15
Beek (bij Maastricht)	17	23	28	35	40	39	36	39	37	33	20	16
Globale straling Wageningen in Watt/m ² (WRR normen)	26	52	93	153	193	207	184	164	119	69	32	20

**Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut**
 Bibliotheek,
 Postbus 201,
 3730 AE DE BILT,
 Nederland.

Deel II. Lange klimaatreeksen

Tabel 10: Wintertemperaturen De Bilt 1634-1983*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
163x	-	-	-	-	0,2	-0,2	2,2	1,2	1,8	2,3
164x	1,3	1,9	-	-	3,2	-0,6	-0,2	4,2	0,6	0,6
165x	2,6	1,6	1,8	1,9	3,4	-0,2	0,4	1,8	-1,0	2,6
166x	-0,5	4,2	4,2	-2,6	4,2	0,2	2,2	0,6	2,8	1,9
167x	-0,3	4,2	-2,1	1,4	1,8	4,2	4,2	0,4	1,8	-2,1
168x	4,2	-1,7	3,0	3,4	-0,9	1,2	4,2	2,2	1,5	1,0
169x	2,4	-1,3	-1,3	3,3	1,9	-1,7	2,8	-2,5	-1,3	4,2
170x	4,2	3,6	3,8	3,1	2,6	3,0	2,3	3,3	3,5	-2,3
171x	2,7	2,8	2,4	1,4	1,8	2,8	-1,9	3,7	1,3	2,6
172x	3,0	2,0	3,8	2,4	4,2	3,7	1,9	3,8	4,2	1,2
173x	3,1	4,2	1,6	2,8	2,7	3,4	3,3	5,3	2,3	5,0
174x	-1,1	2,3	2,1	1,3	0,7	1,5	0,1	3,3	1,6	4,7
175x	3,8	1,4	2,8	1,9	1,2	-0,1	4,5	-0,1	1,8	4,4
176x	-0,4	4,1	1,7	-1,1	4,5	1,0	0,7	0,7	0,4	2,3
177x	3,0	1,5	2,3	3,1	3,1	3,2	0,8	0,7	0,4	4,2
178x	1,0	1,1	1,7	2,9	-2,3	-0,2	0,8	1,7	2,6	-1,9
179x	4,1	3,5	1,5	2,7	2,9	-2,0	5,3	1,1	3,4	-1,8
180x	-1,0	1,7	1,1	-1,2	2,2	-1,6	2,8	3,8	1,6	0,8
181x	0,9	1,6	3,3	0,7	-1,6	1,4	0,8	3,8	2,4	2,8
182x	0,7	0,6	4,9	-2,2	3,8	4,5	2,1	1,0	3,2	0,5
183x	-3,1	0,9	1,9	2,0	5,2	3,9	2,3	3,5	-1,6	2,6
184x	3,4	-0,7	1,8	2,7	3,2	-1,8	5,2	-0,6	0,2	3,1
185x	0,9	3,3	3,5	3,6	0,3	-0,6	2,1	2,4	1,6	3,8
186x	1,4	0,9	2,6	4,7	1,6	0,1	4,3	3,9	2,3	4,9
187x	1,1	-0,6	2,7	3,5	3,5	1,1	1,6	4,9	3,6	0,3
188x	0,2	1,9	3,1	3,3	4,6	3,2	0,8	1,3	0,3	1,9
189x	1,9	-1,4	2,3	1,2	2,7	0,0	2,3	1,6	3,7	4,5
190x	1,7	1,4	2,5	3,2	1,5	3,0	2,8	0,9	1,9	0,8
191x	3,6	3,5	3,7	3,7	3,2	3,8	4,7	0,1	2,3	2,7
192x	4,4	3,8	1,8	3,9	0,3	4,1	3,3	3,2	2,4	-1,5
193x	3,8	2,0	2,9	2,1	1,2	4,8	3,2	3,5	3,0	2,7
194x	-1,9	0,0	-1,5	3,8	2,8	2,3	2,7	-2,4	4,1	3,7
195x	3,6	2,2	3,1	1,7	1,8	1,9	0,0	4,7	2,9	2,4
196x	3,4	3,8	2,6	-3,0	1,0	2,4	3,1	4,2	2,3	1,4
197x	0,0	2,9	3,2	3,0	4,2	5,5	3,5	3,2	3,0	-0,8
198x	3,5	3,1	1,1	3,5						

* Met bijv. de wintertemperatuur 1980 wordt de gemiddelde temperatuur over het tijdvak 1 dec 1979-29 feb 1980 bedoeld. De temperaturen voor 1735 zijn afgeleid uit trekvaartgegevens, zodat hier een temperatuur van 4,2 graden slechts een ondergrens aangeeft (§ 8)

Tabel 11: Lentetemperaturen De Bilt 1706-1982*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
170x	—	—	—	—	—	—	9,2	8,3	8,9	8,0
171x	8,3	8,8	8,0	5,6	7,7	9,0	7,9	6,9	8,5	7,5
172x	7,4	6,6	8,5	9,1	7,4	7,0	8,1	8,6	10,4	6,7
173x	8,8	7,8	9,3	9,5	9,8	9,2	8,6	9,0	9,0	8,3
174x	5,0	6,3	5,9	7,0	7,3	7,9	7,5	7,1	5,6	8,1
175x	9,6	8,1	7,9	8,8	7,0	7,9	7,0	8,1	9,0	8,9
176x	7,7	9,2	8,5	7,0	8,6	9,4	8,8	7,3	7,6	8,3
177x	6,7	6,3	7,2	8,7	9,2	8,9	8,7	8,3	9,0	10,3
178x	9,4	9,3	7,0	8,1	7,0	5,8	6,8	8,1	8,1	6,2
179x	8,3	8,8	8,4	7,0	10,0	7,4	7,9	8,7	8,9	5,7
180x	9,0	8,9	8,0	7,6	7,2	6,5	7,7	7,1	7,0	8,0
181x	7,2	10,7	7,0	8,9	7,0	9,9	7,4	7,1	8,3	9,5
182x	8,3	8,5	10,2	8,2	7,8	8,1	8,7	9,3	9,3	7,7
183x	9,0	9,6	7,9	8,5	9,1	7,9	9,1	6,1	7,6	7,1
184x	9,0	10,4	9,0	7,9	9,0	5,1	9,5	7,9	10,0	8,9
185x	7,7	7,6	7,0	6,0	8,4	6,0	7,4	8,2	7,3	9,2
186x	7,3	7,7	10,7	9,0	8,0	9,1	7,8	7,9	10,0	8,2
187x	8,2	8,2	8,8	7,9	8,5	8,1	7,7	7,0	9,1	6,6
188x	8,9	7,8	9,6	7,3	8,8	8,0	8,0	6,5	6,6	9,0
189x	8,8	7,5	7,7	10,3	9,8	8,5	8,9	8,7	7,6	7,4
190x	7,0	8,2	7,7	8,5	8,5	8,1	8,0	8,3	7,6	7,6
191x	8,6	8,7	9,3	9,5	9,2	8,0	8,8	7,1	8,9	8,1
192x	9,8	9,6	7,9	8,2	7,7	8,5	8,8	8,6	7,9	7,3
193x	8,5	7,8	7,5	9,1	9,1	7,9	8,6	8,8	8,6	8,6
194x	9,1	7,0	8,0	10,1	8,2	10,4	9,1	9,1	9,8	8,6
195x	9,0	7,7	9,5	8,8	8,5	6,8	7,8	9,1	7,0	10,1
196x	9,2	9,5	6,7	8,2	8,6	8,0	8,8	9,0	8,8	7,7
197x	7,4	8,1	8,6	7,8	8,8	7,7	7,9	8,6	8,5	8,0
198x	8,3	9,9	8,5							

* Gemiddelde temperatuur over de maanden maart, april en mei

Tabel 12: Zomertemperaturen De Bilt 1706-1982*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
170x	-	-	-	-	-	16,7	17,4	16,3	16,1	
171x	15,6	16,2	16,0	14,6	15,6	15,8	15,3	15,5	17,7	18,3
172x	14,8	15,7	15,5	15,0	16,2	14,3	15,4	16,6	15,8	17,2
173x	16,7	17,0	16,3	17,6	16,6	16,6	17,0	15,7	15,9	15,8
174x	14,2	15,8	15,3	16,2	15,3	15,2	15,6	16,4	17,2	15,5
175x	16,5	15,8	16,5	16,3	15,5	16,5	16,9	17,4	16,3	17,8
176x	16,0	16,3	15,5	15,9	16,2	16,2	16,1	15,1	16,3	15,6
177x	16,0	15,2	16,5	16,2	16,3	17,2	17,0	15,8	18,0	17,6
178x	17,1	18,6	16,7	18,4	16,0	16,0	15,7	15,9	17,1	15,9
179x	15,0	15,4	16,2	15,8	16,6	15,4	15,9	16,6	16,9	14,7
180x	15,1	15,2	15,3	16,0	15,4	14,0	15,4	17,2	17,1	15,3
181x	14,9	17,0	15,3	15,8	15,5	15,3	14,1	15,8	17,1	17,2
182x	15,1	14,7	17,0	15,2	16,2	16,2	18,7	16,0	16,7	15,4
183x	15,5	16,9	15,5	15,7	17,9	16,9	15,6	16,5	15,9	16,1
184x	15,8	15,3	17,2	15,6	15,0	15,6	18,5	16,3	16,0	15,9
185x	15,9	15,8	17,4	16,0	15,9	16,1	15,9	18,2	17,3	18,4
186x	14,6	17,2	15,2	15,6	14,8	15,9	16,0	15,7	18,4	15,3
187x	16,2	16,2	17,2	17,3	16,4	17,0	17,0	16,8	16,4	15,3
188x	16,7	16,0	15,1	16,0	16,8	15,9	15,8	16,5	15,1	16,7
189x	15,0	15,5	15,6	17,0	15,5	16,4	17,1	17,3	16,0	16,9
190x	17,0	16,7	15,4	15,1	16,1	17,0	16,1	14,3	16,1	14,8
191x	15,9	17,6	15,9	14,8	16,5	15,6	14,6	17,1	15,2	15,0
192x	15,4	16,6	15,1	15,4	15,2	16,6	16,1	15,7	15,8	15,7
193x	16,9	15,9	17,0	17,0	16,6	17,1	16,6	16,6	16,5	17,0
194x	15,9	17,0	16,1	16,1	16,8	16,7	15,7	18,7	16,1	16,3
195x	17,2	16,0	16,2	16,2	15,0	16,6	14,4	16,5	16,2	17,4
196x	15,8	15,7	14,6	15,7	16,0	15,0	15,9	16,4	16,3	17,0
197x	16,8	16,1	15,4	16,9	15,5	17,6	18,4	15,9	15,2	15,4
198x	15,8	15,8	17,6							

* Gemiddelde temperatuur over de maanden juni, juli en augustus

Tabel 13: Herfsttemperaturen De Bilt 1706-1982*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
170x	—	—	—	—	—	—	8,9	9,2	10,1	10,5
171x	10,2	9,7	9,2	8,9	9,1	10,2	8,2	8,9	9,7	9,1
172x	9,3	9,6	10,6	9,0	9,2	7,8	9,6	9,9	9,1	11,4
173x	11,2	12,6	10,9	9,5	9,6	9,7	11,0	10,2	8,9	7,5
174x	8,2	11,2	8,7	9,8	10,3	9,8	7,8	10,7	10,9	9,7
175x	9,2	8,9	10,7	10,1	10,2	9,6	9,8	10,2	10,2	9,9
176x	10,4	9,1	8,0	9,0	8,4	9,8	10,0	11,0	9,0	9,2
177x	10,2	10,1	11,9	11,1	9,0	10,1	10,2	10,8	9,5	11,8
178x	10,8	10,7	8,7	10,6	9,6	10,7	7,1	9,6	9,9	8,8
179x	8,1	9,0	8,7	9,6	9,3	11,7	9,7	9,5	10,2	9,6
180x	10,6	10,3	9,7	8,4	9,2	7,5	10,3	8,8	8,7	8,6
181x	10,0	11,5	9,1	8,8	9,0	9,4	8,6	9,7	10,0	9,4
182x	8,5	11,1	10,7	9,9	11,2	11,3	11,0	9,9	10,2	8,5
183x	10,0	11,5	9,4	9,8	10,5	9,0	9,6	10,2	9,3	10,4
184x	9,8	11,1	9,0	10,2	10,0	10,3	11,0	9,6	10,0	9,3
185x	9,2	8,9	10,4	9,1	9,0	9,6	9,2	11,1	9,0	9,6
186x	8,5	10,2	10,4	9,8	8,9	11,5	10,1	10,0	9,9	9,9
187x	9,4	8,2	10,6	9,7	10,0	9,2	9,8	9,3	9,7	9,1
188x	9,7	9,2	9,7	10,0	10,2	8,4	11,4	8,3	9,2	8,9
189x	9,7	10,3	9,7	9,5	9,5	10,5	8,6	9,1	10,6	10,6
190x	10,1	10,1	8,5	10,4	9,0	7,7	11,0	10,3	9,3	9,6
191x	9,0	10,0	8,0	11,0	9,6	7,8	9,8	10,0	8,9	7,7
192x	8,2	9,3	8,0	8,9	9,9	8,1	10,0	9,5	10,1	10,8
193x	10,5	9,1	9,9	9,5	10,9	10,3	9,3	9,6	11,0	10,0
194x	9,5	9,4	10,7	9,5	9,7	10,3	10,1	11,1	9,7	11,3
195x	9,5	10,8	7,6	10,7	10,7	10,0	9,9	10,0	10,7	10,6
196x	10,6	10,9	9,3	10,6	9,4	8,5	9,7	10,3	10,3	11,3
197x	10,9	9,8	9,0	9,6	8,7	9,6	10,6	10,6	10,3	10,1
198x	9,9	10,0	11,6							

* Gemiddelde temperatuur voor de maanden september, oktober en november

Tabel 14: Neerslaghoeveelheid (mm) Hoofddorp voor de jaren 1735-1982

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
173x	—	—	—	—	—	723	741	828	734	849
174x	598	470	566	541	629	767	930	815	684	611
175x	644	931	803	848	576	996	811	637	820	710
176x	837	808	768	1064	1078	832	676	850	796	688
177x	799	830	711	641	697	674	626	646	742	762
178x	696	733	890	712	738	701	866	1065	650	702
179x	590	739	867	549	667	479	718	634	611	641
180x	803	740	427	540	619	549	639	672	705	764
181x	618	812	654	604	540	785	802	740	591	935
182x	865	782	555	823	848	686	696	744	804	941
183x	730	877	594	859	665	736	741	727	759	591
184x	717	1083	562	945	839	823	767	582	726	824
185x	753	734	921	753	795	720	750	559	442	803
186x	699	779	720	637	563	759	964	915	624	962
187x	790	628	1050	736	753	787	796	991	890	744
188x	765	833	932	774	673	725	730	622	707	827
189x	801	792	846	696	825	773	692	844	808	683
190x	760	828	642	958	643	807	808	598	647	744
191x	684	576	862	610	766	942	820	683	788	850
192x	657	442	702	883	728	921	746	877	783	563
193x	865	665	688	496	572	825	707	803	761	839
194x	840	686	804	662	858	662	790	620	650	649
195x	921	827	874	578	887	726	816	864	860	615
196x	892	1002	829	760	801	931	948	858	792	756
197x	833	529	678	838	947	675	591	833	707	935
198x	789	995	776							

Tabel 15: Zonneschijnduur (in %) De Bilt voor de jaren 1899-1982

<i>Winter</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
190x	19	21	23	18	18	23	21	18	20	31
191x	22	16	16	25	24	19	18	24	26	16
192x	30	19	23	15	24	17	18	23	27	27
193x	30	17	23	33	26	17	20	19	19	23
194x	24	18	22	19	23	17	17	29	21	30
195x	25	18	20	16	25	20	26	16	20	24
196x	20	22	26	33	25	19	18	19	19	15
197x	19	20	14	17	23	26	19	22	20	14
198x	18	23	28							
<i>Lente</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
189x										30
190x	35	39	34	34	28	35	40	38	32	46
191x	46	41	39	39	41	43	39	41	40	41
192x	36	48	46	33	40	40	35	38	38	45
193x	34	42	33	39	38	37	36	26	38	39
194x	41	37	46	46	41	34	42	36	46	44
195x	36	41	43	41	40	43	40	40	37	44
196x	34	34	28	31	37	34	32	37	35	37
197x	31	39	38	37	41	28	48	39	34	32
198x	39	30	46							
<i>Zomer</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
189x										48
190x	45	47	44	33	50	45	44	27	43	34
191x	38	53	37	34	45	43	35	45	43	36
192x	38	46	38	39	39	41	39	36	48	46
193x	44	38	43	47	48	45	41	37	35	45
194x	41	44	41	39	37	42	39	58	40	48
195x	45	40	42	42	31	43	29	43	37	55
196x	36	35	37	35	40	37	37	43	35	41
197x	45	40	36	48	42	50	56	30	35	33
198x	30	32	41							
<i>Herfst</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
189x										34
190x	26	33	27	25	32	26	33	33	45	30
191x	35	41	28	33	34	34	28	36	28	34
192x	44	42	34	31	32	33	29	25	39	38
193x	25	33	28	33	33	30	30	30	28	32
194x	34	33	24	31	31	26	26	40	32	37
195x	24	37	32	28	25	33	27	21	26	46
196x	25	29	30	26	34	40	24	26	23	35
197x	30	39	36	33	25	33	23	29	25	34
198x	33	30	37							
<i>Jaar</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
189x										36
190x	33	37	33	30	34	34	36	30	36	36
191x	37	40	32	34	38	37	31	39	35	34
192x	37	41	37	31	35	35	32	32	38	41
193x	34	34	34	39	37	35	33	29	32	36
194x	36	35	36	36	34	31	34	37	42	41
195x	35	36	36	34	32	31	37	33	32	44
196x	30	32	31	32	34	34	29	33	30	34
197x	33	36	33	36	34	37	40	30	29	30
198x	32	29	37							

Deel III. Klimatologische gegevens voor verschillende steden op Aarde

Om een indruk te geven van de verschillen in het klimaat over de wereld, zijn in dit deel van een aantal plaatsen de gemiddelen en extremen van enkele belangrijke weer-

elementen opgenomen. Ter vergelijking zijn dezelfde gegevens van De Bilt in de eerste tabel weergegeven.

Inhoud

<i>Europa</i>	<i>Afrika</i>	<i>Azië</i>	<i>Amerika</i>	<i>Australië/Oceanië</i>
De Bilt	Santa Cruz de Tenerife	Colombo	New York	Honolulu (Hawaii)
Moskou	Cairo	Djakarta	Los Angeles	Sydney
Dublin	Mombassa	Tientsin (bij Peking)	Tacubaya (bij Mexico City)	
Oslo	Johannesburg	Tokio	Paramaribo	
Rome			Santiago de Chile	

Europa

De Bilt bij Utrecht/Nederland 52° 06' NB 5° 11' OL hoogte 3 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren	percen- tage
jan	4,3	13,4	-0,8	-24,8	68	21	56	22
feb	5,3	18,5	-0,8	-21,6	53	19	69	25
mrt	9,5	23,9	1,2	-13,9	44	16	127	35
apr	13,4	27,8	4,3	-5,8	49	16	163	39
mei	17,8	33,6	7,6	-3,7	52	14	211	43
juni	20,9	36,8	10,6	0,7	58	14	222	44
juli	22,1	35,6	12,7	3,4	77	17	198	39
aug	21,9	35,0	12,5	3,8	87	18	185	41
sep	19,2	34,2	10,2	-0,2	72	19	145	38
okt	14,1	26,7	6,6	-7,8	72	20	101	31
nov	8,9	19,3	3,3	-14,4	70	21	50	19
dec	5,4	13,9	0,6	-16,1	64	21	41	17
aantal meetjaren	30	83	30	83	30	30	30	30

Moskou/U.S.S.R. 55° 45' NB 37° 34' OL hoogte 156 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	-7,0	4	-13,7	-43	31	8	29	12
feb	-5,8	6	-13,5	-40	28	7	62	23
mrt	0,0	15	-8,5	-34	35	7	120	33
apr	8,8	28	-0,3	-20	35	7	178	42
mei	17,3	32	6,0	-8	52	8	255	51
juni	21,5	35	9,7	-3	67	10	269	52
juli	23,5	37	12,4	3	74	11	270	52
aug	21,6	37	11,0	0	74	10	228	49
sep	15,6	32	6,2	-5	58	10	152	40
okt	7,6	24	1,1	-21	51	9	76	24
nov	0,3	13	-4,6	-33	36	9	33	13
dec	-4,9	8	-10,3	-39	36	9	21	10
aantal meetjaren	12	12	16	13	75	75	7	7

Oslo/Noorwegen 59° 56' NB 10° 44' OL hoogte 96 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren	percen- tage
jan	-2,0	10,6	-7,3	-26,0	49	15	45	22
feb	-0,7	13,8	-7,1	-24,3	35	12	83	33
mrt	3,7	15,5	-4,1	-20,1	26	9	152	42
apr	9,5	21,8	0,9	-14,9	43	11	182	42
mei	16,1	28,4	5,9	-2,8	44	10	233	44
juni	20,0	33,7	10,1	1,7	70	13	244	44
juli	22,3	32,8	13,0	3,7	82	15	219	39
aug	20,8	30,9	11,9	3,7	95	14	183	38
sep	15,6	25,5	7,8	-3,6	81	14	138	36
okt	9,2	20,1	3,1	-7,6	74	14	87	28
nov	3,4	12,8	-0,8	-15,7	68	16	41	18
dec	0,2	10,8	-4,1	-20,6	63	17	25	14
aantal meetjaren	30	30	30	30	30	30	10	10

Dublin/Ierland 53° 22' NB 6° 21' WL hoogte 68 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	7,6	16,1	1,3	-12,2	67	13	59	23
feb	8,2	16,7	1,6	-10,0	55	10	71	26
mrt	10,4	23,4	2,6	-9,4	51	10	104	28
apr	12,7	22,2	3,7	-6,1	45	11	151	36
mei	15,4	26,7	5,9	-5,6	60	10	193	39
juni	18,4	28,9	9,1	-0,4	57	11	180	35
juli	19,6	30,0	11,0	2,8	70	13	148	29
aug	19,4	27,4	10,6	2,2	74	12	152	33
sep	17,3	26,1	8,9	-1,1	72	12	118	31
okt	13,9	24,2	6,3	-5,6	70	11	98	30
nov	10,3	19,4	3,8	-6,7	67	12	63	24
dec	8,4	17,2	2,6	-13,9	74	14	49	21
aantal meetjaren	30	50	30	50	30	30	30	30

Rome/Italië 41° 54' NB 12° 29' OL hoogte 46 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	11,0	18,8	3,9	-5,2	69	8	133	46
feb	12,5	20,0	4,5	-6,0	58	11	132	45
mrt	15,6	23,4	6,9	-3,6	38	5	205	56
apr	19,2	29,8	9,9	1,0	46	6	210	53
mei	23,3	31,4	13,4	3,2	51	6	267	59
juni	28,3	38,0	17,2	9,8	25	3	282	62
juli	31,2	39,6	19,9	10,8	16	3	335	72
aug	30,6	40,0	19,7	11,6	23	3	307	71
sep	27,1	36,4	17,3	7,5	68	7	243	65
okt	21,4	30,1	13,0	2,1	93	9	198	58
nov	16,2	24,6	8,7	-1,0	86	9	123	42
dec	12,1	19,0	5,3	-5,2	71	9	102	36
aantal meetjaren	30	45	30	45	30	30	30	30

Afrika

Santa Cruz de Tenerife/Canarische Eilanden 28° 22' NB 16° 17' WL hoogte 46 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren	percen- tage
jan	20,6	26,5	14,4	8,9	36	7	179	55
feb	20,6	29,0	14,4	8,1	39	6	183	59
mrt	21,7	35,4	15,0	9,5	27	5	222	60
apr	22,8	34,6	15,6	9,4	13	4	241	63
mei	23,9	39,4	16,7	12,6	6	2	294	70
juni	26,1	36,8	18,9	13,4	0	0,1	314	75
juli	28,3	42,6	20,6	11,9	0	0	340	80
aug	29,4	40,4	21,1	13,2	0	0,1	324	79
sep	27,8	39,2	21,1	16,5	3	2	250	68
okt	26,1	38,1	19,4	14,4	31	6	205	58
nov	23,3	30,8	17,2	10,1	45	9	177	55
dec	21,7	27,5	15,6	9,4	51	9	171	54
aantal meetjaren	39	55	39	55	30	31	30	30

Cairo/Egypte 30° 08' NB 31° 34' OL hoogte 95 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren	percen- tage
jan	19	30	9	2	4	3	236	73
feb	21	35	9	1	5	2	238	77
mrt	24	40	11	4	3	2	291	79
apr	28	42	14	7	1	<1	318	83
mei	33	47	18	10	1	<1	353	84
juni	35	46	20	14	0	0	384	91
juli	35	46	22	18	0	0	391	91
aug	35	42	22	16	0	0	375	92
sep	32	41	20	15	0	0	333	90
okt	30	43	18	11	1	<1	304	86
nov	26	40	14	5	1	<1	258	81
dec	21	32	10	4	8	3	236	75
aantal meetjaren	25	25	25	25	25	25	24	24

Mombasa/Kenia 4° 03' ZB 39° 39' OL hoogte 55 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,3 mm	uren	percen- tage
jan	30,6	35,0	23,9	20,6	25	6	254	66
feb	30,6	35,0	24,4	21,1	18	3	255	74
mrt	31,1	35,6	25,0	21,7	64	7	282	75
apr	30,0	35,6	24,4	20,6	196	15	231	64
mei	28,3	33,3	23,3	19,4	320	20	201	54
juni	27,8	31,7	22,8	16,1	119	15	231	65
juli	27,2	33,3	21,7	17,8	89	14	211	57
aug	27,2	31,1	21,7	17,2	64	16	248	67
sep	27,8	32,2	22,2	17,8	64	14	255	70
okt	28,9	32,2	23,3	17,8	86	10	273	72
nov	29,4	33,9	23,9	20,0	97	10	276	75
dec	30,0	35,6	23,9	20,6	61	9	270	70
aantal meetjaren	45	45	45	45	54	54	14	14

Johannesburg/Rep. v. Zuid-Afrika 26° 14' ZB 28° 09' OL hoogte 1694 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	25,6	32,8	14,4	5,6	114	12	254	60
feb	25,0	32,8	14,4	7,2	109	9	218	60
mrt	23,9	31,1	12,8	5,0	89	9	229	60
apr	22,2	29,4	10,0	-1,1	38	4	249	72
mei	18,9	25,6	6,1	-5,6	25	3	279	83
juni	16,7	24,4	3,9	-7,2	8	1	270	86
juli	17,2	23,3	3,9	-7,2	8	1	282	86
aug	20,0	26,1	6,1	-6,7	8	1	301	87
sep	22,8	30,0	8,9	-2,8	23	2	279	78
okt	25,0	32,2	11,7	0,0	56	7	270	69
nov	25,0	33,9	12,8	1,7	107	10	273	68
dec	25,6	33,3	13,9	5,6	124	11	279	66
aantal meetjaren	19	18	19	18	18	18	10	10

Azie

Colombo/Sri Lanka 6° 54' NB 79° 52' OL hoogte 7 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	30,0	34,4	22,2	15,0	89	7	226	62
feb	30,6	35,6	22,2	16,1	69	6	249	75
mrt	31,1	35,6	23,3	17,8	147	8	260	69
apr	31,1	33,3	24,4	21,1	231	14	222	60
mei	30,6	32,8	25,6	20,6	371	19	180	47
juni	29,4	31,7	25,0	22,2	224	18	165	44
juli	29,4	31,1	25,0	21,7	135	12	186	49
aug	29,4	31,1	25,0	21,7	109	11	198	52
sep	29,4	31,7	25,0	21,7	160	13	198	55
okt	29,4	31,7	23,9	20,6	348	19	205	55
nov	29,4	32,2	22,8	18,9	315	16	198	56
dec	29,4	32,8	22,2	17,2	147	10	220	61
aantal meetjaren	25	25	25	25	40	40	27	27

Djakarta/Indonesië 6° 11' ZB 106° 50' OL hoogte 8 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	28,9	33,9	23,3	20,6	334	18	131	53
feb	28,9	33,3	23,3	20,6	241	17	121	54
mrt	30,0	33,3	23,3	20,6	201	15	161	65
apr	30,6	34,4	23,9	20,6	141	11	173	72
mei	30,6	33,9	23,9	21,1	113	9	179	72
juni	30,6	33,9	23,3	19,4	97	7	175	73
juli	30,6	33,3	22,8	19,4	61	5	191	77
aug	30,6	34,4	22,8	19,4	52	4	196	79
sep	31,1	35,6	23,3	18,9	78	5	182	76
okt	30,6	36,7	23,3	20,6	91	8	171	69
nov	30,0	35,6	23,3	20,0	155	12	151	63
dec	29,4	33,9	23,3	19,4	196	14	139	56
aantal meetjaren	80	80	80	80	30	36	40	40

Tientsin (bij Peking)/China 39° 06' NB 117° 10' OL hoogte 3 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur	
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren percentage
jan	1,3	12,7	-8,2	-18,0	3	2	191 63
feb	3,9	18,8	-5,7	-22,9	6	3	187 62
mrt	10,6	25,1	0,5	-17,7	6	3	216 59
apr	19,3	32,4	8,0	-2,8	21	5	236 60
mei	26,2	37,4	14,4	4,5	31	6	294 67
juni	29,7	39,6	19,4	11,2	69	9	280 63
juli	30,7	39,7	22,8	16,2	190	13	246 55
aug	29,8	37,0	22,0	13,7	162	12	244 58
sep	25,9	33,4	16,5	6,2	43	6	237 64
okt	19,2	30,1	9,3	-0,3	25	4	228 66
nov	10,3	23,1	1,4	-11,4	9	4	186 62
dec	3,3	13,5	-5,2	-14,7	4	2	180 62
aantal meetjaren	26	26	26	26	30	30	30

Tokio/Japan 35° 41' NB 139° 46' OL hoogte 4 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur	
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren percentage
jan	8,3	21,3	-1,7	-9,2	48	6	186 60
feb	8,9	24,9	-0,6	-7,9	73	7	166 55
mrt	12,2	25,2	2,2	-5,6	101	10	176 48
apr	17,2	27,2	7,8	-3,1	135	11	180 46
mei	21,7	31,4	12,2	2,2	131	12	193 45
juni	24,4	34,7	17,2	8,5	182	12	149 34
juli	28,3	37,0	21,1	13,0	146	11	181 41
aug	30,0	38,4	22,2	15,4	147	10	204 49
sep	21,1	36,4	18,9	10,5	217	13	136 37
okt	20,6	32,3	12,8	-0,5	220	12	136 39
nov	15,6	27,3	6,1	-3,1	101	8	144 47
dec	11,1	22,7	0,6	-6,8	61	5	169 56
aantal meetjaren	60	30	60	30	30	30	30

Amerika

New York/U.S.A. 40° 47' NB 73° 58' WL hoogte 96 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur	
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,3 mm	uren percentage
jan	2,8	20,0	-4,4	-21,1	94	12	49 144
feb	3,3	22,8	-4,4	-25,6	97	10	56 165
mrt	7,2	28,9	-1,1	-16,1	91	12	57 209
apr	13,9	32,8	5,6	-11,1	81	11	59 235
mei	20,0	35,0	11,7	1,1	81	11	62 277
juni	25,0	36,1	15,6	6,7	84	10	65 293
juli	27,8	38,9	18,9	12,2	107	12	66 303
aug	26,7	38,9	18,9	10,6	109	10	64 273
sep	26,1	37,8	15,6	3,9	86	9	64 238
okt	20,6	32,2	9,4	-2,8	89	9	61 210
nov	10,6	23,9	2,8	-13,9	76	9	53 157
dec	5,0	20,6	-1,7	-25,0	91	10	50 143
aantal meetjaren	46	77	46	77	50	50	84 84

Los Angeles/U.S.A. 34° 03' NB 118° 14' WL hoogte 103 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,3 mm	uren	percen- tage
jan	18,3	32,2	7,8	-2,2	79	6	222	71
feb	18,9	33,3	8,3	-2,2	76	6	220	72
mrt	19,4	37,2	8,9	-0,6	71	6	273	74
apr	21,1	37,8	10,0	2,2	25	4	261	67
mei	22,2	39,4	11,7	4,4	10	2	291	68
juni	24,4	40,6	13,3	7,8	3	1	296	69
juli	27,2	42,8	15,6	9,4	1	< 0,1	354	81
aug	27,8	41,1	15,6	9,4	1	< 0,1	341	82
sep	27,2	42,2	14,4	6,7	5	1	301	81
okt	24,4	38,9	12,2	4,4	15	2	259	74
nov	22,8	35,6	10,0	1,1	30	3	250	80
dec	19,4	33,3	8,3	-1,1	66	6	221	72
aantal meetjaren	70	69	70	70	53	53	20	20

Tacubaya (bij Mexico City)/Mexico 19° 24' NB 99° 11' WL hoogte 2309 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,1 mm	uren	percen- tage
jan	24,8	29,4	1,1	-9,5	9	2	177	51
feb	27,0	29,0	2,5	-4,4	4	2	198	62
mrt	29,4	32,5	4,6	0,4	12	3	215	58
apr	30,5	33,0	6,8	2,5	26	8	178	47
mei	30,2	32,8	8,2	1,1	56	14	180	44
juni	28,6	32,3	9,7	7,6	133	18	137	34
juli	26,1	30,0	9,1	5,3	167	23	139	34
aug	26,0	27,7	9,2	6,4	154	22	153	39
sep	25,6	28,5	8,2	1,6	137	19	125	34
okt	25,7	28,9	5,6	0,1	60	10	164	45
nov	25,4	29,3	3,4	-0,8	14	4	159	47
dec	24,5	26,4	2,1	-1,7	6	3	148	44
aantal meetjaren	38	38	38	38	38	38	38	38

Paramaribo/Suriname 5° 51' NB 55° 10' WL hoogte 3 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	29,4	35,9	22,2	15,6	213	18	173	47
feb	29,4	35,2	21,7	16,6	165	13	167	50
mrt	29,4	35,1	22,2	17,1	201	14	195	52
apr	30,0	35,3	22,8	17,4	229	16	176	48
mei	30,0	34,8	22,8	17,9	310	23	169	44
juni	30,0	34,7	22,8	17,8	302	23	191	51
juli	30,6	34,6	22,8	18,2	231	20	239	62
aug	31,7	35,2	22,8	18,3	157	14	272	71
sep	32,8	35,9	22,8	18,5	79	9	282	77
okt	32,8	36,7	22,8	19,4	76	9	283	76
nov	31,7	36,0	22,8	18,0	124	12	228	64
dec	30,0	37,3	22,2	17,5	224	18	178	49
aantal meetjaren	35	67	35	67	75	75	30	30

Santiago/Chili 33° 27' ZB 70° 42' WL hoogte 520 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 1,0 mm	uren	percen- tage
jan	29,4	35,6	11,7	5,9	3	<0,1	332	76
feb	28,9	36,5	11,1	5,2	3	<0,1	277	75
mrt	26,7	34,3	9,4	2,0	5	1	271	71
apr	23,3	31,5	7,2	-2,5	13	1	194	58
mei	18,3	31,5	5,0	-3,0	64	5	116	36
juni	14,4	26,5	2,8	-4,2	84	6	96	32
juli	15,0	27,2	2,8	-4,6	76	6	114	36
aug	16,7	29,2	3,9	-3,3	56	5	136	40
sep	18,9	31,4	5,6	-2,3	30	3	161	45
okt	22,2	33,3	7,2	-1,0	15	3	213	53
nov	25,6	36,0	8,9	0,9	8	1	264	64
dec	28,3	37,2	10,6	2,2	5	< 1	327	74
aantal meetjaren	14	95	14	95	58	20	21	21

*Australië/Oceanië**Sydney/Australië 33° 52' S 151° 12' E hoogte 42 m*

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,3 mm	uren	percen- tage
jan	25,6	45,3	18,3	10,6	104	14	226	52
feb	25,6	42,1	18,3	9,6	125	13	185	50
mrt	24,4	39,2	17,2	9,3	129	14	195	51
apr	21,7	33,0	14,4	7,0	101	14	183	54
mei	18,9	30,0	11,1	4,6	115	13	180	56
juni	16,1	26,9	8,9	2,1	141	12	189	64
juli	15,6	25,7	7,8	2,2	94	12	189	60
aug	17,2	30,4	8,9	2,7	83	11	214	64
sep	19,4	33,5	10,6	4,9	72	12	216	61
okt	21,7	37,4	13,3	5,7	80	12	229	57
nov	23,3	40,3	15,6	7,7	77	12	228	55
dec	25,0	42,2	17,2	9,1	86	13	229	52
aantal meetjaren	87	104	87	104	30	87	42	42

Honolulu/Hawaii 21° 19' NB 157° 52' WL hoogte 10 m

	Temperatuur			Neerslag		Zonneschijnduur		
	gemidd. maximum	hoogst gemeten	gemidd. minimum	laagst gemeten	hoeveel- heid (mm)	aantal dagen met minstens 0,3 mm	uren	percen- tage
jan	24,4	28,9	20,6	12,2	104	14	215	63
feb	24,4	28,9	19,4	11,1	66	11	209	65
mrt	25,0	28,9	19,4	11,7	78	13	253	68
apr	25,6	30,0	20,0	15,0	48	12	249	66
mei	26,7	30,6	21,1	15,6	25	11	280	69
juni	27,2	31,1	22,2	17,2	18	12	280	70
juli	27,8	31,1	22,8	17,2	23	14	300	73
aug	28,3	31,1	23,3	17,2	28	13	298	75
sep	28,3	31,1	23,3	17,2	36	13	277	75
okt	27,8	32,2	22,2	17,2	48	13	247	68
nov	26,7	30,0	21,1	15,0	64	13	201	60
dec	25,6	29,4	20,6	12,8	104	15	198	59
aantal meetjaren	40	56	40	56	35	34	26	26

Woordenlijst

<i>algemene circulatie</i>	luchtstromingen rond onze planeet
<i>atmosfeer</i>	luchtlag rond de Aarde
<i>baanelementen van de Aarde</i>	getallen, die de vorm van de baan van de Aarde en de positie ervan in de wereldruimte bepalen
<i>blokkering</i>	sterk slingerend stromingstype in de atmosfeer (westenwinddrift), waarbij hogedrukgebieden zich dichter bij de pool bevinden dan lagedrukgebieden
<i>bovenlucht (stroming)</i>	gemiddelde stroming in de atmosfeer, speciaal in de onderste 10 kilometer
<i>brongebied</i>	gebied met weinig wind, waar de lucht gemakkelijk de eigenschappen van het onderliggend oppervlak kan overnemen
<i>buiencomplex</i>	geïsoleerd gebied met gegroepeerde buien
<i>buienlijn</i>	min of meer lijnvormig gebied met gegroepeerde buien. Zo'n lijn heeft een collectieve bewegingsrichting
<i>calamiteit</i>	zwakke vorm van een weerramp
<i>circulatietype, -patroon</i>	patroon van de algemene circulatie
<i>continentaliteit</i>	mate, waarin landklimaat (continentaal klimaat) aanwezig is. Zie ook onder vertraging
<i>continentendrift</i>	langzame verschuiving van de landmassa's over de Aardbol
<i>convectie</i>	opstijgen van warme lucht. Bij diepe convectie (d.w.z. een stijging tot vele kilometers hoogte) ontstaan zware buien
<i>dagelijkse gang</i>	wisseling over een etmaal ten gevolge van het dag/nacht verschil van de insraling van de zon
<i>dampkring</i>	zie atmosfeer
<i>depressie</i>	gebied met lage luchtdruk (lagedrukgebied). Een depressie kenmerkt zich door veel wind, bewolking en regen
<i>druklijnen</i>	lijnen op de weerkaart, die plaatsen met gelijke luchtdruk verbinden. Hoe groter het drukverschil tussen twee plaatsen, des te harder waait er de wind
<i>ecoklimaat</i>	klimaat in de directe omgeving (binnenskamers, bijvoorbeeld). Zie ook microklimaat en geoklimaat
<i>eeuwige sneeuwlijn</i>	grens van de eeuwige sneeuw: boven deze lijn overheerst de opzameling van sneeuw; beneden de lijn de afsmelting
<i>front</i>	grenslijn tussen warme en koude lucht. Kenmerkt zich door veel bewolking en neerslag. Na passage van een koufront stroomt koude lucht binnen, na een warmfrontpassage warme lucht. Een slepend front is een vrijwel stilliggend front
<i>globale straling</i>	totale invallende straling: zowel direct van de zon, als via de wolken en de lucht
<i>geoklimaat</i>	klimaat buitenhuis (zie ook microklimaat en ecoklimaat)
<i>grenslaag</i>	onderste deel van de atmosfeer; dit is de laag die het sterkst gekoppeld is met het onderliggend oppervlak

<i>grensvlak</i>	bovenste begrenzing van de grenslaag
<i>herhalingstijd</i>	gemiddeld tijdsverloop tussen twee gebeurtenissen van dezelfde aard. Bij een kleine kans op een verschijnsel is de herhalingstijd ervan groot
<i>holocene</i>	tijdvak vanaf de laatste ijstijd tot heden, d.w.z. de afgelopen 12.000 jaar
<i>hogedrukgebied</i>	gebied met hoge luchtdruk. Kenmerkt zich door rustig weer. In de zomer tevens zonnig, in de winter vaak bewolkt, nevelig maar droog
<i>indirecte inslag</i>	hierbij wordt men getroffen door de stroomstoot door de grond als de bliksem in een voorwerp in de buurt slaat
<i>infrarode straling</i>	stralung met een langere golflengte dan licht ('warmtestraling')
<i>interglaciaal</i>	warme periode tussen twee ijstijden in
<i>inversie</i>	sprongsgewijze toename van de temperatuur in de atmosfeer met de hoogte
<i>jaarlijkse gang</i>	wisseling van het weer over een jaar ten gevolge van de verandering in zonshoogte en daglengte
<i>klimaat</i>	totaal van alle weersverschijnselen die zich op een bepaalde plaats kunnen voordoen
<i>koolstof-14 methode</i>	dateringsmethode van organische resten door het bepalen van het gehalte van het zware, radioactieve koolstof-14 (C^{14}) atoom
<i>krimpen</i>	draaien van de windrichting tegen de wijzers van de klok in (bijvoorbeeld van west naar zuid)
<i>lagedrukgebied</i>	zie depressie
<i>landklimaat</i>	zie continentaliteit
<i>lange golven</i>	slingeringen in het stromingspatroon in de atmosfeer (in de westenwinddrift)
<i>maritimiteit</i>	mate, waarin het klimaat door de aanwezigheid van de zee of de oceaan wordt bepaald. Zie ook onder vertraging
<i>meridiaan</i>	geeft de oost-west positie op Aarde aan. Voor Nederland is deze 5°OL (oosterlengte)
<i>mesometeorologie</i>	studie van weerverschijnselen op kleine schaal (bijv. buien, lokale klimaatverschillen etc.)
<i>microklimaat</i>	het klimaat dat het organisme direct omringt (bij de mens het klimaat onder de kleren). Zie ook eco- en geoklimaat
<i>nachtelijk windmaximum</i>	sterke nachtelijke wind op een paar honderd meter hoogte
<i>nachtvorst</i>	vorst aan de grond in voor- en najaar. Op stahoogte kan de temperatuur dan boven nul zijn
<i>namiddagbuien</i>	zie zomerse namiddagbuien
<i>Noordzeebuien</i>	buien die zich boven het warme Noordzeewater (vooral in het najaar) vormen. Boven land verdwijnen ze meestal al snel. Ze hebben de grootste aktiviteit in de nacht en brengen dan in het kustgebied vaak onweer
<i>onderkoelde regendruppels</i>	waterdruppels die toch een temperatuur beneden de nul graden hebben. Dit is nog bij een zeer lage temperatuur mogelijk. Raken zulke druppels de grond, dan bevriezen ze onmiddellijk (ijzel)
<i>persistentie</i>	neiging om een bepaalde weerstoestand te handhaven
<i>polair front</i>	scheidingslijn tussen de koude lucht in het noorden en de warme lucht in het zuiden (zie ook onder front)

<i>pollenonderzoek</i>	reconstructiemethode van het vroegere klimaat door analyse van stuifmeelkorrels
<i>ruimen</i>	draaien van de windrichting met de wijzers van de klok mee (bijvoorbeeld van zuid naar west)
<i>rug (in de lange golven)</i>	golftop
<i>ruwheid</i>	geaccidenteerdheid van de grond (door bebouwing, begroeiing). Hoe groter de ruwheid, des te meer wordt de wind afgeremd
<i>singulariteit</i>	datumgebonden weersverschijnsel
<i>standaarddeviatie</i>	geeft de gemiddelde variatie van een grootheid aan. Bij deling van bijv. een temperatuursafwijking (t.o.v. het gemiddelde) door deze standaarddeviatie, verkrijgt men een getal dat de <i>uitzonderlijkheid</i> van deze temperatuur aangeeft
<i>stormdepressie</i>	depressie van grote hevigheid, vaak met luchtdrukdalingen in zijn centrum
<i>straalstroom</i>	band van grootste windsterkten in de westenwinddrift
<i>stationair</i>	stilliggend
<i>stralingsbalans</i>	verschil tussen de hoeveelheid invallende en uitgestraalde warmte
<i>stromingskaart</i>	kaart, die de gemiddelde luchtstroming in de hele atmosfeer aangeeft
<i>stuw</i>	blokkeren van een luchtstroming door een gebergte of een ander obstakel
<i>subtropen</i>	gebieden ten weerszijden van de evenaar, die zich kenmerken door weinig wind, grote droogte en hitte
<i>superpositie</i>	door elkaar lopen van weersystemen van verschillende afmetingen
<i>thermiek</i>	stijgende luchtbewegingen, vaak aanwezig bij buien of op warme dagen
<i>tornado</i>	windhoos van grote hevigheid
<i>trog (in de lange golven)</i>	golfdal
<i>tropen</i>	gebied bij de evenaar met warm, vochtig weer
<i>tropische cycloon</i>	subtropische depressie met zeer grote windsnelheden en hevige regen
<i>tropopauze</i>	bovenste grens van de troposfeer op ongeveer 10 km hoogte
<i>troposfeer</i>	laag in de atmosfeer van de grond tot ongeveer 10 km hoogte. Hierin spelen zich de weersverschijnselen af waarmee wij te maken hebben
<i>vertraging</i>	verschil tussen de gemiddeld warmste dag in het jaar en de langste dag (21 juni). Hoe groter de vertraging, des te groter is de maritimiteit van het klimaat
<i>voeden</i>	veranderen van de eigenschappen van lucht (temperatuur, vochtigheid) door contact met het onderliggend oppervlak
<i>warmtecapaciteit</i>	geeft aan hoeveel warmte er nodig is om een bepaalde temperatuurstijging te bewerkstelligen
<i>waterbalans</i>	verschil tussen de binnenkomende en uitgaande waterhoeveelheid, al dan niet in gasvorm
<i>weerelement</i>	bepaald onderdeel van het weer
<i>weerramp</i>	catastrofale uitschieter van het weer
<i>westcirculatie</i>	circulatietype met een overwegend westelijke stroming in de atmosfeer in onze streken. Komt tot stand bij een bepaalde positie van de lange golven in de westenwinddrift

<i>westenwinddrift</i>	wereldomvattende luchtstroming op het noordelijk en zuidelijk halfrond
<i>windhoos</i>	klein, slurfvormig gebied met soms zeer grote windsnelheden
<i>wintertijd</i>	in Nederland gebruikte tijdsaanduiding van oktober tot april. 12 uur wintertijd komt overeen met 13 uur zomertijd
<i>ijstijd</i>	enorme uitbreiding van de ijskap vanaf een pool
<i>ijzel</i>	zie onderkoelde regendruppels
<i>zeeklimaat</i>	zie maritimiteit
<i>zeewind</i>	een koele wind van zee die in de kuststrook op warme dagen kan opsteken
<i>zomernamiddagbuien</i>	buien, die zich in de namiddag op warme dagen boven land vormen
<i>zomertijd</i>	in Nederland gebruikte tijdsaanduiding van april tot oktober. 11 uur wintertijd komt overeen met 12 uur zomertijd
<i>zonneconstante</i>	hoeveelheid warmte, die een loodrecht op de zon gericht zwart vlak van 1 m ² per seconde zou opnemen bij afwezigheid van de atmosfeer
<i>zuurstof-18 methode</i>	analysemethode voor de bepaling van de totale ijsbedekking op Aarde. Hoe hoger het gehalte van zuurstof-18 in de zee, des te meer ijs was op het land opgeslagen en des te lager was dus de gemiddelde temperatuur op Aarde

Literatuur en opmerkingen

Hoofdstuk 1

Algemeen:

A. Berger (Editor), Climatic variations and variability; facts and theories. Nato Advanced Study Institute Series C, Volume 72. Reidel, Dordrecht (1981).

H. H. Lamb, Climate: Present, Past and Future. Methuen, London (1972).

J. I. S. Zonneveld, Tussen de bergen en de zee. Oosthoek, Utrecht (1971).

Continentendrift:

J. K. A. Habich, Paleoclimate, paleomagnetism and continental drift. AAPG Studies in Geology, nr. 9, 1979, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma.

Ijstijden:

F. F. Flint, Glacial and Quaternary Geology. Wiley, New York (1971). (Waarnemingsaspecten ijstijden).

J. Imbrie, K. P. Imbrie, Ice Ages – solving the mystery. MacMillan, New York (1979). (Geschiedenis theorie ijstijden).

J. Oerlemans, Some model studies on the ice-age problem. KNMI-publ. No. 158 (1980); Zenit 7 (1980) 424. (Ontstaan en afbraak ijskappen).

Lange klimaatreeksen:

H. M. van den Dool, H. J. Krijnen, C. J. E. Schuurmans, Average winter temperatures at De Bilt (Netherlands) 1634-1977. Climatic change 1 (1978) 319.

Hoofdstuk 2

Algemeen:

H. Flohn, Weer een klimaat, Meulenhof/de Haan, 1968.

F. H. Schmidt, Inleiding tot de meteorologie, Aula 114, Het Spectrum 1973.

S. Bodin, Weather and Climate, Bradford Press Ltd, 1978.

§ 13 Westcirculatie: *C. Schuurmans*, Azorenhoog en IJslandhoog, Hemel en Dampkring 71 (1973) 49; *G. D. Roth*, Elseviers gids van het weer, Elsevier 1978.

§ 19: Maand op maand persistentie: *H. M. van den Dool* en *J. L. Nap*, An explanation of persistence in monthly mean temperatures in the Netherlands, Tellus 33 (1981) 123.

§ 21: Stadsklimaat: *L. Conrads*, Observations of meteorological urban effect: the heat island of Utrecht. Proefschrift, Utrecht 1975.

Onweer en Zeeuwse wateren: *J. H. Boer* en *P. J. Feteris*, Ann. d. Met. Neue Folge, 4 (1969) 149.

Hoofdstuk 3

§ 25: Koppeling tussen elementen en de 'normale' dag: zie *C. J. E. Schuurmans* en *H. J. Krijnen*, Weertypieklimatologie voor De Bilt 1881-1970, WR 71-6, KNMI, 1971.

§ 26: Recreatieweer: *J. F. den Tonkelaar*, Het Strandweer, WR 72-10, KNMI (1972).

Exakte procedure voor het verkrijgen van figuur 34: Via diagram (fig. 33) wordt voor ieder uur het cijfer bepaald.

- is er mist, dan wordt de bewolking op 8 achtsten gesteld.
- is er op het moment van waarneming lichte regen (weercode 50, 58, 60 of 80) of is er neerslag in het afgelopen uur gevallen (weercode 20-27), dan wordt gekeken naar het vorige uur. Geeft deze neerslag (weercode 50 of hoger), dan wordt het cijfer gehalveerd.
- is er op het moment van waarneming continue of matige neerslag (weercode groter dan 50, met uitzondering van weercode 58, 60 en 80), dan wordt het cijfer op nul gesteld.
- na deze procedure wordt de temperatuurcorrectie van het diagram toegepast.

Hoofdstuk 4

Algemeen:

T. A. Buishand en C. A. Velds, Neerslag en verdamping (het klimaat van Nederland deel 1) KNMI, De Bilt 1980 (Staatsuitgeverij).

M. Scharringa, Nachtvorst. KNMI, verspreide opstellen deel 5.

H. Aafzing, Leven met bliksem, uitg. Winterthur Verzekeringen (1980).

§ 30: Wind: *J. Wieringa* en *P. J. Rijkoort*. Het windklimaat van Nederland (het klimaat van Nederland deel 2) KNMI De Bilt (Staatsuitgeverij), verschijnt 1983.

§ 32: Valsnelheid neerslag: *S. Lebesty*, International Meteorological Tables, WMO – No. 38 TP 94 (1966).

§ 35: Bliksem en plantengroei: *H. Walter*, Vegetation of the Earth, Springer 1979 blz. 18.

§ 37: figuur 59: hier is de dagelijkse gang voor dagen met zonneschijnpercentage tussen 40% en 60% afgebeeld, na te zijn gedeeld door de dagelijkse gang voor dagen met een zonneschijnpercentage van 85% of meer. Dit laatste is gedaan om horizoneffecten te onderdrukken.

§ 38: figuur 60: een dag is hier van 16 tot 16 uur winterijd gerekend om het twee keer tellen van één lange, nachtelijke mistperiode te voorkomen.

§ 39: Wolktypen en indelingen: *B. Zwart*, Zenit 6 (1979) 302.

Hoofdstuk 5

- H. A. R. de Bruin et al.*, De droogte van 1976, KNMI De Bilt 1976.
- H. A. F. M. Otten*, De hittegolven van deze eeuw, Zenit 2 (1975) 343.
- H. A. F. M. Otten*, Tornado's, Zenit 8 (1981) 170.
- Rijkswaterstaat, Verslag van de stormvloed van 1953. Staatsuitgeverij, 1961.
- B. Zwart, De storm van 2-3 januari 1976. KNMI De Bilt 1980.
- I. Holford, The Guinness Book of Weather facts and feats, Enfield 1977.
- T. A. Buishand en C. A. Velds, Neerslag en verdamping (het klimaat van Nederland deel 1) KNMI, De Bilt 1980 (Staatsuitgeverij).
- C. Levert, Regens: een statistische studie. Staatsuitgeverij 1954.
- Statistiek tropische cyclonen (fig. 65): G. W. Cry, Tropical cyclones of the North Atlantic, U.S. Dept. of Commerce, Technical paper no. 55, Washington 1965.

Hoofdstuk 6

- § 43: Indeling microklimaat, ecoklimaat en geoklimaat: J. E. Hobbs, Applied Climatology, Dawson Westview Press 1980.
- § 44: El Nino: Oceanography: the past. Ed. M. Sears

and D. Merriman, Springer 1980, P. Groen, De wateren van de wereldzee, De Boer Maritieme Handboeken, Bussum 1974.

Historische gebeurtenissen en weer: een aardig overzicht is te vinden in J. Dettwiller, Chronologie de quelques evenements en France et ailleurs, Monographies no 1, nouvelle series, uitg. Ministere des transports.

§ 45: Weer en gezondheid: S. W. Tromp, Biometeorologie, Heyden, 1980. S. W. Tromp, Medische aspecten van de humaine biometeorologie, Spectrum 23 (1980) no. 4, pp. 1-4.

Bloeidata planten: R. F. Fisscher, Onderzoek aan veeljarige reeksen van enkele fruitsoorten, bomen en heesters te Wageningen. WR 63-3, KNMI 1964. C. Kramer, Een fenologisch onderzoek aan bolgewassen, WR 54-4, KNMI 1954.

Tabellen

Weer elders (Klimaattabellen deel III):

Meteorological Office, Tables of temperature, relative humidity and precipitation for the world, Part I-VI, London, H.M.S.O.

Universitat Trier, Handbuch ausgewahlter Klimastationen der Erde, Trier 1980.

Servicio Meteorologico National, Guia resumida del tiempo en Espana, Madrid 1968.

En enkele nationale bronnen van de betreffende landen.

Register

A

aangenaamheid 57
aanpassing 113
algemene circulatie 28
Atlantische rug 35
Azorenhogedrukgebied 29

B

bliksemval 83
bloeidata 19, 114
blokkering 36, 136
bodem eigenschappen 46
boomringen 17
bosbrand 83
brongebied 29, 136
buien 40, 70, 78, 94
buien, tropische 93

C

calamiteit 110, 135
Canadese trog 35
circulatietypen 32, 39
continentaliteit 51, 135
continentendrift 10, 135
convectie 40, 135
cumulatieve gebeurtenis 110

D

dagelijkse gang 43, 50, 51, 135
depressie 28, 33, 63, 70, 95, 135
dooi 62
droogteperiode 77, 95
dubbelplaneet, Aarde als 34

E

ecoklimaat 109, 135
eenheden 6
eeuwige sneeuwlijn 14, 135
El Nino 104, 111
extremen 52, 91
extremiteit, plotselinge 110

F

front 29, 70, 135
front, slepend 46

G

gemiddelden 52
geoklimaat 109, 135
gezondheid 114
Golfstroom 36
grenslaag 43
grilligheid 48, 51

H

hagel 69
hagel, valsnelheid 73
herfst 105
herhalingstijd 75, 137
Hitler 112
hittegolf 104
hogedrukgebied 63, 70, 137
Holocene 16
hoogteverschillen 46

I

inpassing 112
inpoldering 46
interglaciaal 12, 137
inversie 44, 137

J

jaarlijkse gang 36, 50, 51, 137

K

Karel XII 112
kleine ijstijd 17, 21, 24
klimaat 6, 49, 137
klimaatbepalende faktor 24
klimaatschommelingen 11, 16, 22
klimaatschommeling, tijdelijke 110
klimaat, toekomstig 24
klimaat, vroegere 10
koolstof-14 methode 9, 137
koolzuurtoename 24
kopelingen 55
krimpen 44, 68, 137
kustklimaat 42, 52, 83

L

lagedrukgebied *zie depressie*
lange golven 32
lenten 103
Lodewijk XIV 112
luchtstromingen 26

M

Magelhaes 38
maritimiteit 51, 137
Mars 93
microklimaat 109, 137
mist 45, 86
motregen, dichte 87

N

nachtvorst 47, 63, 92, 137
Napoleon 112

natte dag 75

naijling *zie vertraging*
Nederland, vroegere positie van 11
Nederland, weerverschillen in 45, 52
neerslagkans 75
neerslagrecords 94
neerslagtekort 77
neerslagvormen 69
neerslag, zware 78, 94
Noordzeebuiken 41, 83, 137
Noordzee, invloed van 42, 51
normaal weer 55

O

oceaaninvloed 36
onderkoeling 69, 137
onweer, -front 80
overstroming 77, 107

P

Paardenbreedten 95
persistente 42, 59, 60, 76, 85, 137
pollenonderzoek 9
poolkap 11, 24, 38

R

recreatieweer 57
regen 69
regen, valsnelheid 71
roaring forties 38
rug 34
ruimen 44, 68, 138
Ruslandtrog 36, 39

S

singulariteit 104, 138
sneeuw 69
sneeuwdek, temperatuur boven 40, 63
sneeuw, late 103
sneeuw, valsnelheid 71
sneeuwval, zware 78
sneeuw, vroege 106
springvloed 107
stabiliteit, atmosferische 40, 60, 66, 71, 85
stadsklimaat 47
standaarddeviatie 22, 138
stormvloed 64, 107
storm, warme 42
storm, zware 64, 106
straalstroom 33, 138
stralingsevenwicht 27
strandweer 57
stromingskaart 32
stuif sneeuw 103
sturing 34
subtropen 92

T

temperatuur 10, 20, 52, 60, 98
 temperatuurevenwicht 27
 temperatuurrecords 91
 thermiek 47
 tornado *zie windhoos*
 trekvaartgegevens 20
 trog 34
 tropen 11, 92
 tropische cycloon 94, 95, 96, 104, 110
 troposfeer 136

V

Venus 94
 vertraging (temperatuur) 51, 138
 voorkeurpatroon 34
 voorspelbaarheid 24, 34, 84, 106
 vorst 62

W

watersnood *zie stormvloed*
 weerelementen 49, 60
 weerramp 110
 weerwaarnemingen, indirecte 18
 westcirculatie 28
 westenwinddrift 33, 38, 139
 wind 63
 wind, afremming van 41, 44, 66
 windenergie 27
 windhoos 69, 95, 97
 windmaximum, nachtelijk 68
 windsnelheidsrecords 95
 windstilte 67, 95
 winters 36
 winters, koude en zachte 100
 wintertemperatuur 20
 wispeturigheid 39
 wolkentypen 87

IJ

ijsdag 100
 IJsheiligen 63, 103
 IJslanddepressie 29
 ijstijd 11, 12, 24, 139
 ijzel 69, 102

Z

zeeklimaat 51
 zeer zonnige dag 55, 84
 zeespiegeldaling en -rijzing 13, 24
 zeewind 44, 69
 zicht 86
 zomernamiddagbuien 71, 80, 83
 zomerse dag 60, 104
 zomers, hete en koele 104
 zonloze dag 55, 84
 zonneconstante 26
 zonneschijn 84
 zuurstof-18 methode 9, 139
 zwanenburgsreeks 19



Het weer in Nederland

Wat is goed strandweer? Regent het nu werkelijk zo vaak in Nederland of valt dat mee? Waarom zijn de winters in Canada zoveel strenger als die bij ons? Waarom doet april wat hij wil? Wat zijn ijstijden en hoe ontstaan zij? Hoe zag ons klimaat er miljoenen jaren geleden uit? Wat gebeurt er als de Aarde opwarmt? Hoe vaak sneeuwt of hagelt het in ons land? Is een witte Pinksteren mogelijk? Waarom gaat een strenge winter bij ons vaak samen met een zachte winter in Rusland? Is er veel verschil tussen het weer aan de kust en dat in het binnenland? Welke records kent ons weer en hoe vergelijken deze zich met wereldrecords? Wat is de invloed van het weer op de samenleving en op de loop van de geschiedenis? Waarom gaat de wind rond zonsondergang zo vaak liggen en steekt daarna weer op? Is er op een zomerochtend een kleinere kans op regen dan op een zomermiddag? Wat is een weerramp? Wat is de valsnelheid van hagelstenen? Om een antwoord op deze vragen en vele andere te geven is dit boek geschreven. Het geeft onze huidige kijk op het weer, waarbij de vele gegevens die het KNMI de afgelopen eeuw heeft verzameld ons een levendig beeld verschaffen van ons wisselvallige weer.

THIEME – ZUTPHEN

ISBN 90 03-97605 6