

KNMI: 150 JAAR

ONDERZOEK NAAR HET WEER EN MEER

Rob Herber en Tjitse Langerveld

Op 31 januari 2004 bestond het KNMI 150 jaar.

In het artikel 'Het KNMI 100 jaar in De Bilt' in *De Biltse Grift* van maart 1997 heeft Tjitse Langerveld een overzicht gegeven van de organisatorische en bouwkundige zaken van 100 jaar KNMI in De Bilt. In het onderstaande stuk willen we het onderzoek belichten, dat het instituut door de jaren heen verrichtte.

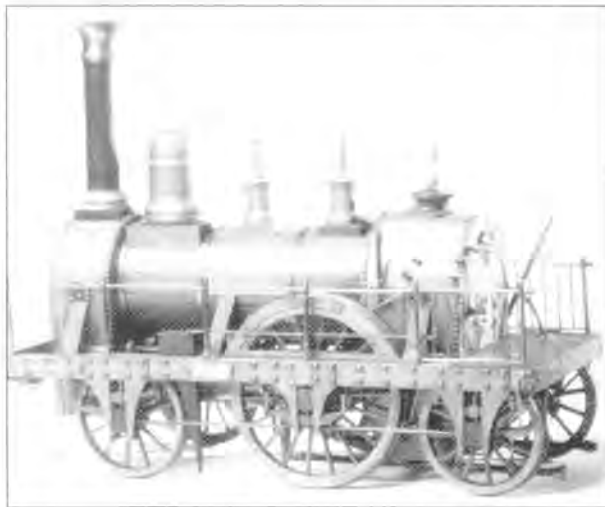
Inleiding

De wetten van Buys Ballot, Doppler en Ferrel: ere wie ere toekomt. „Met de rug naar de wind, ligt het lagedrukgebied op het noordelijk halfmond links en het hogedrukgebied rechts.” Zo luidt in eenvoudige bewoordingen de wet van Buys Ballot, die in geen boek op dit gebied ontbreekt. We zijn met recht trots op Professor dr. Christophorus Henricus Didericus Buys Ballot (1817 -1890): hij heeft er niet alleen voor gezorgd dat het KNMI er kwam, maar bracht ook de internationale samenwerking in de meteorologie op gang, introduceerde de weerkaart, het weerbericht en de stormwaarschuwingen, zorgde voor de oprichting van het meetnet en deed hier de eerste ozonwaarnemingen in het midden van

de negentiende eeuw. Als onderzoeker was hij een man van de praktijk en zo kon hij uit waarnemingen het verband tussen luchtdruk en wind aantonen. Dat leidde tot de beroemde wet waarvan hij in 1857 het eerst melding maakte bij de Koninklijke Academie van Wetenschappen in Amsterdam. Kort daarna bleek dat de Amerikaan William Ferrel reeds een jaar eerder had ontdekt wat Buys Ballot aantoonde. Uit de brieven die over en weer gingen bleek dat Ferrel de eer graag aan de Nederlander schonk en zo is het de wet van Buys Ballot gebleven.

Iets soortgelijks speelde zich af tussen Doppler en Buys Ballot. De Oostenrijkse natuurkundige Johann Christian Doppler (1803-1853) is bekend geworden door het naar hem genoem-

de effect. Hij beschreef in 1842 het principe dat een door een bron uitgezonden trilling anders wordt waargenomen als de bron zich ten opzichte van de waarnemer beweegt. Denk maar aan de toonverandering bij een passerende auto met sirene. Buys Ballot had kritiek op Doppler en vond dat zijn theorie moest worden getest. Buys Ballot, die dol op muziek was, liet op het baanvak Utrecht-Maarssen een locomotief rijden met aan boord een hoornblazer. Op het perron luisterde een andere muzikkenner met absoluut gehoor en een aantal getuigen-deskundigen naar de toon



KNMI – trein; (foto KNMI) Locomotief van Sharp en Roberts uit 1843, die Buys Ballot waarschijnlijk heeft gebruikt voor zijn experiment om het Doppler-effect aan te tonen.

van de passerende hoornist en stelde vast dat de toon na het voorbijrijden van de locomotief lager werd. Dat experiment werd een aantal malen herhaald waarbij de rollen van de musici werden omgedraaid. Het verschil in toon bleek minder of meer naarmate de locomotief langzamer of sneller reed. Daarmee heeft Buys Ballot de juistheid van de Doppler-theorie bewezen waarbij hij bescheiden opmerkte: „wat voor nut deze waarnemingen geven, zoo is er voor 's hands niets bepaalds voor aan te geven, maar men weet niet hoe onverwacht soms eene nieuw gevonden waarheid hare toepassing vindt”. De heren moesten eens weten: het Doppler-effect wordt nu overal in de wetenschap en techniek toegepast. Zo wordt het gebruikt bij de positiebepaling van schepen met behulp van satellieten of het meten van wind in buien met radar, het bepalen van snelheden van sterren, in de geneeskunde om de stroomsnelheid in bloedvaten te meten en bij echoscopisch onderzoek van zwangere vrouwen (Jonkman 1980, Exalto en Geurts, 1996, Geurts en Kuiper, 1997). Buys Ballot was de oprichter en eerste directeur van het KNMI, destijds gevestigd in Sonnenborgh in Utrecht. De oprichtingsdatum (Koninklijk Besluit) is 31 januari 1854. In 1897, zeven jaar na het overlijden van Buys Ballot, verhuisde het KNMI naar de huidige locatie in De Bilt. Uit het voorgaande blijkt al dat onderzoek ten

behoefte van weersverwachtingen een lange traditie heeft op het KNMI. Dat is ook wat iedereen kent van vroeger op de radio „Thans volgt het weerbericht medegedeeld door het KNMI te De Bilt.” en „Thans volgt het weerpraatje ten behoeve van land- en tuinbouw.” Het weer op radio en tv wordt echter sinds 1998 niet meer door het KNMI verstrekt, maar door commerciële bureaus als Weathernews en Meteconsult. Het KNMI heeft tot publieke taak de samenleving op de hoogte te houden van de weersontwikkeling in Nederland. Dit gebeurt door middel van het Algemeen Weerbericht. Vooral het tijdig waarschuwen voor gevaar is van belang. Maar ook de verspreiding van de actuele waarnemingen en de verwachting hoort bij dit Algemeen Weerbericht. Momenteel wordt door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een wet voorbereid waarin de meteorologische gegevensverstrekking wordt geregeld.

In die wet wordt het takenpakket van het KNMI vastgelegd.

In het huidige onderzoekprogramma is het weer maar één van de drie thema's. Het KNMI onderscheidt de volgende thema's:

- Toegepast onderzoek ten behoeve van onder andere weersverwachtingen. Het verbeteren van de kwaliteit en toegankelijkheid van meteorologische en oceanografische data (zowel waarnemingen als modeldata).

- Klimaatonderzoek (Hoe verandert het klimaat? Waardoor komt dit? Hoe wordt het in de toekomst?) Dit omvat onderzoek op het gebied van oceanografie, grenslaagprocessen, wolken en straling in de atmosfeer; de chemische samenstelling van de atmosfeer (bijv. ozon); onderzoek naar de oorzaken van klimaatvariabiliteit en klimaatverandering; de analyse van klimaat, klimaatvariabiliteit en klimaatverandering.

Een aparte groep houdt zich bezig met klimaatmodellen. Onderzoeksresultaten worden gebruikt bij het uitbrengen van beleidsadviezen aan de Nederlandse regering op het gebied van klimaat en klimaatverandering. Nationaal speelt het KNMI een coördinerende rol bij het monitoren van klimaatveranderingen.

- Seismologisch onderzoek; onderzoek naar en het waarnemen van seismische activiteit (aardbevingen).

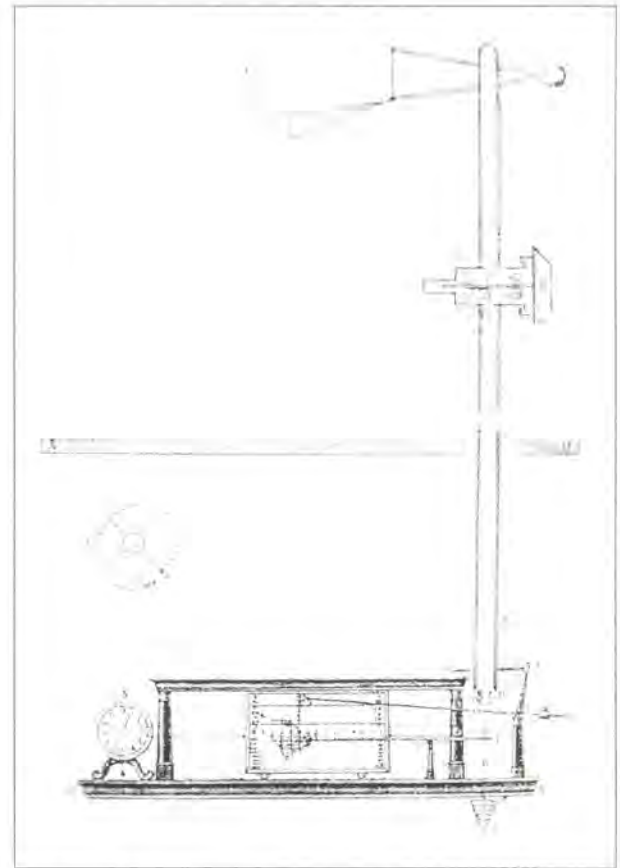
Geschiedenis

Bij de oprichting van het KNMI werden al meteorologische grootheden als temperatuur, windrichting, windsnelheid, hoeveelheid regen, uren zonneshijn en luchtdruk gemeten. Een eerste opsomming van de aanwezige waarnemingsapparatuur in het waarnemingsstation van dr. Krencke, bevat in 1849 de volgende instrumenten:

Kwikbarometer, kwikbarograaf (registrerende barometer), psychrometer (metende de relatieve vochtigheid van de lucht), thermograaf (registrerende thermometer), maximum- en minimumthermometer, registrerende windvaan met anemometer (windsnelheidsmeter), anemometer van Whewel, regenmeter, verdampingsmeters, instrument voor de bepaling van hoogte en afstand van de wolken, instrument voor het meten van de magnetische inclinatie (helling van het magnetisch veld t.o.v. het aardoppervlak, pyrhieliometer (voor het meten van de warmte door zonnestraling), theodoliet (voor het meten van verticale en horizontale hoeken; wordt voornamelijk in de landmeetkunde gebruikt), sextant (hoekmeetinstrument dat bestaat uit een driehoekig raam waarop een verdeelde cirkelrand van circa 60° is bevestigd. Door gebruikmaking van spiegels kan een sextant hoeken tot 120° meten. Wordt vooral gebruikt voor plaatsbepaling op zee.) Daarnaast werden aardmagnetische metingen verricht.

Meteorologie

Buyt Ballot benadrukte dat naast het meten vooral naar verbanden gezocht moest worden. Zo kwam hij tot het idee, niet alleen waarnemingen op het land te doen, maar ook op zee. Buyt Ballot zag ook al het verschil



Wind-anemometer: Registrerende windvaan met anemometer. (windsnelheidsmeter). Onderin is een trommel te zien waarin de registratie plaatsvindt (1849).

tussen klimatologie en meteorologie: „Voor de klimatologie mogen lang voortgezette reeksen van waarnemingen noodzakelijk zijn, voor de

meteorologie is het beter waarnemingen te hebben van duizend plaatsen, gedurende slechts een jaar, maar over de gansche aarde". Hoe werden de waarnemingen nu verwerkt en gepresenteerd? Na opschrijven van de waarnemingen in tabellenboeken werden b.v. dagelijkse tabellen opgemaakt waarin de afwijkingen van de luchtdruk als functie van de meetstations werden weergegeven. Op deze manier kon de luchtdrukverdeling over Nederland weergegeven en geregistreerd worden. Verder werden maand- en jaartabellen van de meteorologische waarnemingen en de magnetische waarnemingen (alleen van Utrecht) gemaakt. Ook daggemiddelden en dagelijkse afwijkingen van de normaalwaarden werden al vanaf 1849 berekend. Vanaf 1852 werden ook buitenlandse meetstations (vanaf de Orkaden ten noorden van het Verenigd Koninkrijk in het westen tot Moskou in het oosten en vanaf Kiel in het noorden tot Genève in het zuiden) in de berekeningen betrokken. Positieve en negatieve afwijkingen werden door arceringen op kaarten weergegeven. Het aantal stations, ook buiten Europa, werd geleidelijk uitgebreid en in 1865 verschenen ook stations in de Verenigde Staten in de verslaggeving. Er werden o.a. 10-daagse gemiddelden met normalen voor luchtdruk, temperatuur, neerslaghoeveelheden en magnetische waarnemingen berekend. Vanaf 1858 werden

10-jaarsgemiddelden berekend, vanaf 1868 20- en vanaf 1878 30-jaarsgemiddelden.

Weerkaarten en stormwaarschuwingen

De eerste weerkaarten waren die van 1852, waarbij de temperatuurverschillen met arcering en de windrichting met pijltjes werden uitgebeeld. In die tijd dacht men, dat de ontwikkeling van het weer geheel afhankelijk was van het transport van warme en koude luchtmassa's. Later werden ook luchtdrukwaarden opgenomen. Toen het belang van de luchtdruk werd ingezien (de wet van Buys Ballot), kon men voorspellingen doen voor het optreden van stormen. Tevens was hierbij van belang, dat na 1862 weerberichten via de telegraaf werden verspreid. Een tabel met de barometerafwijkingen van hun normaalwaarden op de vier hoofdstations leverde de grootte en richting van het luchtdrukverval over het land op. Uit de barometerafwijking was de kans op harde wind op te maken, uit de richting waaruit de harde wind te verwachten was. Op publicatieborden in de zeehavens werden deze gegevens kenbaar gemaakt (in die tijd waren nog bijna uitsluitend zeilschepen op zee aanwezig). In 1860 werd de eerste stormwaarschuwingsdienst ingesteld, in het begin met optische seinen. Hoe betrouwbaar waren de stormvoorspellingen in die tijd? In een periode van december 1866 tot

november 1867 werd van 730 seinen in totaal 119 maal voor storm gewaarschuwd; 99 waarschuwingen waren terecht (dus een score van 83%). Niet slecht voor die tijd! Buys Ballot vermeldde in 1854 dat „een groot deel van de werkzaamheden van het Instituut is besteed aan de waarnemingen op zee gedaan en aan het zoeken van de beste en veiligste routes voor schepen”. In het begin werd voor aanbevolen scheepvaartroutes waarbij markante punten werden gepasseerd (zoals de evenaar, de meridiaan van Greenwich) de klimatologische omstandigheden voorspeld. Later werden voor vijf- of tien-gradsvakken de gemiddelde luchtdruk, temperatuur en windvariabelen berekend. De zeekaarten gaven dan aan, welke gebieden te mijden waren en welke men goed kon bevaren. Verder werden scheepskompassen, die in die tijd nog uitsluitend van magneetnaalden werden voorzien, onderzocht op afwijkingen ten gevolge van ijzerhoudende lading en later van ijzeren en stalen schepen. De waarnemingen ter zee werden nog in 1954 apart in het jaarboek vermeld.

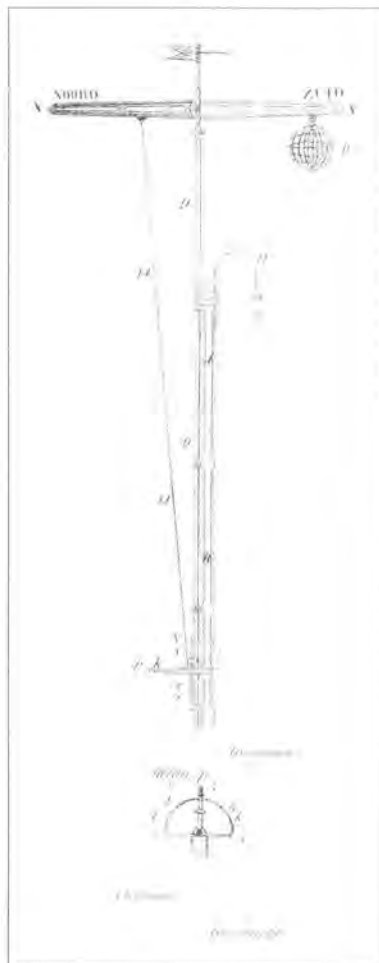
De Stormvloedwaarschuwingdienst (SVWD) werd in 1864 opgericht. In het verlengde hiervan kreeg het KNMI in 1875 Scheepvaartzaken in zijn portefeuille. In 1876 kwam het tot een telegrafische uitwisseling van weerberichten met omliggende landen. In

1878 verschenen de weerberichten slechts in drie kranten, waarover Buys Ballot zich beklaagde. In 1881 werd de eerste weerkaart (voor Utrecht) geïntroduceerd met lijnen voor gelijke luchtdruk (isobaren) en voor gelijke temperaturen (isothermen). Om deze lijnen te kunnen tekenen was het nodig, dat het aantal waarnemingsstations uitgebreid werd. Ook in 1881 kwam er een 'filiaalrichting' in Amsterdam. Deze verzorgde onder directeur van Hasselt de telegrafische weerdienst en de uitoefening van de stormwaarschuwingdienst. In Rotterdam werd in 1891 een filiaalrichting opgericht. In 1890 werd in Utrecht nog bij leven van Buys Ballot begonnen met het dagelijks verspreiden van weerkaarten. Een zeer belangrijk punt hierbij was de tijdsaanduiding; bij waarnemingen werden in klimatologische uren vermeld die ten opzichte van de standaardmeridiaan (de Greenwich-tijd, GMT of coordinated universal time, UTC) 3 à 4 uur verschilden. Dit werd echter pas na invoering van de radiotelefonie, zo'n 25 jaar later, verwezenlijkt. In 1892 werden telegraafkabels naar de Azoren en in 1897 naar de Farøereilanden en IJsland gelegd, waardoor ook daar de waarnemingen doorgegeven konden worden.

Op rivier en zee

Aan het eind van de negentiende eeuw had de

afdeling Maritieme Meteorologie zich uitsluitend beziggehouden met de samenstelling van atlanten op grond van scheepsjournalen. Deze werden voor gebieden gemaakt waar in die tijd veel Nederlandse scheepvaart was, zoals de Golf van Aden en de Indische Oceaan. Later werden voor waarnemingen op de Noordzee ook de gegevens van de (soms ver) voor de Nederlandse kust liggende lichtschepen betrokken. De locaties van de schepen waren; Doggersbank-Noord, Doggersbank-Zuid, Terschelling (Terschellingerbank), Tessel (Haaks- Texel), Hoek van Holland (Maas), Goeree-Overflakkee (Goeree), Schouwen-Duiveland (Schouwen) en ten westen van Vlissingen (Noordhinder). Sinds 1908 werden ijswaarnemingen langs de monding van rivieren en langs de Nederlandse kust ingevoerd. Ook in 1908 werd dagelijks de temperatuur van het rivierwater en in de toenmalige Zuiderzee gemeten. Na de Tweede Wereldoorlog werden de twee KNMI-weerschepen "Cirrus" en "Cumulus" in internationale samenwerking op drie wisselende locaties op de Atlantische Oceaan gestationeerd. Deze locaties lagen tussen Noorwegen en IJsland (M), tussen IJsland en Groenland (A), ten zuiden van IJsland (I), ten westen van Ierland (J) en in de golf van Biscaye (K), tussen Groenland en Labrador (B), tussen Ierland en Labrador (C), ten oosten van



Optische stormwaarschuwing genaamd aëroklinooskoop (vanaf 1860) door de Stormwaarschuwingsdienst. R. is een bal voor de zichtbaarheid, W. is een lantaarn voor de zichtbaarheid bij duisternis.

Newfoundland en twee locaties ten oosten van het vasteland van de Verenigde Staten. De Nederlandse weerschepen gingen naar de genoemde locaties A, J en K en bleven daar dan een maand. De weerschepen waren vooral ten behoeve van het toenemende luchtverkeer belangrijk; daarnaast gaven ze door hun aanwezigheid de bemanning van de vliegtuigen op hun destijds lange tocht over de oceaan morele ondersteuning.

Uitbreiding

Na het overlijden van Buys Ballot in 1890 werd dr. M. Snellen de tweede directeur (tot 1902). Snellen breidde het aantal regenstations en waarnemingen voor onweer sterk uit. In 1879-1880 waren al 400 vrijwilligers 'in de weer'. Door uitbreiding werd de locatie Sonnenborgh te klein en in 1893 werd het landhuis Koelenborg in De Bilt aangekocht; op 1 mei 1897 werd het nieuwe gebouw officieel geopend. Op het terrein van het KNMI werden tevens twee ijzervrije paviljoens voor het doen van magnetische waarnemingen opgericht. Tot 1 december 1898 werden gelijktijdig op Sonnenborgh en in De Bilt waarnemingen gedaan om verschillen tussen beide locaties vast te stellen. Op een aanbouw van het landhuis was een 30 m hoge houten toren geplaatst voor het doen van de windrichtings- en windsnelheidsmetingen.

In 1917 werd deze vervangen door een toren van gewapend beton, waarbij ter vermindering van verstoring van de metingen van magneetvelden zo min mogelijk ijzer werd gebruikt.

De weerdienst werd gedurende deze jaren uitgeoefend in een kamer onder de toren, waarop de registreerinstrumenten voorsnelheid geplaatst waren. In de hoek van de kamer stond een tafel met het morsetoestel (seinsleutel) met de lijn naar Amsterdam, waarlangs de telegrafische weerberichten binnen kwamen. In 1940 waren er 250 abonnees van de door het KNMI uitgegeven weerkaart. In de periode van de Eerste Wereldoorlog beschikte men lange tijd over uitsluitend binnenlandse waarnemingen. Aan het eind van die oorlog was de draadloze telegrafie tot ontwikkeling gekomen. U kunt morsesignalen nog steeds horen als u een wereldontvanger bezit.

De lucht in

De opkomende luchtvaart had uiteraard ook behoefte aan weerberichten zodat op vliegvelden weerstations werden gevestigd. Daar werden ook weerberichten uit omringende landen opgenomen. In het begin van de twintigste eeuw werd met behulp van luchtballonnen door Cannegieter en Schouten onderzoek in de hogere luchtlagen verricht.

Vraagstellingen waren de hoogte van de dampkring en het verloop van temperaturen en windsnelheden op grote hoogten. Later werd door Schouten een registrerende theodoliet ontwikkeld die met behulp van een loodsbalon de windrichting bepaalde. Temperatuur en vochtigheid werden met behulp van vliegers tot ruim 3 km hoogte bepaald. Nog weer later werd tussen de vleugels van tweedekkers door militaire vliegers een meteorograaf meegenomen, waarmee tot 5 km hoogte luchtdruk, temperatuur en vochtigheid werden geregistreerd. In 1927 werd door de Rus Pavel Aleksandrovich Moltchanoff het principe van de radiosonde geïntroduceerd, waarbij door een miniatuurradiozender aan een ballon gegevens over druk, temperatuur en vochtigheid met korte tussenpozen naar het waarnemingsstation werden gezonden. In de loop van de jaren bereikten de ballonnen hoogten van 30 tot 35 km. Windgegevens werden door het volgen van het pad van de ballon met een theodoliet (vanaf 1955 met radar; tegenwoordig gebruikt men radioplaatsbepaling) verkregen. Ook de meetinstrumenten van de radiosonde veranderden: de bimetaalthermometer en de vochtigheidsmeter van vogeldarm zijn vervangen door sensoren ter grootte van een speldenknop.

De straalstroom

In het begin van de jaren veertig van de vorige

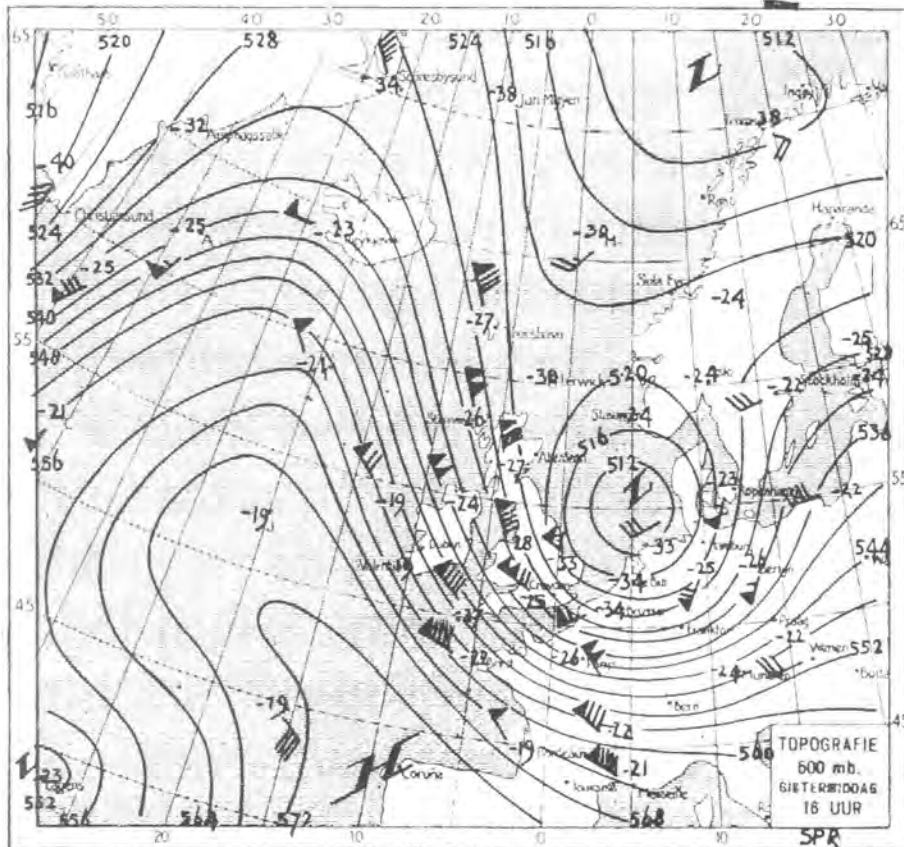
eeuw ging men uit van een regelmatige toename van de wind met de hoogte. In de Tweede Wereldoorlog troffen Amerikaanse bommenwerpers die op grote hoogten vlogen onverwacht hoge windsnelheden aan. Door zijn hoge snelheid kreeg deze stroming met windsnelheden tot 450 km/uur (!) de benaming straalstroom (jetstream). De straalstroom die vanaf de Atlantische Oceaan ons continent passeert, jaagt vaak de depressies over ons heen (Erwin Krol, weerman op TV: „Ziet u de prachtige krul van de depressie?“) Anderzijds, als er een kronkel in de straalstroom zit, blokkeert die de depressies en dan kunnen we soms genieten van mooi weer.

Fronten

Op de weerkaartjes in de krant staan vaak wonderlijke lijnen met stekels en halve cirkels, fronten genaamd. Deze lijnen geven de grenzen aan tussen verschillende luchtsoorten (ontwikkeld door T. Bergeron, en V. en J. Bjerknes rond 1920). Deze methode kon de knikken in de isobaren (lijnen met gelijke luchtdruk) verklaren die voordien verdonkeremaand waren.

Klimaatonderzoek

Uniek in de wereld is de ononderbroken reeks van betrouwbare temperatuur- en regenmetingen op Zwanenburg van 1835-1861. In Nederland is altijd een groot aantal



Weerkaart 1953:
 (figuur uit KNMI, 1954)
 Weerkaart van 31 januari
 1953, waarbij de waarschuwing
 voor harde wind om 9.30 uur
 werd vervangen door storm,
 om 17.00 uur werd de
 waarschuwing zware storm
 en om 22.30 uur storm.
 Diezelfde nacht voltrok zich
 door de zwarte storm en de
 gelijktijdig optredende
 springvloed de stormvloedramp
 waarbij de Zeeuwse,
 Zuid-Hollandse en
 Noord-Brabantse dijken
 bezweken en 1835 slachtoffers
 vielen te betreuren.

De gemiddelde temperatuur berekend uit uurlijks waarnemingen bedroeg gedurende het etmaal van 31 Jan. 0^u -1 Febr. 0^u te De Bilt 5,1 °C

BIJZONDERE MEDEDELINGEN:

(normaal 2,5 °C)

31 Jan. 9^u -30 Alle distr. Waarsch. v. harde wind vervangen door waarsch. v. storm tussen W en NW.

31 Jan. 17^u Alle distr. waarsch. voor zware storm tussen W en NW. 31 Jan. 22^u -30 Alle distr. waarsch. v. zware storm verv. d. waarsch. v. NW storm.

Nederlandse Grafische Konstinstichting Amsterdam
 K.N.M.I. Model W 13

NADRUK VERBODEN

ms

vrijwilligers 'in de weer' geweest om meteorologische waarnemingen te doen; zo waren er in 1954 ongeveer 300 regenwaarnemers actief. In 1904 werd begonnen met een maandelijks overzicht van de weersgesteldheid van Nederland. Al in 1924 werd begonnen gegevens op ponskaarten te zetten (uitgevonden door Herman Hollerith; kent u de acceptgiro's en overschrijvingskaarten nog?). In 1943 was men klaar met dit werk; de Duitse bezetters voerden echter alles weg. Gelukkig werden de inmiddels zeven en een half miljoen ponskaarten aan het einde van de oorlog in Hamburg terug gevonden en door de Britse bezettingsautoriteiten teruggestuurd. In 1953 had men rond acht miljoen kopieën van ponskaarten uit het buitenland in bezit voor onderzoek. Rond 1930 werden microklimatologie en landbouwmeteorologie als onderzoeksgebieden geïntroduceerd. Bij de landbouwmeteorologie werd bijvoorbeeld gewaarschuwd voor klimaattoestanden, gunstig voor bepaalde schimmelziekten. Bij de micrometeorologie bestudeert men het klimaat direct boven het aardoppervlak. Ten gevolge van begroeiing, bebouwing en de aanwezigheid van land of water verschillen de meteorologische omstandigheden aanzienlijk van die van grote hoogten. Vanaf 1960 wordt ook het stadsklimaat bestudeerd. Een ander onderwerp was destijds een studie naar de

klimaatveranderingen rondom de afgesloten Zuiderzee.

Onderzoek voor lange-termijnvoorspellingen begon rond 1915, maar werd pas systematisch verricht in 1936. Sinds 1938 werden met wisselend succes seizoensvoorspellingen gedaan. Pas na toepassing van wiskundige modellen in grote computers konden rond 1970 regionale weersvoorspellingen voor een aantal dagen gedaan worden.

Bronnen

- Exalto N. en Geurts H. Het muzikale Dopplerexperiment van Buys Ballot. *Zenit* 23; 431-434 1996.
- Geurts H. en Kuiper J. *Weergaloos Nederland*. Kosmos/Z&K, Utrecht 1997.
- Jonkman E.J. Doppler Research in the nineteenth Century, an historical note. *Ultrasound in Med. & Biology* 6; 1-5, 1980.
- KNMI, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut 1854 -1954. Staatsdrukkerij- en Uitgeverij, Den Haag, 1954.
- Langerveld T. Het KNMI 100 jaar in De Bilt. *De Biltse Grift* nr. 18, 1997.
- Website: www.knmi.nl
- Zwart B. en Floor C. De ontwikkeling van de meteorologie in Nederland sinds 1900. Het weer gemeten en voorspeld. In: *Evolutie in Weer- en Sterrenkunde. 100 jaar Nederlands Onderzoek*. Jubileumboek NVWS, 2001.