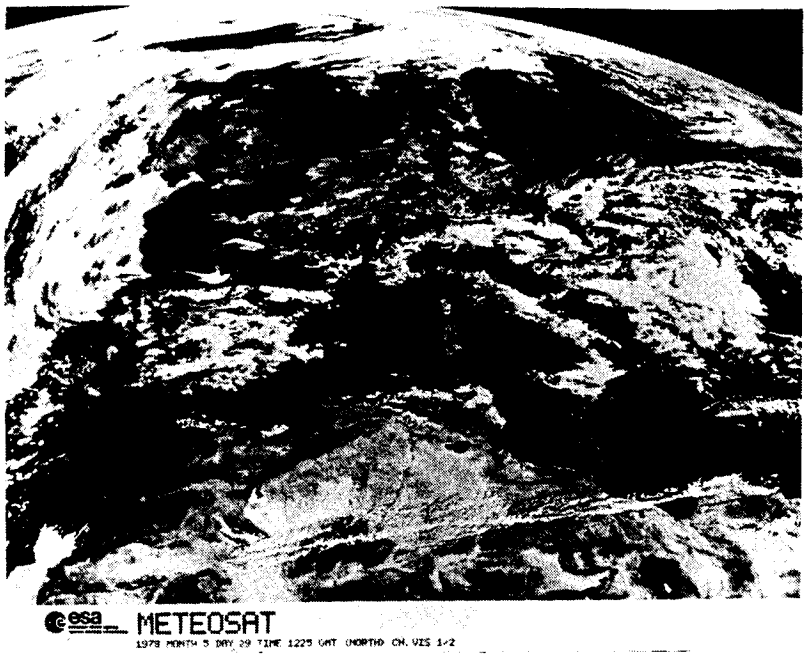
lerarenhandleiding
apparatuurgids

Weersveranderingen



Een lessenserie, waarin de leerlingen

- de taal en meetmethodes van de weerkundige leren kennen
- leren zien hoe weersprocessen onderling samenhangen en van invloed zijn op menselijk handelen
- informatie (bronnen) kritisch tegemoet treden.

Experimentele uitgave voor de vierde klas HAVO.

PLON

© 1985 Rijksuniversiteit Utrecht
tweede (herziene) druk
Deze handleiding maakt deel uit van experimenteel lesmateriaal.
Overname of referentie uitsluitend met toestemming van de medewerkers van het PLON, Lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht, tel. 030-532717.

INHOUD

Voorwoord 3

Plaats en karakter van het thema 4
1. Plaats in de 4-HAVO-kursus 4
2. Verantwoording van de themakeuze 4

Globale opzet 7

Lesmateriaal 8

Leerstof en vaardigheden 9
1. Leerstof 9
2. Vaardigheden 9
3. Beginsituatie 10

Lessenplan 11

Ervaringen 14

Opmerkingen per hoofdstuk 17
1. Hoofdstuk 1: oriëntatie 17
2. Hoofdstuk 2: in weer en wind 19
par. 2.1: het weer gemeten 19
par. 2.2: weerkaarten 23
par. 2.3: aarde en atmosfeer 27
par. 2.4: vochtige lucht 29
par. 2.5: wind 32
par. 2.6: weer kiezen 34
Hoofdstuk 3, 4 en 5: differentiële periode 35
3. Hoofdstuk 3: wolken 37
4. Hoofdstuk 4: neerslag 40
5. Hoofdstuk 5: fronten en drukgebieden 42
6. Hoofdstuk 6: weersvoorspelling 45
par. 6.1: voorspelmethoden 45
par. 6.2: de betrouwbaarheid van de weersverwachting 47
par. 6.3: zelf het weer voorspellen 51
7. Hoofdstuk 7: weersbeïnvloeding 54
8. Hoofdstuk 8: met het weer in de weer 58

Literatuur 62

Audio-visuele middelen en soft-ware 65

Adressen 66

INHOUD

BIJLAGEN

D1	Weerkunde in het E.P.E.P.	71
D2	Samenvattingen van het thema	72
	1. uitgebreid	72
	2. beknopt	76
D3	Toelichting bij de satellietfoto's	78
D4	Alternatief voor onderzoek naar relatie p_{max} en T	81
D5	Toetsvragen	84
D6	Voorbeeld van een doelstellingenlijst	94
I1	De WW-code	95
I2	Windkracht en -richting uit Weather and Climate van Bodin	96
I3	De taal van wolken	99
I4	Karakteristieken kou- en warmtefront	107
I5	Modellenonderzoek aan ijskap en -plaat	108

APPARATUURGIDS 113

VOORWOORD

Deze Lerarenhandleiding is in de eerste plaats geschreven voor de leraren, die met dit thema willen werken in HAVO-bovenbouw. Daarom bevat deze handleiding bij het thema "Weersveranderingen", naast een verantwoording van het thema, suggesties voor het werken ermee in de klas. Ook wordt veel informatie gegeven over die onderwerpen die nieuw of ongebruikelijk zijn voor een HAVO-bovenbouw-kursus.

Daarnaast kan deze dienen als toelichting op het thema voor leden van begeleidingscommissies, inspecteurs, andere leerplanontwikkelaars en leraren, lerarenopleiders en andere belangstellenden.

In de tweede druk van deze handleiding zijn ervaringen verwerkt van het gebruik van dit thema in de klas tijdens de schooljaren 1983/'84 en 1984/'85.

Het PLON-team
Lab. Vaste Stof
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

1. PLAATS IN DE 4-HAVO-KURSUS

Het thema "Weersveranderingen" is geschreven als tweede thema in 4-Havo. Het thema neemt ongeveer 6 weken in beslag bij vier lessen per week.

jaarprogramma 4-Havo	
thema	aantal lessen
Vergelijken	12
Weersveranderingen	24
Muziek	24
Verkeer	24
Elektrische Machines	24
Energie en Kwaliteit	22
	130

VERANTWOORDING VAN DE THEMAKEUZE

Mensen en het weer

Het weer speelt een opvallende rol in het leven van mensen. Aan de ene kant hebben zij er erg veel mee te maken en wordt een deel van hun aktiviteiten er door bepaald, aan de andere kant is het weer normaal gesproken niet te beinvloeden en voor de meesten ook onvoorspelbaar. Hieruit vloeit voort dat men vaak over het weer praat (vooral in een land als Nederland waar het weer aan grote veranderingen onderhevig is) en dat men de professionele weersvoorspellingen kritisch volgt. En dáár gaat het dan vaak mis. Ondanks de erkende betrouwbaarheid van het "weerbericht van het KNMI", zitten de professionele weersvoorspellers er volgens veel mensen vaak naast. Volgens de deskundigen van het KNMI ervaart men de onderdelen van het weerbericht als aparte feiten en ontbreekt het velen aan inzicht in de samenhang van de verschillende onderdelen. Ook is men vaak niet in staat het weerbericht naar de eigen situatie toe te interpreteren of te relativeren, ook al door een gebrek aan begrip van de verschillende weersverschijnselen en hun samenhang. In de natuurkunde kan aan dit begrip een belangrijke bijdrage

Kans op onweer

Verwachting tot vanavond:

Wisselend bewolkt en enkele buien mogelijk met onweer, hagel of natte sneeuw. Middagtemperatuur ongeveer 6 graden. Noordwestenwind, in het binnenland matig, aan de kust en op het IJsselmeer krachtig.

Vooruitzichten voor zaterdag tot en met dinsdag:

Wisselend bewolkt en eerst nog enkele buien. Middagtemperatuur ongeveer 6 graden.

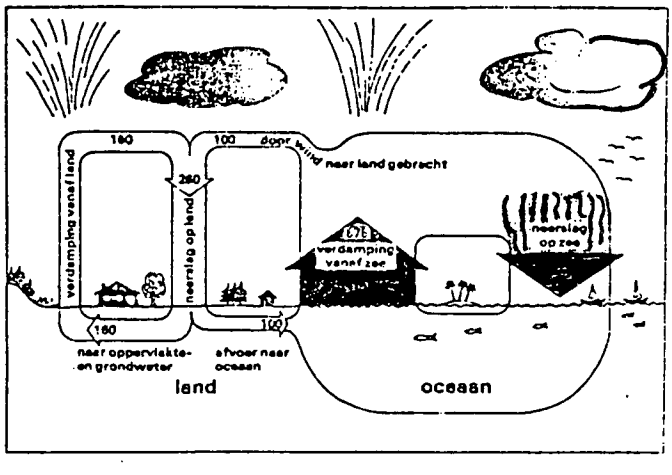
worden geleverd door aandacht te besteden aan de faktoren, die het weerbeeld bepalen, aan luchtbewegingen, weersmetingen, weersprocessen, voorspelmethoden en weersbeinvloeding. Daarbij is er in het thema "Weersveranderingen" gekozen voor meer dan alleen een beschrijving van het weer of een opsomming van achtergronden en verklaringen van bepaalde weersverschijnselen. Om samenhangen duidelijk te maken worden vooral de *veranderingen* in het weerbeeld bekeken en verklaard. Hiermee hopen we ook te bereiken dat de kennis en vaardigheden die leerlingen door middel van dit thema opdoen, funktioneel en relevant zijn voor hun dagelijkse bezigheden. Oog krijgen voor vergelijkbare meetomstandigheden, iets kunnen doen met informatie uit weerkaarten, satellietfoto's en weerberichten, de wolkenhemel beter kunnen doorgronden of je bewust zijn van de invloed van de mens op het weer zijn kenmerkende aspekten van die funktionaliteit.

Weersveranderingen in 4-Havo.

Ook 4-Havo-leerlingen zien een thema "Weersveranderingen" in principe wel zitten. Bij een bliksemenquête na afloop van het thema "Kringlopen" in 1982 onder 100 leerlingen bleek dat 70% van de leerlingen een thema "Weersveranderingen" leuker of even leuk zou vinden en eveneens 70% een dergelijk thema interessanter of even interessant. Uit die enquête bleek ook dat de meeste leerlingen soms of vaak (88%) over het weer praatten, soms of vaak (99%) naar het weerbericht luisterden of keken, maar in meerderheid (58%) nooit het weerbericht in de krant lazen. Van de leerlingen was 36% van mening dat het weerbericht vaak niet klopte, een meerderheid (80) vond het weerbericht tamelijk duidelijk(!) In de enquête werden ook 16 mogelijke onderwerpen gesuggereerd, waarvoor zonder uitzondering veel belangstelling was (elk onderwerp werd door meer dan 30 leerlingen aangekruist). Toppers waren onweer (61 leerlingen), tornado's, ijstijden, satellietfoto's, luchtverontreiniging, regenbogen en weerkaarten (51 leerlingen).

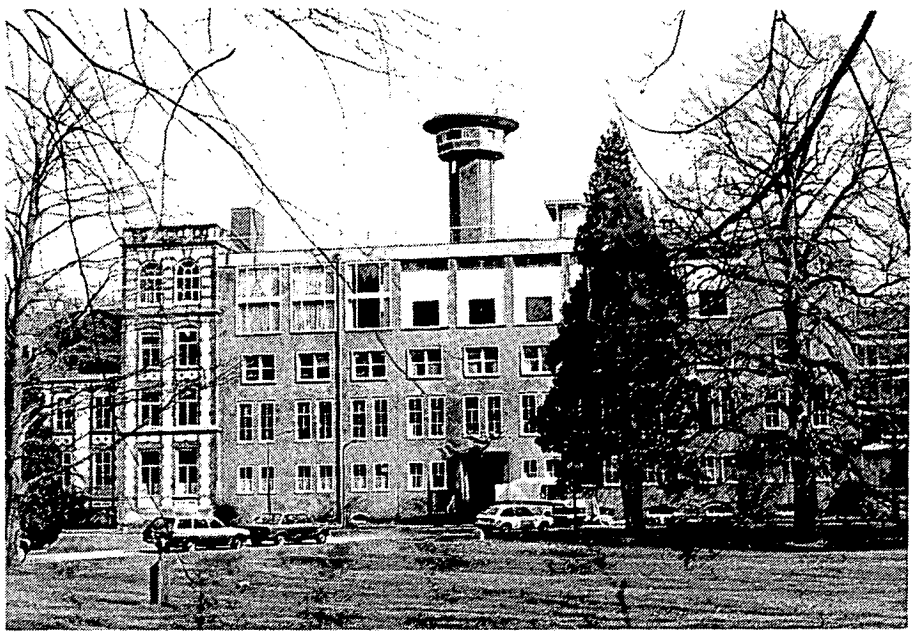
Ervaringen met het thema "Kringlopen".

In het eerste versiethema "Kringlopen" ging het om min of meer gesloten systemen, waarbinnen veranderingen plaats vinden, die gekoppeld zijn. Door het bestaan van een kringloop als *concept* te kennen, is het mogelijk om oorzaak - gevolgrelaties tussen verschijnselen te voorspellen en/of te benutten.
De ervaringen met dit thema waren, dat er van dit brede concept betrekkelijk weinig terecht kwam. Het was zowel in het lesmateriaal als ook in de lessen zelf moeilijk



Waterkringloop van de aarde (in miljard m³ per dag).

vorm te geven. Daardoor verschoof de aandacht naar een klinischer behandeling van gaswetten en eigenschappen van waterdamp, waarvoor een zinvolle context ontbrak.
Een aantal proeven uit "Kringlopen" is gehandhaafd in het nieuwe thema, alsook kleine onderdelen van de tekst en sommige vragen. Ook het idee van een accent op de vaardigheid om informatie te verwerken is verder uitgewerkt.



Het K.N.M.I.

GLOBALE OPZET

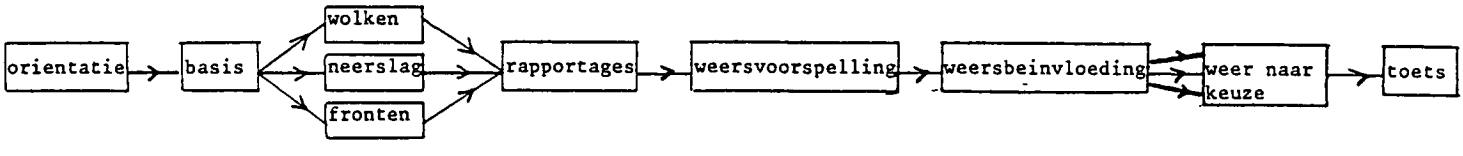
Als centrale vragen voor het thema "Weersveranderingen" zijn gekozen:

- welke faktoren bepalen het weerbeeld?
- welke rol spelen deze faktoren bij weersveranderingen?
- hoe komt een weersvoorspelling tot stand, hoe betrouwbaar is hij en wat kun je er mee doen?
- welke menselijke aktiviteiten beinvloeden het weer nu en in de toekomst?

Hoewel deze vragen de suggestie zouden kunnen wekken nogal beschrijvend te zijn, is er in de opzet van het thema en bij de selektie van leerstof en vaardigheden sterk toegewerkt naar een *aktief* gedrag van leerlingen met betrekking tot allerlei aspekten die met het weer te maken hebben. Zo zijn er veel uitgewerkte leerlingproeven, over het algemeen met een tamelijk gesloten karakter, er zijn veel vragen opgenomen en er wordt nogal vaak een beroep gedaan op de leerlingen om zelfstandig informatie te verzamelen; weerberichten gedurende de loop van het thema en algemene informatie in de keuzeperiode aan het eind.
Hoofdstuksgewijze liggen er de volgende accenten:
In hoofdstuk 1 kunnen de leerlingen zich oriënteren op het belang van het weer voor menselijke aktiviteiten. Er wordt ingegaan op de veranderlijkheid van het weer en er vindt een afbakening van de thema-onderwerpen plaats. Ook wordt nog eens opgehaald wat de leerlingen over lucht en waterdamp al weten.

Hoofdstuk 2 is bedoeld als basis voor de rest van de thema-aktiviteiten. Leerlingen verrichten zelf metingen aan weersgrootheden, bestuderen weerkaartjes en satellietfoto's en krijgen informatie over de temperatuuropbouw van de atmosfeer, over vochtige lucht en over het ontstaan van wind. Ook wordt hierin gestart met de parallelaktiviteit van het verzamelen van weerberichten. In de hoofdstukken 3 t/m 5 kunnen leerlingen kiezen uit het werken aan verschillende weerprocessen: wolkenvorming, neerslagvorming en fronten. Het is de bedoeling dat de leerlingen elkaar op hoofdpunten rapporteren over de onderzoeken, die ze gedaan hebben, waarbij iedereen van bepaalde aspekten het zelfde moet weten (wij noemen dat wel een "harde uitwisseling").

Hoofdstuk 6 gaat in op de weersvoorspelling en is vooral ook bedoeld om tot een stuk verwerking van de voorgaande vier hoofdstukken te komen. In dit hoofdstuk beoordelen de leerlingen ook zelf de betrouwbaarheid van weerberichten, die zij zelf in de loop van het thema hebben verzameld. Het verwerken van het voorgaande gebeurt ook, zij het in iets mindere mate, in hoofdstuk 7, waarin wordt ingegaan op gewilde en ongewilde beinvloeding van het weer door de mens. Hier wordt ook ingegaan op aktuele onderwerpen als luchtverontreiniging, zure regen en het broeikaseffekt.
In hoofdstuk 8 gaat het om een vrije keuze-periode. Informatie in de vorm van kaarten, foto's, diagrammen en stukken tekst spelen in het hele thema een rol. Het is de bedoeling om de leerlingen aan het eind van dit thema de mogelijkheid te geven om een bepaald onderwerp verder uit te diepen, waarvoor ze dan zelf de nodige informatie moeten verzamelen.



LESMATERIAAL

Het lesmateriaal bestaat allereerst uit het themaboek "Weersveranderingen"
Verder is het nodig te beschikken over (zie ook het hoofdstuk literatuur):

- Een set "Dagelijkse Weerberichten" van het KNMI, over 3 maanden.
  Het is van belang een abonnement op dit weerbericht voor het begin van het thema te laten ingaan, zodat er van de hele periode van 6 weken weerkaarten beschikbaar zijn. Eventueel kan een volgend jaar gebruik gemaakt worden van een oude set, hoewel aktuele informatie wel leuker is.
- Een informatieset voor docenten, verkrijgbaar bij het KNMI.
- Achtergrondinformatie in de vorm van handleidingen, brochures, boeken, videobanden, diaseries, e.d.
  Het is in verband met het informatie verzamelen, dat in hoofdstuk 8 centraal staat, zaak om over voldoende achtergrond informatie te beschikken (zie ook de suggesties daarvoor bij de opmerkingen over hoofdstuk 8).
  Van "Kringlopen" is een serie dia's beschikbaar (o.a. de energie-balans, luchtcirculaties en waterkringloop).

Er bestaat een computer-simulatie programma over het weer. Omdat het engelstalig is, lijkt het alleen geschikt voor gemotiveerde en geinteresseerde leerlingen. Zeer recent is een diaserie met geluids-band uitgebracht door Polyvisie in Hilversum.
Meer informatie hierover bij het hoordstuk audio-visuele middelen en software.

LEERSTOF EN VAARDIGHEDEN

1. *Leerstof*

In het Experimenteel PLON-Examen-Programma (E.P.E.P.) is de leerstof beschreven die binnen dit thema aan de orde komt. Ook wordt daarop een toelichting gegeven. Zie voor het gebied "Weerkunde" in het EPEP bijlage D1. Uitgebreider dan in de reguliere lijst wordt vooral aandacht geschonken aan eigenschappen van *water (damp)*, ook in verband met wolken- en neerslagvorming en aan *druk* als atmosferische grootheid. Voorzichtig wordt geprobeerd iets te doen aan moeilijke begrippen als *gradient*, *energiebalans*, *fronten* en *coridis-effect*. Het experiment moet hierbij uitmaken of deze zaken haalbaar zijn in de klas.

Naast een aantal uitbreidingen die met de thema-keuze te maken hebben, is de voornaamste beperking ten opzichte van het reguliere examenprogramma dat de *gaswetten* binnen deze thematische context een andere rol vervullen. Dit wordt veroorzaakt door het principiele verschil tussen de *open* situaties waarin het "weer" zich afspeelt en de *gesloten* systemen waarop de gaswetten van toepassing zijn. Bij berekeningen aan "luchtbellen", aan dichtheid of aan weerballonnen zouden deze wetten een rol kunnen spelen. Onze keuze was het om in die richting *niet* een aanzienlijke uitbreiding, nogal geforceerd, aan het thema te geven. Temeer omdat de konsekwentie zou zijn dat er veel tijd zou gaan zitten in een behandeling die het mogelijk maakt om deze gaswetten enigszins generaal te maken.
Binnen de gekozen thematische kontekst van "Weersveranderingen" is vooral een kwalitatief inzicht in relaties tussen druk, volume en temperatuur vereist (zie ook onder *beginsituatie)*.
Met nadruk zij er op gewezen dat de aangeleerde begrippen en wetmatigheden moeten funktioneren *binnen* de gekozen kontekst van het weer en dat er op *deze plaats* in de kursus en bij *deze moeilijkheidsgraad* van bedoelde begrippen en wetmatigheden niet moet worden gestreefd naar generalisatie naar andere konteksten.

2. *Vaardigheden*

Zoals al eerder is opgemerkt, is een belangrijke vaardigheid, waarvoor in dit thema gekozen is, het verzamelen, analyseren en verwerken van *informatie*. Konkreter gesteld houdt dit in dat de leerlingen:
- informatiebronnen weten aan te boren (krant, radio, t.v., telefoon, literatuur, instanties en deskundigen).
- informatie kunnen selekteren rond een bepaalde probleemstelling
- informatie in de vorm van teksten, diagrammen, tabellen, stroomschema's weerkaarten en satellietfoto's kunnen lezen en gebruiken.
- de geselekteerde informatie kunnen verwerken tot een eindverslag, waarin op de probleemstelling wordt ingegaan.

Met betrekking tot het doen van *experimenten* ligt de nadruk erop dat de leerlingen:
- een (gesloten) proefinstruktie kunnen volgen
- de invloed van verschillen in de omstandigheden waaronder weersgrootheden worden gemeten onderkennen

LEERSTOF EN VAARDIGHEDEN

- diverse meetinstrumenten kunnen aflezen en gebruiken
- modelexperimenten kunnen "vertalen" naar de werkelijkheid
- een konklusie kunnen trekken over een experimentele onderzoeksvraag
- kunnen rapporteren over hun onderzoeksresultaten

In de grote verzameling *opgaven* door het thema heen is een varieteit aan vaardigheden te herkennen; naast het omgaan met informatie komen aan de orde:

- het kunnen berekenen van grootheden met behulp van bekende en onbekende formules.
- het kunnen verklaren van een verschijnsel met behulp van bekende theorie
- het kritisch en kreatief kunnen nadenken over weersverschijnselen en hun gevolgen voor de mens en zijn omgeving.

Belangrijke *vormingsdoelen* die binnen het thema worden nagestreefd zijn ondermeer, dat de leerlingen:

- plezier krijgen in het weergebeuren in al zijn facetten
- verantwoordelijkheid wensen te dragen voor het welslagen van aktiviteiten, vooral die, welke buiten de klas plaatsvinden.
- de taken zodanig willen verdelen, dat alle onderwerpen tot hun recht komen
- zich verantwoordelijk voelen voor het overdragen van eigen onderzoeksresultaten en leerervaringen aan hun klasgenoten.

beginsituatie

We gaan er van uit dat de leerlingen op twee onderdelen van het thema over enige voorkennis beschikken.

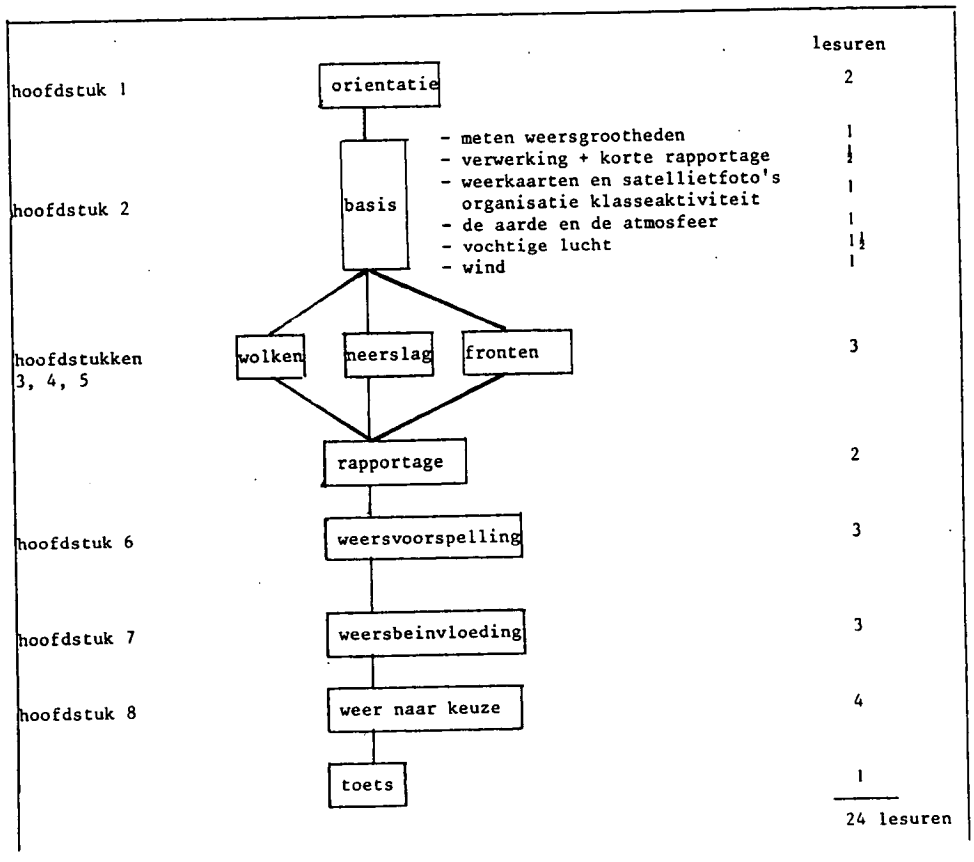
- een kwalitatief of semi-kwantitatief begrip van de grootheden, druk volume en temperatuur en de relaties daartussen; voor leerlingen die van een reguliere MAVO komen lijkt dit geen problemen op te leveren; PLON-leerlingen kennen de relaties met de temperatuur wellicht wat minder expliciet, maar kunnen daaraan binnen par. 1.4 van de orientatie het een en ander doen.
- het molekuulmodel als verklaringsmechanisme van bovengenoemde relaties en van fase-overgangen; er wordt in het thema een enkele keer over molekulen gepraat: daarbij worden modeleigenschappen als bewegen, veerkrachtig botsen en verschil in gemiddelde molekuul afstand in de verschillende fasen bekend verondersteld; ook hier lijken weinig problemen aanwezig voor de meeste leerlingen.

Op een aantal kleinere punten wordt impliciet ook uitgegaan van of aangesloten op voorkennis; zonder volledig te zijn noemen we:

- het verschil tussen weer en klimaat
- het snelheidsbegrip
- straling en energie; absorptie en terugkaatsing
- voorstelling van een kracht door een pijl
- begrip van stijging als gevolg van een verschil in dichtheid
- eerlijk vergelijken (aansluitend op het thema "Vergelijken")

LESSENPLAN

Op de proefscholen bleek onderstaand lessenplan uiteindelijk redelijk haalbaar. We constateerden wel een aantal variaties op dit lessenplan die we hier in het kort zullen bespreken.



Hoofdstuk 1

Op enkele scholen is een les meer besteed aan dit hoofdstuk, met name omdat nogal wat tijd is besteed aan demonstratie en bespreking van de proeven in par. 1.4.

Hoofdstuk 2

Soms worden hier 2 tot 4 lessen meer voor uitgetrokken: om meer opgaven te bespreken, een videoband te draaien, meer uitleg te geven over weerkaarten of vochtige lucht of extra weermetingen te doen.

Hoofdstuk 3, 4, 5

In 3 lessen goed te doen.

Rapportages

Meestal wordt hier 2 lessen voor uitgetrokken, soms 4 lessen. Dat laatste blijkt niet zo verstandig: het verzorgen van goede rapportages is in het begin van de 4e klas nog niet zo gemakkelijk en 4 lessen vullen op een boeiende wijze is voor de meeste klassen teveel gevraagd.

LESSENPLAN

Hoofdstuk 6

In 3 lessen goed te doen.

Hoofdstuk 7

Dit hoofdstuk fungeert (helaas) vaak als sluitpost zodat er 0-3 lessen aan worden besteed. Overigens in 3 lessen goed te doen.

Hoofdstuk 8

Een deel van de proefscholen combineert deze keuzeperiode met die van het thema Muziek, dus 5 weken later in het schooljaar. De overigen besteedden 3 tot 4 lessen aan dit hoofdstuk.

Toetsen

Veelal wordt na hoofdstuk 2 nog een extra toets gegeven.

Bij gebruik van het thema voor de eerste keer blijkt het thema vaak meer tijd te kosten dan begroot. Gebrek aan ervaring met het thema speelt daarbij een belangrijke rol. Daar valt schriftelijk in een AVOL weinig aan te doen. Wel raden we aan niet alle opgaven te maken en een goede werkplanning te maken voor de keuzehoofdstukken.

Als voorbeeld geven we nog een voorbeeld van de lessenplanning van een leraar die voor de tweede keer dit thema deed in een 4 HAVO-klas.

Voorbeeld van een 'succesvol' lessenplan.

les	hoofdstuk	AKTIVITEITEN OP SCHOOL EN THUIS
1	1	Bekijken diaserie HW: lessen 1.1 t/m 1.3 + opgaven maken
2	1	Demonstratieproeven 1.4 + beantwoorden vragen 1.4 HW: leren 1.5 + opdrachten maken
3	2	Uitvoeren onderzoekjes 2.1 na maken van weersgroothedentabel HW: uitwerken onderzoekjes 2.1
4	2	Korte rapportages over onderzoekjes 2.1 Beginnen met 2.2
5	2	2.2 afmaken. Organiseren 2.2 activiteit 4: 'Weerberichten verzamelen op muurkranten'. 2.3 tot aan activiteit 1 HW: 2.3 maken opdr. 1 en 2
6	2	2.3 afmaken 2.4 tot activiteit 1 HW: leren tekst 2.4 in kader (p. 30/31)
7	2	2.4 afmaken HW: 2.4 af
8	2	2.5 HW: opdrachten 2.5. Keuze uit H 3, 4 of 5.
9 t/m 11	3,4,5	Definitieve keuze voor H 3, 4 of 5 Uitvoeren van de proeven uit deze hoofdstukken. Bestuderen tekst eigen hoofdstuk en maken van opdrachten. HW: voorbereiden van rapportage

12,13	3,4,5	Rapporteren van de groepen voor de klas
14	6	6.1 leren + maken opdrachten
14		HW: 6.1 af
14	6	6.2 leren + maken opdrachten 1 t/m 4 met behulp van de muurkranten.
		HW: 6.2 af, leren 6.3
16	6	6.3 maken opdrachten
		HW: 6.3 af
17	7	leren 7.1, 7.2 + maken opdrachten
		HW: 7.2 af
18	7	leren 7.3 + maken opdrachten
		HW: 7.3 af, leren 7.4
19	7	maken opdrachten 7.4, leren 7.5
		HW: 7,5 opdrachten af
20	8	Eigen keuzeonderzoek uitvoeren.
21		HW: eindverslag maken per groep
22		toets voorbereiden
23		Eindverslag inleveren
24		toets over dit thema

Samenvatting voor leerlingen

Zeker in een thema waarin informatie verwerken een belangrijke vaardigheid is, leek het ons ongewenst om *in* het themaboek geen samenvatting van het thema op te nemen. Toch kunnen we ons voorstellen dat leraren en/of leerlingen behoefte hebben aan een overzicht van de hoofdpunten uit het thema. Daarom hebben we twee samenvattingen in bijlage D2 van deze handleiding opgenomen.

ERVARINGEN

ENKELE ALGEMENE ERVARINGEN VAN LERAREN

Op enkele uitzonderingen na vinden de leraren dit een leuk thema om te doen. De meeste moeite hebben ze met de rapportages en met de differentiële periode die er aan voorafgaat.
Vaak wordt aan het begin van de les over het weer van de dag gesproken aan de hand van de weerberichten en weerkaarten. Sommige leraren laten de leerlingen in groepjes van twee het weer meten en vergelijken met de gegevens van een naburig weerstation en met de voorspellingen.
Als belangrijkste leerervaringen voor leerlingen noemen de leraren:

t.a.v. het weer:
- weerkaarten begrijpen en interpreteren
- dieper inzicht in weersprocessen ('alle regen begint hier als sneeuw')
- zelf weersvoorspellingen kunnen opstellen
- meer kennis omtrent het weerbedrijf
- weer is een zeer complex bedrijf
- goed voorspellen van weer niet eenvoudig
- weer moeilijker dan je denkt
- goede weermetingen niet eenvoudig

t.a.v. natuurkunde:
- toch veel met natuurkunde te maken
- stuk natuurkunde bij hoofdstuk 1 en 2
- zelfstandig metingen doen
- werken met formules

algemeen:
- hoe rapporteer ik
- verslag maken
- zelf dingen opzoeken (hoofdstuk 3, 4, 5)
- werkverdeling in groepen maken

De leraren blijken af en toe wat toe te voegen aan het thema en de lessenplannen van de lerarenhandleiding. Sommigen laten samenvattingen maken door de leerlingen voor elke paragraaf of geven wekelijks een korte toets. Een ander heeft een lijst met leerdoelen gemaakt voor de leerlingen (bijlage D6) Weerberichten worden verzameld en op flappen geplakt.
Een van de leraren heeft aan hoofdstuk 2 een behandeling van de algemene gaswet toegevoegd, inclusief het maken van allerlei opgaven over het kwantitatieve verband tussen p, V en T. We kunnen dat natuurlijk niet verbieden maar we raden het wel af. De gaswetten vallen buiten de context van dit thema en als ze er toch in worden geperst ontkrachten ze de bedoelingen van het thema. Het is verstandiger dit onderwerp los van dit thema aan de orde te stellen in een apart blokje lessen voor de leerlingen die het landelijk examenprogramma volgen.
In alle klassen werd het thema met (al dan niet gedifferentieerd) proefwerk afgesloten. Daarnaast werden vaak toetsen gegeven (vooral na hoofdstuk 2) en werden rapportages, verslagen van keuzeonderzoeken, logboeken en weerrapportjes beoordeeld.

ERVARINGEN VAN LEERLINGEN

In het schooljaar 1983/'84 is het thema Weersveranderingen voor de eerste maal gebruikt. Door Mirjam de Klerk is onderzoek gedaan naar de ervaringen van de leerlingen met dit thema. Een vragenlijst is door 245 leerlingen ingevuld uit 13 klassen van 7 scholen. Twee maal zoveel jongens als meisjes namen aan het onderzoek deel.
Een verslag van dit onderzoek is bij het PLON verkrijgbaar (PLONoz 84-0406). Hieronder geven we een samenvatting van dit onderzoek.

SAMENVATTING ONDERZOEK

De lessen rond het thema 'Weersveranderingen' zijn door de leerlingen als soms (=12%) tot (erg) leerzaam (74%) ervaren. Met name wordt door de leerlingen de differentiatie-periode, waarbij ze kiezen tussen de onderwerpen wolken, neerslag, fronten, als leerzaam beschouwd. In hoeverre de leerlingen het thema naast leerzaam ook interessant vinden krijgen we uit een aantal vragen het volgende beeld: ongeveer 2/3 van de leerlingen vindt het een interessant thema (waarvan de helft te kennen geeft door het onderwerp extra betrokken te zijn geraakt), terwijl 1/3 het thema minder interessant vindt. Ten aanzien van de leerzaamheid en aardigheid van verschillende proefjes en experimenten zijn de leerlingen over het algemeen minder positief. Slechts een kleine 35% is zonder meer positief, terwijl ongeveer 20% een neutraal standpunt inneemt.
Hierbij worden vooral 'lezen, bestuderen' en 'naar de uitleg van de leraar luisteren' als leerzame aktiviteiten genoemd. Gegevens over het rapporteren geven een wat ambivalent beeld; enerzijds komt rapporteren als minder leerzaam uit de bus, terwijl anderzijds rapportages van anderen toch nuttige informatie geven en leuk zijn om te horen (al blijft over de duidelijkheid nog te wensen over) en leerlingen vinden soms onderwerpen leerzaam die ze niet gedaan hebben.
In de ogen van de leerling lijkt het thema noch te moeilijk, noch te makkelijk (slechts 5% vindt de lessen erg moeilijk en 1% erg gemakkelijk). Ook zijn de leerlingen in het algemeen tevreden over de duidelijkheid van het themaboek (30% vindt het minder duidelijk). Wel blijkt de moeilijkheidsbeleving erg samen te hangen met de betrokkenheid (wat bij de meeste PLON thema's niet het geval is).

In het onderzoek zijn twee hoofdschalen gevormd: moeilijkheidsgraad en relevantie-beleving. De laatste is een combinatie van de schalen betrokkenheid en leerzaamheid, die alle met uitzondering van leerzaamheid een redelijke betrouwbaarheid hebben.
Bovengenoemde variabelen hebben betrekking op de beleving van leerlingen ten aanzien van het hele thema; in tegenstelling tot de gehanteerde, meer specifieke variabelen 'interesse voor weersvoorspelling' en 'kennis met betrekking tot weersveranderingen'.
Op basis van deze onafhankelijke variabelen en door middel van de statische techniek van variantie-analyse is nagegaan of en in welke mate achtergronds-variabelen zoals klas, geslacht, het al dan niet doen van een bepaald hoofdstuk, van invloed zijn geweest op de tot standkoming van de scores op de schalen.

ERVARINGEN

Resultaten wijzen uit dat de variabele 'klas' (sfeer, docent, leerlingen etc). in belangrijke mate zowel de algemene themabelevingen als de meer specifieke belevingen (interesse en kennis) beïnvloedt. Met name geldt dit voor de ervaren moeilijkheidsgraad en de betrokkenheid van leerlingen bij de lessen (± 20% verklaarde variantie).
De invloed van geslacht en het al dan niet doen van een bepaald hoofdstuk is in termen van hoeveelheid verklaarde variantie aanzienlijk kleiner dan de invloed van klassen op deze variabelen. Dit wil overigens niet zeggen dat tussen de leerlingen geen (significante) verschillen kunnen optreden. Zo blijkt dat meisjes de lessen rond het thema 'Weersveranderingen' moeilijker inschatten dan jongens en dat jongens het idee hebben meer bekend te zijn met de fysische weersgrootheden. Toch is de getoonde interesse en kennis voor weersveranderingen (althans op bais van deze kennisvraag) dezelfde voor meisjes als voor jongens. Ook treffen we geen verschillen aan ten aanzien van de betrokkenheid bij en de leerzaamheid van de lessen.
Uit deze gegevens (in combinatie met eerder genoemde bevindingen) kunnen we de conclusie trekken dat het thema 'Weersveranderingen' zowel voor jongens als voor meisjes een relevant thema is.
Doordat niet alle leerlingen dezelfde hoofdstukken hebben gedaan, is het niet mogelijk na te gaan of het al dan niet doen van invloed is geweest op de algemene themabevindingen.
Zo blijkt dat leerlingen die bezig geweest zijn met het hoofdstuk neerslag minder betrokken zijn geweest bij de lessen en deze als minder leerzaam ervaren als leerlingen die met wolken of fronten hebben gewerkt. Ook hebben neerslag-leerlingen minder kennis van weersveranderingen dan hun mede-leerlingen. Let wel de invloed is gering. Ook een geringe invloed heeft het bezig zijn met 'weersbeïnvloeding' (hoofdstuk 7) op de betrokkenheidsgevoelens van de leerlingen. Naarmate meer delen uit dit hoofdstuk gedaan zijn, voelen leerlingen zich meer bij de lessen betrokken. Geen verschillen treden op ten aanzien van de ervaren leerzaamheid, noch ervaren moeilijkheidsgraad. Dit ligt anders voor het al dan niet doen van een eigen keuze onderzoek: leerlingen die een eigen keuze onderzoek (hoofdstuk 8) hebben gedaan ervaren het thema in zijn algemeen als moeilijker, maar niet als relevanter.

Omdat er tussen de klassen zulke aanzienlijke verschillen optreden in de belevingen van leerlingen rond het thema, is het niet verantwoord te concluderen dat het onderwerp 'weersbeïnvloeding' (hoofdstuk 7) de betrokkenheid vergroot en het doen van eigen onderzoek het thema moeilijker maakt. Maar toch is het interessant te zien dat het werken aan verschillende hoofdstukken op verschillende wijze de algemene beoordeling (zij het gering) van de thema-periode beïnvloedt.

ORIENTATIE

Bedoeling.

Hoofdstuk 1 is geschreven om de leerlingen te orienteren op de betekenis van het weer voor mens en samenleving. Daarmee kan de relevantie van het thema worden aangegeven. Vervolgens orienteert het ook op themavragen en themaopzet, waarbij aan de orde komt dat het vooral gaat om veranderingen in het weer. Deze zijn belangrijk om iets te begrijpen van de achterliggende processen.
Omdat het om een tamelijk nieuw gebied gaat voor leerlingen is een paragraaf opgenomen om de kennis over eigenschappen van lucht met behulp van eenvoudige proeven op te halen.
De paragraaf over de atmosfeer tenslotte geeft al enige basisinformatie over de belangrijkste grootheden die een rol zullen gaan spelen.

Uitwerking lessenplan.

Er zijn twee lessen te besteden aan een inleiding, het bespreken van enkele vragen en het praktikum (als circuspraktikum of demonstratieproeven). Als inleiding kan een videoband, film of diaserie worden vertoond. Het weer van die dag kan ook een startpunt vormen.

Toelichting bij de opgaven.

Het weer en de mens	1 en 2. Het gaat hier om het oproepen van associaties bij leerlingen. Probeer eventueel anecdotes los te krijgen. Focusseer op de betekenis van het weer voor mensen.
Het weer en de samenleving	1. Bedenk dat de genoemde groepen breed zijn samengesteld. Laat de leerlingen één instantie uit zo'n groep kiezen. Het gaat bij deze opgave om de betekenis van het weer voor de samenleving. Niet te uitvoerig behandelen.
De veranderlijkheid van het weer	1. In dit voorbeeld zijn de variaties tijdens het etmaal groot vanwege een onbewolkte hemel. Bedenk dat begin- en eindtemperatuur kunnen verschillen bijvoorbeeld bij verandering van bewolking of bij naderende fronten. 2. Spreekt voor zich. Ter vergelijking de gegevens over 1980 respektievelijk 1931/1960:

	1980	1931/1960
gemiddelde dag-minima		
januari	-2,3 °C	-1,0 °C
juli	11,8 °C	12,2 °C
gemiddelde dag-maxima		
januari	2,5 °C	4,3 °C
juli	19,7 °C	21,9 °C
laagste temperatuur	-11,0 °C	?
hoogste temperatuur	29,3 °C	?
neerslag	864 mm	765 mm
uren zonneschijn	1427 uren	1572 uren

De hoogste en laagste temperaturen van De Bilt in de periode 1951-1980 (tabel themaboek) waren gemeten in juli 1976 respektievelijk februari 1956. Nadere informatie is te vinden in de jaar- en maandoverzichten van het KNMI en in het CBS-statistisch Zakboek.

Terugblik

1. Konklusies uit proeven eventueel klassikaal bespreken.

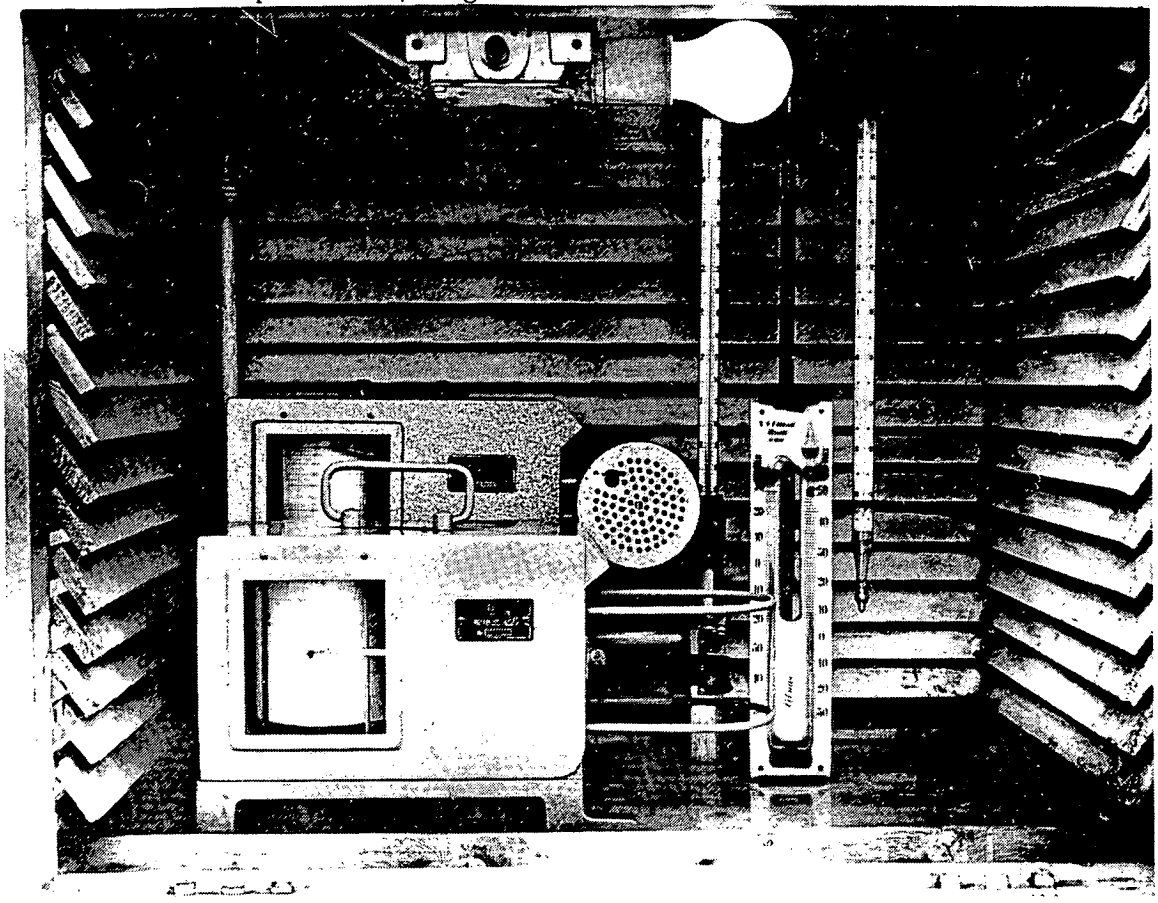
De atmosfeer

1. Bedoeld om via het aflezen de grafieken wat beter te bekijken.
2. 21% van minder lucht per m^3 betekent natuurlijk minder zuurstof per m^3.
3. De dikte van de troposfeer varieert en wordt bepaald door de hoogte van de tropopauze. Gemiddeld neemt men 16 km voor de troposfeer; dan praat men over $\frac{1}{4}$% van de straal van de aarde. Bij een voetbal van straal 15 cm betekent dit een laagje van 0,4 mm.

IN WEER EN WIND
Om greep te kunnen krijgen op de ingewikkelde processen, die in latere hoofdstukken aan de orde worden gesteld, is het nodig dat de leerlingen zich een beperkt aantal basisbegrippen en -vaardigheden eigen maken. Zij moeten de "taal" van het weer en van de weerkundige kunnen verstaan en liefst ook spreken! Daarvoor moeten ze weten hoe weersgrootheden gedefinieerd zijn en hoe ze gemeten worden, ze moeten informatie uit weerkaarten en satellietfoto's kunnen halen en ze moeten een aantal eigenschappen en verklaringen daarvan kennen, te weten: de rol die de zonnestraling speelt bij de temperatuuropbouw van de atmosfeer, eigenschappen van waterdamp in lucht en de oorzaak van het waaien van wind. Het eerste vindt zijn belang in de mate waarin luchtvervuiling hinderlijk is, het tweede vooral in het proces van wolken- en neerslagvorming en het derde met name in de verschijnselen, die gepaard gaan met drukgebieden en fronten.

Bespreking per paragraaf:

2.1 HET WEER GEMETEN.
De bedoeling
Het is nodig te weten welke grootheden bij het weer en de veranderingen daarin een rol spelen, voordat je tot een beter begrip kunt komen van de processen, die verlopen.
Door de leerlingen zelf een aantal van deze grootheden te laten meten, gaan deze meer voor ze leven, ze krijgen beter greep op de natuurkundige definitie ervan en ze ervaren iets van de belangrijke rol die meetomstandigheden spelen bij weerswaarnemingen.
Het is (nog) niet de bedoeling een uitgebreide systematische behandeling van de gekozen grootheden temperatuur, luchtdruk, relatieve vochtigheid en wind de geven. De in de paragraaf opgenomen definities en formules dienen dan ook meer als kennismaking en vingeroefening.
Voor de leerlingen behoort de *"weersgroothedentabel"* leidraad te zijn bij de onderzoekjes. Als een soort samenvatting komt hierin ook te staan wat ze na afloop van de paragraaf moeten weten.



Uitwerking lessenplan

- Aan het begin van par. 2.1 moet aan de leerlingen duidelijk worden gemaakt wat het einddoel is; laat de leerlingen het kader van de weersgroothedentabel maken, voordat ze een keuze doen uit een van de onderzoekjes.
- Vervolgens moeten de leerlingen in kleine groepjes een of meer van de onderzoekjes doen. Deze opzet lijkt goed geschikt om als leraar eens de groepen zelf in te delen; het gaat immers om korte, tamelijk gesloten opdrachten, waarbij aan de sociale omgang binnen de groepjes wat minder hoge eisen worden gesteld; verder is het een efficiente manier om de groepssamenstelling en de verdeling van de onderzoekjes te regelen.
- Aan het doen en uitwerken van de onderzoekjes kan ongeveer dan 1 les besteed worden.
- Na afloop van de onderzoekjes kunnen de groepen elkaar kort informeren over de resultaten, voorzover die bruikbaar zijn voor het invullen van de weersgroothedentabel (zie figuur).

grootheid	definitie	eenheid	meetinstrument	juiste meetomstandigheden
temperatuur (T)	maat voor warmte inhoud $T = t+273$	°C of K	kwikthermometer vloeistofthermometer	thermometerhut, 1,5m hoogte geen direkte zonnestraling geen neerslag goede ventilatie
luchtdruk (p)	$p = F/A$	mbar, N/m^2	aneroide barometer	geen tocht of warmtebronnen trillingsvrije ophanging, zeeniveau
relatieve vochtigheid (e)	$e = Pd/Pd,max \times 100\%$	%	haarhygrometer psychrometer	psychrometer, konstante luchtstroom en bevochtiging
wind	richting: hoek t.o.v. het noorden		windvaan	10 m boven de grond op vlak en open terrein
	snelheid: verplaatsing lucht per sekonde	m/s, km/h Beaufort	anemometer (windsnelheidsschijf)	($x \geqslant 10h$)

Zoals gezegd is het de bedoeling dat alle leerlingen de inhoud van de tabel kennen. Ook zouden ze de eerste twee vragen uit elk onderzoekje moeten kunnen beantwoorden. Daarbij zullen ze waarschijnlijk aangespoord moeten worden om ook de tekst van de andere onderzoekjes door te nemen.

- Tot slot kan kort worden aangegeven, dat er ook andere belangrijke, te meten weersgrootheden zijn. De vragen aan het einde van par. 2.1 zijn bedoeld om nog wat te oefenen. Om de eigen beslissing van de leerlingen hierover te benadrukken kunnen van deze opgaven de antwoorden tevoren worden gegeven.

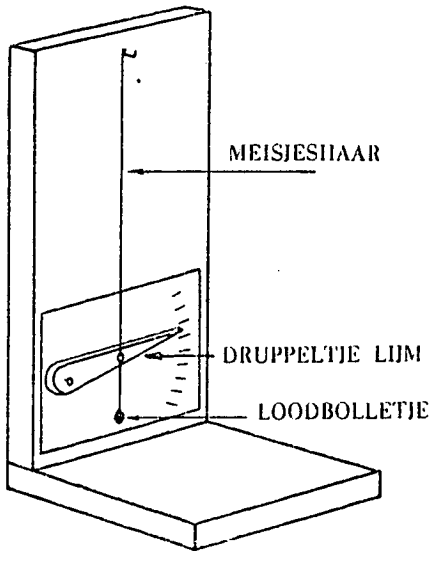
De onderzoekjes.

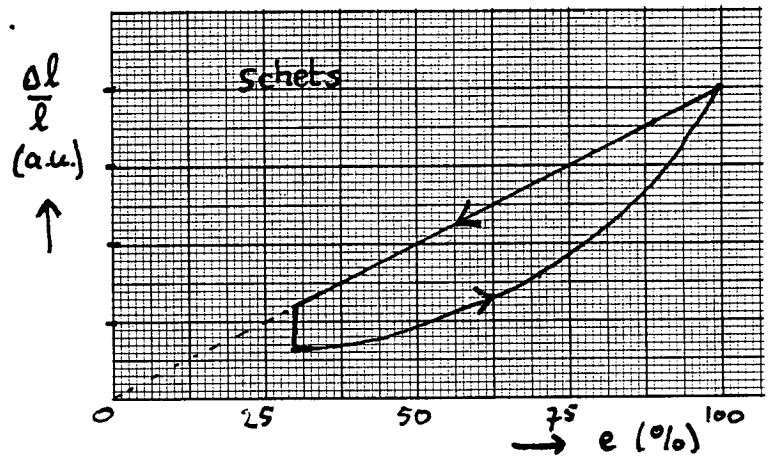
- Centraal staan de volgende drie onderzoeksvragen:
  - Hoe is de betreffende weersgrootheid gedefinieerd en wat is de bijbehorende eenheid?
  - Hoe en met welk meetinstrument meet je hem?
  - Wat zijn de voorgeschreven, officiele meetomstandigheden?

  Deze laatste vraag heeft niet de bedoeling feitelijke kennis aan te brengen, maar meer om een *gevoel* voor het belang van gelijke meetomstandigheden om een *vergelijkbare* waarneming van een weersgrootheid te verkrijgen.
- De vragen in de onderzoekjes hebben een orienterende bedoeling en moeten niet te zwaar worden opgepakt.
- Bij elk onderzoekje is een stukje informatie opgenomen van uiteenlopende aard. Deze stukjes (in kaders) hoeven niet gekend te worden, maar ze moeten wel worden doorgelezen.

De experimenten.

- De leerlingen zullen vooral moeite hebben met de wat open gestelde opdracht over het "eerlijk vergelijken" van de diverse faktoren die op de meting invloed kunnen hebben.
  Er wordt bedoeld, dat je bijvoorbeeld niet twee temperatuurmetingen moet vergelijken, waarbij de eerste in volle zon en zwaaiend plaats vond en de andere in de schaduw en stilhangend.
- Bij de meting van de relatieve vochtigheid wordt een simpele haarhygrometer gebruikt. Een regelmatige ijking van het apparaat op 100% vochtigheid is ook belangrijk, omdat de haar een soort hysterese vertoont: als hij droger is geweest dan ongeveer 30% verloopt de uitrekking bij toenemende vochtigheid volgens een andere kromme dan te voren. Pas bij blootstelling aan verzadigde lucht komt de haar weer op zijn oorspronkelijke curve (zie figuur).
  Er is voor gekozen om niet met de meer gebruikelijke psychrometer te laten meten. Dit om twee redenen:
  - de meetprocedure is omslachtiger en daardoor zou het onderzoekje zwaarder worden dan de andere onderzoekjes
  - er zou verwarring kunnen ontstaan tussen de natte bol temperatuur en het later te behandelende dauwpunt (par. 2.4).





- Voor het meten van de windsnelheid zijn diverse mogelijkheden, waaronder een redelijk nauwkeurige zelfbouw-anemometer. Zie hiervoor bij de apparatuurgids.

Overige bijzonderheden.

- In elk onderzoekje van par. 2.1 wordt een eenvoudige formule gepresenteerd. Deze hebben o.a. tot doel de leerlingen met verschillende typen formules kennis te laten maken. We lichten ze hier kort toe:

$T = t + 273$: het verband tussen absolute temperatuur en de temperatuur in °C moeten de leerlingen kennen, zonder dat ze precies de relevantie van de absolute temperatuur hoeven te weten (in par. 2.4 wordt daarover kort iets gezegd in verband met de relatie tussen p en T).

$p = \frac{F}{A}$: ook hiervoor geldt dat de leerlingen deze formule moeten kennen, vooral om de herkomst van het begrip druk en van de eenheid ervan (N/m^2) te begrijpen. Verder is de formule en een dieper inzicht in het verschil tussen druk en kracht in de kontekst van het weer niet vereist.

$e = \frac{Pd}{Pd,max} \times 100\%$: een centrale formule, ook voor het begrijpen van en rekenen aan wolken (hoofdstuk 3). De begrippen water-dampdruk en maximale waterdampdruk kunnen hier echter nog helemaal duidelijk worden: dat gebeurt pas goed in par. 2.4.

$x \geqslant 10\ h$: een formule, die wat ons betreft, niet gekend hoeft te worden maar waarmee eventueel een eenvoudige opgave moet kunnen worden gemaakt.

Toelichting op de opgaven.

Temperatuur
1. *Gevoeligheid* is een begrip dat de leerlingen uit de onderbouw zouden moeten kennen.
2. Een vraag die lijkt uit te nodigen dieper op het verschil tussen T en t in te gaan: niet doen!

Luchtdruk
5. Laat de leerlingen zich ook realiseren dat 10N overeenkomt met 1 kg, dan spreekt deze vraag nog wat meer.
6. Kleine oefening met de formule (kan toch al lastig zijn!)

Relatieve vochtigheid
9. Later in par. 2.4 is er nog uitgebreid mogelijkheid om dit soort vragen te oefenen; in dit stadium waarschijnlijk nogal lastig.

Wind
14. Zuidwestenwind! Het probleem van het vlaggetje en de bijbehorende windrichting wordt groter als je kijkt naar de vlaggetjescode op de weerkaarten; daar geeft het vlaggetje de richting aan waar de wind *vandaan* komt.

Keuze opgaven
20. Als eerste aanzet tot het berekenen van een gradient.

2.2 WEERKAARTEN

De bedoeling

In deze paragraaf worden de belangrijkste informatiebronnen van de meteoroloog besproken:
- de waarnemingen van weerstations
- de daaruit samengestelde weerkaarten
- de satellietfoto's

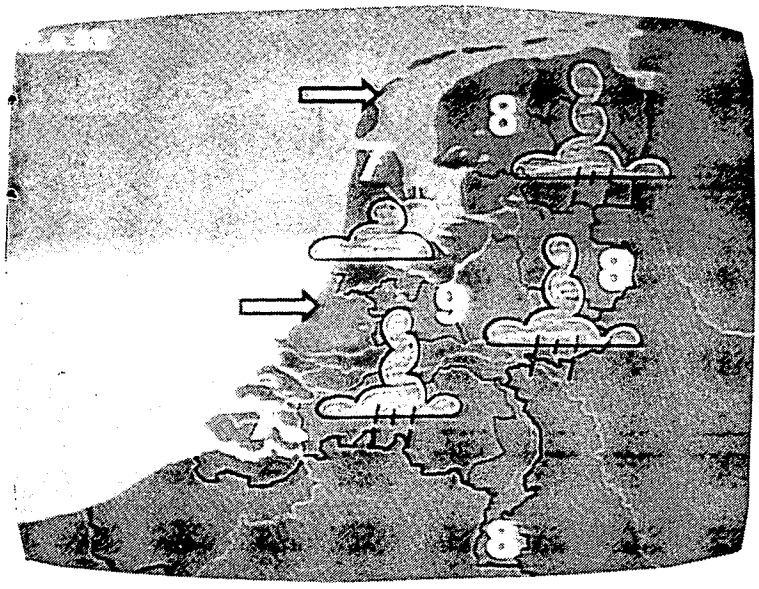
De leerlingen moeten de informatie uit een weerkaartje ook kunnen lezen; in hoofdstuk 6 spelen die weer een belangrijke rol om iets van de weersvoorspelling te begrijpen. Satellietfoto's zijn regelmatig op de televisie zichtbaar en spreken erg tot de verbeelding. Het zal echter voor de leerlingen (net als voor ons!) een verrassing zijn te merken hoeveel informatie daar eigenlijk in zit en wat je er niet allemaal uit kunt halen. Overigens wordt hier ook maar een tipje van de sluier opgelicht. Geinteresseerde leerlingen kunnen in hoofdstuk 5, in de keuzeperiode of zelfs op het VWO, waar in klas 6 een thema Satellieten gepland is, beter tot hun recht komen.
Als afronding op het leren van de "taal" van de meteoroloog is een klasseaktiviteit opgenomen: "Weerberichten verzamelen".
Een doel hiervan is om de leerlingen in hoofdstuk 6 de betrouwbaarheid van weerberichten te laten bepalen, waarbij het ons veel stimulerender lijkt om met eigen weerberichten te werken, dan met bijvoorbeeld voorgedrukte uit het themaboek (doorgestoken kaart!). Hopelijk is dit voor de leerlingen belangrijk genoeg om deze aktiviteit tot een succes te maken.
Een nevendoel van het verzamelen is om de leerlingen kennis te laten maken met de grote diversiteit aan weerberichten en het verschil in doelgroepen. Maar hiervoor krijgt u de leerlingen waarschijnlijk wat moeilijker op de barrikaden.

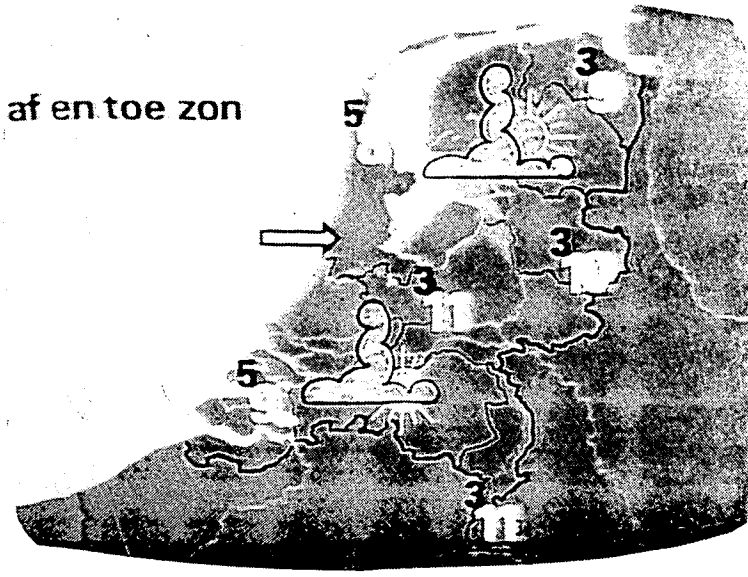
Uitwerking lessenplan.

- Deze paragraaf leent zich goed voor zelfwerkzaamheid van de leerlingen. Wel is het handig om samen met hen de "vlaggetjescode" te bespreken. Ook is de tekst bij het onderwerp satellietfoto's niet zo uitputtend. Termen als albedo en infraroodstraling, positief en negatief, hebben zeker enige toelichting nodig.
  Natuurlijk kan er ook voor gekozen worden om de vragen samen met de leerlingen door te nemen. Maximaal is er één les beschikbaar in het lessenplan.
  Het is niet de bedoeling uitgebreid op de mechanica van satellieten in te gaan. Dit wordt kort aangestipt, maar kan als bezuiniging op hoofdstuk 2 ook worden overgeslagen.
- Het is beslist noodzakelijk om voor het organiseren van de doorlopende klasseaktiviteit "Weerberichten verzamelen" enige lestijd uit te trekken. Dit geeft, hopelijk ook aan leerlingen, iets aan van het belang van het welslagen van de aktiviteit.
- De leerlingen moeten met nadruk gewezen worden op de beoordelingsopdracht in hoofdstuk 6. Omdat het nog niet zo eenvoudig is om die beoordeling van de betrouwbaarheid te maken, moeten er zoveel mogelijk weerberichten en weerrapporten beschikbaar zijn. (U bent verzekerd van een volledige set als u tijdens het doen van het thema geabonneerd bent op het dagelijks weerbericht van het KNMI.)
- Omdat het thema "Weersveranderingen" nog vroeg in de kursus geplaatst is, zult u de afspraken over het verzamelen enigszins moeten begeleiden. Een mogelijke manier om dit te doen is:
  - op 1 flap verzamelen van de verschillende informatiebronnen die beschikbaar en/of haalbaar zijn (radioberichten uitsplitsen naar soort en ook verschillen in kranten inventariseren en opnemen).
  - de data noteren van de komende twee weken
  - in de ontstane matrix van bijvoorbeeld 7 (bronnen) x 10 (data) tekenen leerlingen individueel in op drie tijdstippen wanneer zij het weerbericht willen opnemen of uitknippen; ook kunt u de tijdstippen gewoon verdelen.

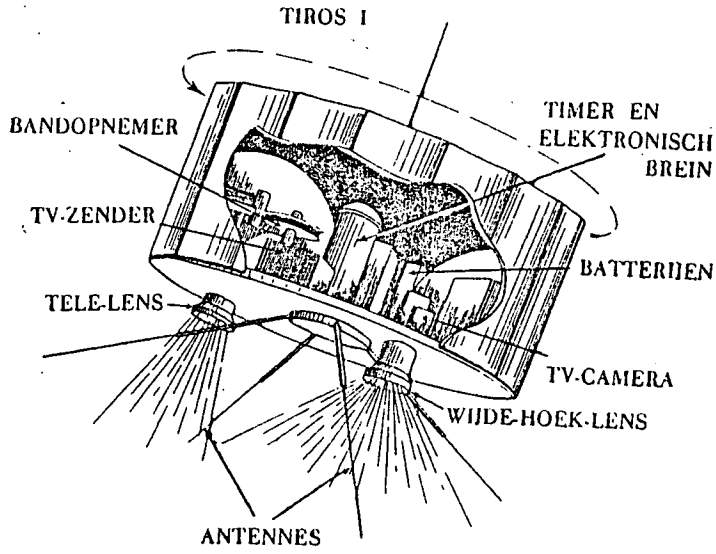
  Een andere manier is om kleinere groepen verantwoordelijk te stellen voor een soort bron. De totale hoeveelheid informatie zal dan groter zijn, de kennismaking met de diversiteit wat minder.
- De suggestie om de berichten te verzamelen in een logboek werkt vooral goed voor die leerlingen, die in deze aktiviteit nogal wat energie stoppen. Waarschijnlijk is een muurkrant als verzamelplaats voor de klas als geheel meer motiverend. In beide gevallen lijkt het een leuk idee, elke komende les te beginnen met een weerbericht, om daar zo de aandacht op te vestigen. Overigens zullen de leerlingen in de loop van het thema merken dat steeds meer details uit die weerberichten duidelijk worden en ook dat bepaalde verbanden te leggen zijn.
  Praat er met hen maar over!
- De weerrapporten van het KNMI hebt u pas enkele dagen na dato binnen. Om actueler te zijn kunt u de weerkaarten uit de krant van die ochtend op een overhead-sheet kopiëren.

Overige bijzonderheden.





- De in het themaboek afgedrukte weerkaartjes blinken niet uit in grafische duidelijkheid, behalve misschien de televisiekaart. Maar dit is wel de realiteit! Zo is het verschil tussen isobaren en frontlijnen niet altijd duidelijk te zien, naar de luchtdrukwaarde van een isobaar moet je echt wel even zoeken, de ⌇ en de ⌇ zijn niet altijd duidelijk herkenbaar, bij het vlaggetje moet je goed onderscheid maken tussen de "stok" (daar komt de wind *vandaan)* en de dwarsstreepjes (aanduidingen voor de windkracht), de bewolkingsgraad is officieel in achtsten weergegeven, maar aflezen in kwarten lijkt vaak het maximaal haalbare en tenslotte zijn de tekentjes uit de ww-kode niet altijd duidelijk afgedrukt. U kunt ze de leerlingen het beste presenteren als informatieve *zoekplaatjes*.
  In bijlage I1 van deze AVOL vindt u de volledige ww-kode.
- De in par. 2.2 afgedrukte satelietfoto's zijn afkomstig uit een Engels lespakket. In bijlage D3 vindt u nog meer informatie over deze foto's (eventueel te gebruiken voor een groepje in de keuzeperiode).
- Een blanco weerkaart voor het ontwerpen van een toetsvraag is bij de verzameling sommen in bijlage D5 opgenomen.

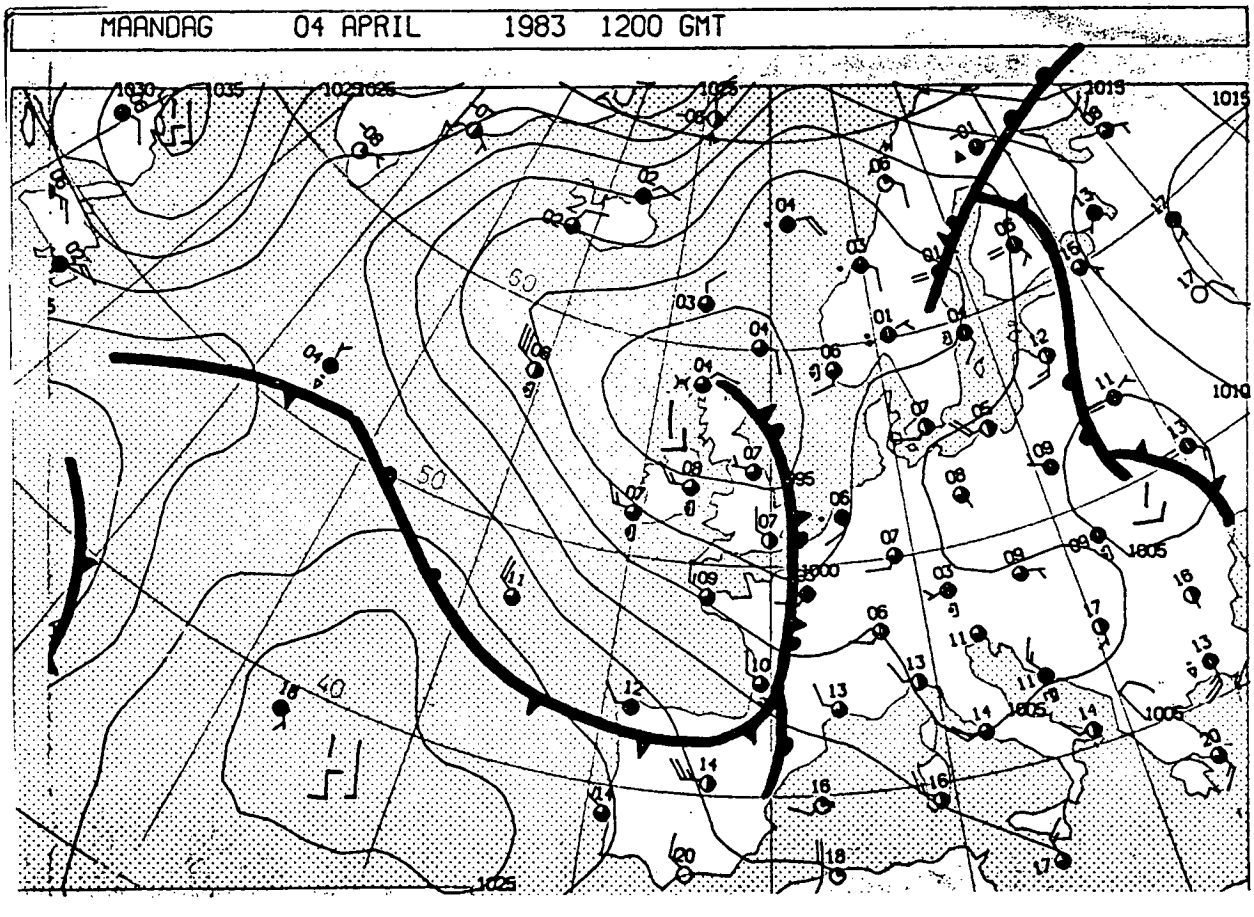


— *Schema van een Tiros-weersatelliet.*

Toelichting op de opgaven.

1. Weerkaarten lezen.

1. "Duidelijk" is voor tweeerlei uitleg vatbaar:
   - het beste leesbaar, overzichtelijk of - met de meeste informatie; de opgave kan de leerlingen duidelijk maken, dat deze twee eisen soms tegenstrijdig zijn met elkaar.
2. De bedoeling is, dat ze de goede vlaggetjes decoderen.
4. Deze vraag probeert vast te orienteren op het onverwachte verschijnsel, dat de windrichting praktisch evenzijdig is aan de isobaren; hierop wordt in par. 2.5 dieper ingegaan.
5. Moeilijk om dat te "zien"; bij een H is de wind *met* de wijzers van de klok mee, bij een L juist andersom; in hoofdstuk 5 wordt hierop verder ingegaan.
6. Door de grofheid van de gegevens zijn de lijnen niet helemaal goed te trekken; het bijbehorende isobarenpatroon is op bijgaand kaartje af te lezen.



2. Satelliet foto's bekijken

1. De foto's zijn op 13 mei 1979 genomen om 1200 GMT; een vraag om nog wel even bij stil te staan, omdat de warmtestraling voor leerlingen nog behoorlijk vreemd zal zijn.
2. Verraderlijk: erg koud — weinig warmtestraling — weinig zwarting van het infraroodnegatief — witte kleur!
3. De zee-mist heeft ongeveer de temperatuur van de zee; een aanleiding om in te gaan op de informatie die je juist uit de verschillen tussen daglicht en infrarood-opnames kunt halen.
4. Hoog en tamelijk dun; het eerste is af te leiden uit de infraroodopname, het twee uit de daglicht-foto (het *albedo* is klein).
5. IJs is op infrarood-foto's bijna niet te zien.

3. Satellieten

1 en 2. Als toegift voor geinteresseerden. Het antwoord op -2- is: ongeveer 7 omwentelingen in 12 uur — breedte strook $\cong \frac{2 \times 10^4}{7}$ km (gemeten langs de evenaar).

2.3 AARDE EN ATMOSFEER

De bedoeling

De paragrafen 2.3 t/m 2.5 komen wellicht wat afstandelijker (abstrakter) en minder ter zake doende over, dan de eerste twee paragrafen van dit hoofdstuk.
Er is echter zo zorgvuldig mogelijk afgewogen, wat een minimale keus is van begrippen en relaties om zaken, die in de komende hoofdstukken gaan spelen, te kunnen begrijpen.
Daarbij is steeds gezocht naar een relevante probleemstelling met een zekere verrassende uitkomst.
Zo is het de bedoeling van deze paragraaf 2.3 om de leerlingen enig inzicht te verschaffen in de motor van het hele weergebeuren (de zonnestraling)en in de normale temperatuuropbouw van de onderste laag van de atmosfeer. Probleemstellingen die daarbij worden opgeroepen zijn:
- waarom wordt de aarde door de zonnestraling *niet* steeds *warmer*
- hoe kan die zonnestraling *luchtbewegingen* veroorzaken en
- hoe kan de *temperatuur* naar boven toe in de troposfeer *afnemen*?

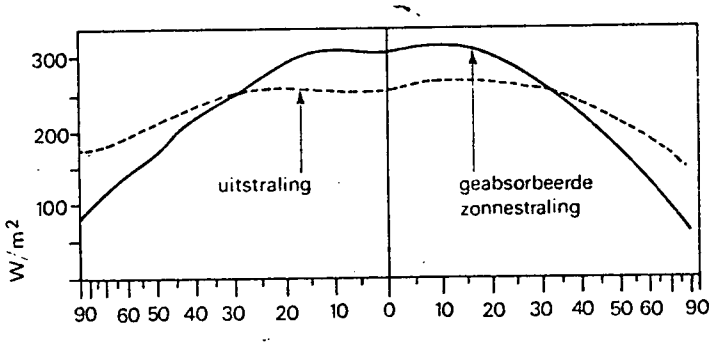
Nevendoelen zijn: het omgaan met een energiebalans, het introduceren van het begrip "Kringloop" en het ervaren van de temperatuurverlaging bij uitzetting.

Overigens moet het experiment in de klassen natuurlijk uitsluitsel geven of dit soort probleemstellingen en doelen haalbaar zijn met 4-HAVO-leerlingen in het begin van de kursus.

Uitwerking lessenplan.

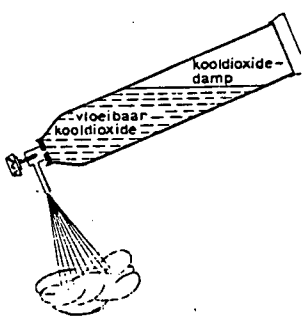
- Het is, denken wij, beslist noodzakelijk om het verhaal over de energiebalans klassikaal te begeleiden. Hierbij kan de dia van de energiebalans (fig. 2.31 uit het themaboek) (beschikbaar bij het thema "Kringlopen") of een transparant goede dienst bewijzen.

- Voor de ongelijkmatige verwarming van de aarde kunnen de leerlingen waarschijnlijk zelf wel een aantal redenen bedenken. Bijgaande grafiek geeft nog eens het resultaat weer van die verschillen. Het kringloop karakter van de grote luchtcirculaties levert ons inziens niet al te veel problemen. De meeste leerlingen zullen tamelijk vertrouwd zijn met het idee dat warmte lucht stijgt en de verklaring daarvan. Een soorgelijke kringloop wordt overigens nog in par. 2.5 behandeld: de zee- en landwind.



- De temperatuuropbouw van de atmosfeer zal de meeste leerlingen op dit moment een zorg zijn! Daarom is het belangrijk om ze te doordringen van de verrassing die de uitzettingsproeven opleveren en het gevolg daarvan voor het temperatuurprofiel van de troposfeer.
- Ook hier is de verder verdieping van temperatuurprofielen bedoeld als extra onverplichte informatie. Vooral als de leerlingen gemotiveerd zijn om de relevantie van een temperatuurprofiel te begrijpen, is dat theoretische kader leuk om te doen. Een en ander hangt ook af van de behandeling van hoofdstuk 7, zie aldaar.
- We zouden het knap vinden als leraar en leerlingen par. 2.3 in de ene les, die ervoor staat, rond krijgen!

De experimenten.



- Het proefje met de fietsband is ook door leerlingen thuis uit te voeren.
  De ervaring met de proef met de koolzuurcilinder is dat het verschijnsel spektakulair overkomt. Nog verrassender - maar ook onbegrijpelijker - is de proef als de cilinder op zijn kop wordt gehouden. Er ontstaat dan koolzuursneeuw! Wel is het zo, dat de leerlingen dit verschijnsel daarna niet licht meer zullen vergeten.
- Beide proeven zijn in eerste instantie bedoeld als demonstratieproeven door de leraar.

Overige bijzonderheden.

- Over temperatuurprofielen is uiteraard veel meer te zeggen. Zo wordt ingegaan op het onderscheid tussen het vertikale evenwicht van lucht en de betekenis daarvan. Meer diepgaande informatie hierover is bijvoorbeeld te vinden in boekjes over de keuzegroep "natuurkunde van de atmosfeer" voor 6-VWO of in het boek "Inleiding tot de Meteorologie" van Dr. F.H. Schmidt.
- Het ligt voor de hand dat de diskussie over het minteken in de formule $T_h = T_o - \gamma h$ wel weer zal oplaaien. Als "temperatuurgradient" behoort γ zelf eigenlijk negatief gerekend te worden: de richtingskoefficienten van de grafieken uit fig. 2.36 is het themaboek zijn immers ook negatief. Toch blijkt een dergelijke definitie erg veel verwarring te geven (en niet alleen bij leerlingen). Daarom hebben we toch voor deze representatie gekozen. Logisch gezien is wel de konsekwentie dat je bij een inversie een nieuwe grootheid: temperatuurstijging per meter zou moeten invoeren.

Toelichting op de opgaven.

1. De energiebalans	1. Een vraag om de orde van grootte van de hoeveelheid zonnestraling beter op waarde te kunnen schatten. 2. Weten de leerlingen nog wat warmtestraling is? 3. Onbeantwoordbaar voor leerlingen; het gaat om de energie(warmte), die bij kondensatie van de waterdamp weer vrij komt. 4. Diskussie-vraag
2. Kringlopen	Om te kontroleren of ze dit uit de onderbouw (nog) weten.
4. De temperatuuropbouw	1. Luchtbellen, ook van verontreinigde lucht (rook e.d.) zullen nauwelijks meer opstijgen. 2. Zeer stabiel; teken de temperatuurkromme van een opstijgende luchtbel maar!

2.4 VOCHTIGE LUCHT

De bedoeling.

In deze paragraaf wordt de rol van water en waterdamp in de lucht nader bekeken. Daarbij zijn de eigenschappen van waterdamp in de lucht van belang voor de vorming van wolken, voor mist- en regenvorming, voor het herkennen van fronten. Door deze centrale rol in het weergebeuren beinvloedt het ook de meer subjektieve beleving van mensen met betrekking tot het weer sterk. Uiteraard is het water in de waterkringlopen zeer bepalend voor de ontwikkeling en het bestaan van alle soorten van leven. Nu is het niet de bedoeling dat de leerlingen dit allemaal in par. 2.4 aan zullen treffen. Het is slechts de achtergrond van waaruit het noodzakelijk is om aan vochtige lucht aandacht te schenken.

De leerlingen zouden uit deze paragraaf moeten leren dat:
- waterdamp een bestanddeel is van lucht
- waterdampdruk een bestanddeel is van de totale luchtdruk
- waterdampdruk een maximumwaarde heeft, die afhangt van de temperatuur
- het dauwpunt gebruikt kan worden om de relatieve vochtigheid te bepalen.

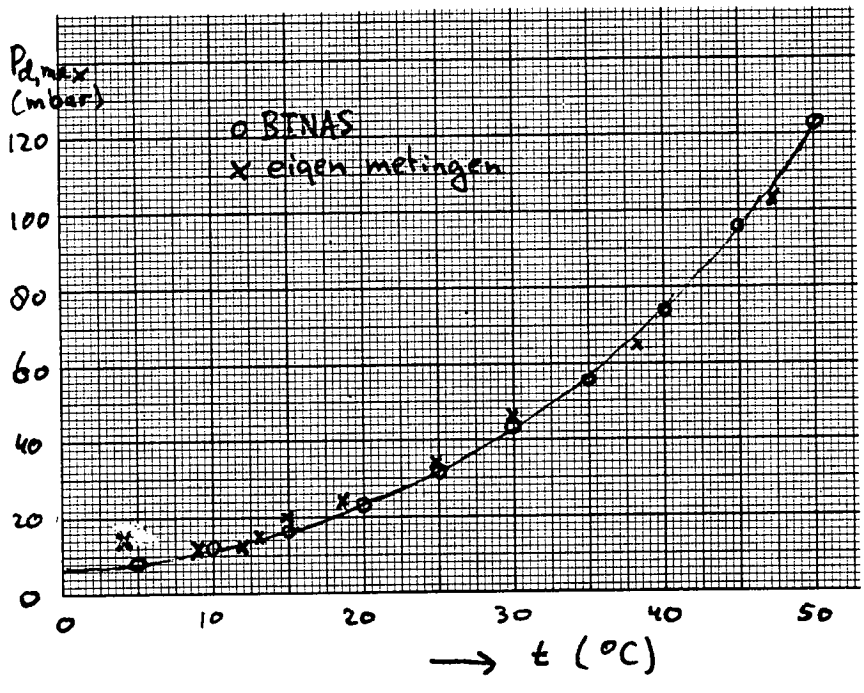
Uitwerking lessenplan.

- Voor deze paragraaf is ongeveer anderhalve les gepland. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de leerlingen kwalitatief iets afweten van de relatie tussen luchtdruk en temperatuur in een gesloten ruimte (zie ook par. 1.4 uit de orientatie).
  U kunt deze wetenschap als het ware afbeelden door nog een keer de relatie tussen p en T in grafiek op bord te tekenen.
- Het onderzoek is weer primair bedoeld als demonstratieproef door de leraar.*
  Door de resultaten direkt aan te geven in het al getekende diagram op het bord, is de verrassende uitkomst van de proef goed zichtbaar. Het is wel veilig ook de grafiek in te tekenen volgens de waarden uit het BINAS-tabellenboek. Dit om een voor uzelf al te verrassende uitkomst te voorkomen!
- De molekulaire achtergrond van deze verschijnselen kan beter eerst als leestekst worden opgegeven. Het lijkt wel zinnig hierover nog na te praten, omdat het en passant ook wat inzicht geeft in het molekulaire verklaringsmodel voor druk en temperatuur.
- Aan het einde van de les kunnen de leerlingen zelf de relatieve vochtigheid via het dauwpuntsproefje bepalen. De ervaring met dit proefje in het thema "Kringlopen" was, dat je het beter eerst door de leerlingen kunt laten doen, waarbij de uitwerking als een soort procedure is voorgeschreven.
  Het echt begrijpen van de procedure is van later zorg, voor sommige leerlingen lijkt dit zelfs onhaalbaar.
- De uitwerking van het proefje en de vragen kunnen de volgende les besproken worden.

*Dat deze proeven als het ware meer naar de leerlingen toe is geschreven, heeft twee redenen:
- het realiseert wellicht een betere betrokkenheid van de leerlingen
- het stelt de leraar in staat om de proef toch als leerlingexperiment te laten uitvoeren.

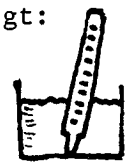
De experimenten.

- Het onderzoek naar de maximale druk van waterdamp is overgenomen uit het thema "Kringlopen". De ervaringen hiermee waren wisselend. Duidelijk is wel dat de oorspronkelijke opzet waarin gebruik gemaakt werd van een olie-manometer, niet zo goed lukte. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat de olie ook voor een zekere dampspanning blijft zorgen. De beste resultaten zijn dan ook met een kwikmanometer te verkrijgen. Meetresultaten die wij met deze proef verkregen, staan weergegeven in bijgaande grafiek.

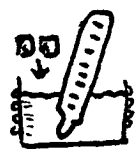


Daarbij zijn we ons bewust van de diskussie over "kwik in de klas". Tegenstanders zijn tegen élk voorkomen van kwik, ook in thermometers en manometers, vanwege het altijd aanwezige risico van breuk. Anderen wijzen vooral het gebruik van kwik in open proefsituaties of voor leerlingproeven af. U zult hierin zelf een keus moeten maken.
Een alternatief voor deze proef is opgenomen in bijlage D4 waarbij gebruik wordt gemaakt van twee bolkolven. De een is droog, de ander gevuld met vochtige lucht. Beide worden tegelijkertijd verwarmd. Drukverschillen zijn af te lezen met water-manometers.

- De leerlingproef om de relatieve vochtigheid te bepalen is tamelijk makkelijk uit te voeren. De meet- en rekenprocedure is daarbij als volgt:

☐ 

meetbegintemperatuur van het water = T_o

☐ 

voeg ijs toe en roer totdat er condens op de buitenkant zichtbaar is (goed kijken!)

☐

meet nu de temperatuur van het water = dauwpunt = T_d

☐ zoek de varzadigingsdruk op bij T_o en bij T_d

☐ relatieve vochtigheid = $\frac{p_{verz,\ Td}}{p_{verz,\ To}}$

- Op het moment dat wij deze AVOL schrijven is nog niet bekend of het EPEP-HAVO als uitgangspunt voor de proefscholen geldt. Als het nodig is enige aandacht te schenken aan de algemene gaswetten, dan kunnen er wellicht enige leerlingproeven uit het thema "Kringlopen" gebruikt worden.

Toelichting op de opgaven.

Relatieve vochtigheid

8. Dat is dus niet zo makkelijk!
9. Een opgave ontleend aan een meetmethode die in hoofdstuk 3 voor het bepalen van de wolkenbasis belangrijk is.
10. De vraagstelling is hier omgekeerd aan die van het experimentje.
11. Loopt vooruit op hoofdstuk 3; bij c) wordt wolkenvorming bedoeld.

2.5 WIND

De bedoeling.

Over wind praten op een natuurkundig verantwoorde manier kan gemakkelijk tot behoorlijke niveauproblemen leiden: zie bijvoorbeeld de uitwerkingen die daaraan in de keuzegroep Weerkunde voor 6-VWO zijn gegeven.
Toch willen we ook in dit thema niet heen om het ontstaan van wind en het

verkeerde beeld, dat de wind blaast van een gebied met hogere druk naar een gebied met een lagere druk. Dit betekent dan ook onvermijdelijk enige aandacht schenken aan het *Coriolis-effekt*. De verwachting is, dat de leerlingen dit op zijn minst een verrassend verschijnsel vinden, waardoor ze ook gemotiveerd zijn iets dieper over de achterliggende oorzaken van wind en windrichting na te denken.
De bedoeling van deze paragraaf is niet dat de leerlingen formules kennen of kunnen afleiden voor winden, of dat ze de corioliskracht kunnen uitrekenen.
Belangrijk is wel dat ze zien dat drukverschillen en de draaiing van de aarde *samen* verantwoordelijk zijn voor het stromingspatroon van de lucht.

Uitwerking lessenplan.

- Het is onmogelijk de hele paragraaf over wind in 1 les te behandelen. Wij zien dan ook het kader over de Coriolis-kracht, het laatste onderdeel over wind bij het aardoppervlak en enkele vragen als onverplichte toegiften.
- De zeewind kan als kringloop gepresenteerd worden, zodat er een soepele overgang wordt gemaakt van de grote globale circulatie naar de kleinere luchtstromingen. De verklaring van de zeewind sluit ook aan op voorkennis en kan in een klassegesprek besproken worden.
- De invoering van het Δ-symbool gebeurt wat luchtig en het formele denken in veranderingen van grootheden komt in latere thema's nog wel uitgebreider aan de orde.
- De demonstratieproef over waterstralen op een draaibare schijf is zeer verrassend. Belangrijk is dat de leerlingen de vertaling maken van de modelproef naar de werkelijkheid. Ze moeten zich daarbij voorstellen, dat ze op de schijf staan en de waterstraal (luchtstroming) boven zich zien.
- Het moeilijkst zal ongetwijfeld zijn om de effekten van drukkracht en Corioliskracht aan elkaar te praten met behulp van fig. 2.54 uit het themaboek. Het lijkt er op of de vektorvoorstelling van krachten hier ingesmokkeld wordt. Dat is uitdrukkelijk niet de bedoeling! De pijlen geven een aanduiding van richting en grootte van de beide krachten en van de bijbehorende windsnelheid, die dimensioneel dus niet met elkaar kloppen.
  Het toenemen van de grootte van de pijl van de Corioliskracht is hierbij wel een didaktisch probleem. Zie bijlage I2 voor de manier waarop Bodin in "Weather and Climate" zich daaruit weet te redden.

De experimenten.

- Het onderzoek aan bewegende waterstralen zal niet al te veel problemen opleveren. Om lijn in de konklusies te krijgen is het handig elk experimentonderdeel te beschrijven met een tekening waarin draairichting schrijf, spuitrichting waterstraal en de afgebogen waterstraal zijn getekend. Ook kunnen hierbij de figuren van opgave -4- gebruikt worden.

Toelichting op de opgaven.

Wind door drukverschillen

1. Ook hier is het niet de bedoeling om te spreken over negatieve veranderingen; er wordt alleen beoogd een keer met het Δ-symbool te oefenen.
3. Hier zullen de leerlingen zelf nogal moeite mee hebben; niet te veel aandacht geven.

temperatuurgradient $\gamma = \frac{\Delta T}{\Delta h}$

5. Coriolis-kracht

1. Als verwerking van het experiment.
2. Intuitief op basis van het experiment te beantwoorden: relevante variabelen zijn de omwentelingssnelheid en de snelheid van de luchtstroom.
3. Pittige vraag, die aansluit op het kader in het themaboek; nodig voor een goed begrip van de figuur.

6. Windsnelheid

In het kader van het omgaan met vreemde, ingewikkelde formules; op zich zal het voor leerlingen wel aardig zijn te ontdekken dat windsnelheid uit te rekenen is! De 10 m/s van de figuur komt er niet helemaal uit, omdat je in feite een lagere dichtheid moet nemen!

Oefenvragen

7 en 9. Hier wordt gevraagd naar de notie dat wrijving op zich de windrichting beinvloed.

10. Aktiviteit 6. nu op een echte situatie uitgeprobeerd; voldoende uitdagend voor de leraar?
11. Het is onduidelijk wat nu precies dè wet van Buys Ballot is; zoals hij hier geformuleerd staat heb je er in de praktijk wat meer aan.

2.6 WEER KIEZEN.

Na afloop van hoofdstuk 2 is het zinnig een korte basistoets af te nemen. (Voorbeelden van toetsvragen zijn te vinden in bijlage D5.) Als deze vooral diagnostisch is kan het leerlingen helpen bij het maken van een verantwoorde keuze voor een van de hoofdstukken 3, 4.of 5.
Dat keuzeproces zal toch al een wat ander karakter dragen dan bij een vrije keuze aan het einde van een thema. Voornaamste verschillen zijn namelijk dat

- de keuze niet vrij is
- elk hoofdstuk door tenminste één groep gekozen moet worden
- alle leerlingen van *elk* hoofdstuk een aantal dingen moeten weten

Keuzekriteria, die voor de leerlingen een rol kunnen en zouden moeten spelen zijn daarom:

- welk onderwerp vind ik interessant?
- waar ben ik nog niet zo goed in?
- welk onderwerp lijkt het moeilijkst?
- welke aktiviteiten wil ik het liefste doen?

Noem deze kriteria eens aan de leerlingen en laat ze voor de definitieve bepaling van de keuze de voorbladen en inleidingen van de 3 hoofdstukken doorlezen.

DIFFERENTIELE PERIODE

Deze drie hoofdstukken hebben ongeveer dezelfde omvang en dezelfde opbouw. Ze bevatten informatie, aktiviteiten, opgaven ter verwerking en aanwijzingen voor de rapportage. De onderwerpen uit de drie hoofdstukken hangen sterk samen: de inhoud van een hoofdstuk wint aan waarde wanneer ook informatie uit de andere hoofdstukken er bij wordt betrokken.
Een deel van het werk zal buiten de les moeten gebeuren. De aktiviteiten zijn soms afhankelijk van het weer. Bedenk alternatieven wanneer het weer niet wil meewerken. Probeer extra literatuur beschikbaar te hebben per hoofdstuk. Bovorder het onderling kontakt tussen de groepen. Let vooral bij de rapportage op de samenhang van de onderwerpen. De bedoeling is dat na afloop alle leerlingen over een gemeenschappelijke basiskennis beschikken van de onderwerpen die aan het eind van elk hoofdstuk, bij de aanwijzingen voor de rapportage, zijn genoemd. Elk hoofdstuk bevat nogal veel opgaven. Maak tevoren een keuze.
Voor het werken aan deze drie hoofdstukken zijn 3 lessen uitgetrokken, globaal te verdelen in drieen: bestuderen van theorie; uitvoeren van aktiviteiten; maken van opgaven en voorbereiden van rapportage. De rapportages mogen 2 lessen in beslag nemen.
De reakties van leraren op de differentiek periode lopen erg uiteen. Sommigen klagen over de moeilijke opdrachten, de geringe interesse bij leerlingen, het niet lukken van sommige proeven en een saaie lessenplanning (les theorie, les experimenten, les opgaven). Anderen rapporteren dat de lessen goed liepen en dat het werken aan verschillende onderwerpen voor de leerlingen erg stimulerend werkte. Frappant is dat een leraar ook meldt dat de leerlingen er te weinig uithalen terwijl uit onderzoek blijkt dat de leerlingen deze hoofdstukken verreweg als het meest leerzaam beschouwen.

RAPPORTAGES

Leraren blijken met de rapportages uiteenlopende doelen te beogen. We kunnen onderscheid maken tussen doelen die met de rapporteurs te maken hebben en doelen die voor de klas gelden.
De rapporteurs moeten volgens de leraren:
- de belangrijkste punten uit hun hoofdstuk aan de rest overbrengen, liefst met gebruik van de OHP;
- één onderzoeksvraag met de klas bespreken (bijv. hoe ontstaan wolken, hoe hoog hangen wolken of welke weersveranderingen lees je af uit wolken);
- via een poster met zo weinig mogelijk woorden de anderen de fysica van je hoofdstuk duidelijk maken;
- info aan medeleerlingen doorspelen en ontdekken dat dat niet onvoorbereid lukt;
- eigen leerervaringen bewust worden, overdragen van die ervaringen, hoofd- en bijzaken onderscheiden, eigen presentatie leren evalueren.

De klas moet tijdens de rapportages:
- belangrijke begrippen noteren en vragen om onduidelijke zaken te verhelderen;

- kritisch beoordelen op vorm en inhoud;
- vragen formuleren;
- kritisch leren luisteren, reageren, beoordelen;
- hoofdlijnen van elk hoofdstuk oppakken.

De ervaringen liepen flink uiteen:
- voorbereiding liep slecht;
- 15 minuten voorbereiding voldoende omdat ze maar over 1 facet hoefden te rapporteren;
- serieus gewerkt aan voorbereiding;
- rapportage ging redelijk goed (te weinig gebruik gemaakt van bord of flappen);
- merendeel van rapportage van goede kwaliteit;
- flauwtjes verlopen rapportages. Saai voorleeswerk (snel en onduidelijk);
- voorbereiding in logboek gestructureerd. Rapportages verliepen redelijk tot goed. Zelf samenvatting gegeven.

De meeste klachten kwamen van leraren die veel tijd (4 lessen) voor de rapportages hadden uitgetrokken en die zowel een schriftelijk verslag als een mondelinge rapportage verlangden. Het is niet zo verwonderlijk dat dit tot voorlezen leidt. Uit de succesvolle rapportages kunnen we de volgende aanbevelingen halen:
- perk de rapportageopdracht in;
- geef aanwijzingen over gebruik van bord, poster of OHP;
- geef de klas ook taken;
- wees duidelijk over de doelen van de rapportages;
- beoordeel (zelf of met leerlingen) de rapportages.

WOLKEN

Hoofdpunten: a. fysische aspekten van wolken: samenstelling, hoogte snelheid;
b. vorm van wolken;
c. relatie met weersvoorspelling;
d. waarnemingen aan wolken.

Aanwijzingen per paragraaf.

3.1 • Ter orientatie. Kies eventueel één vraag uit. Overweeg een docent Nederlands er bij te betrekken.

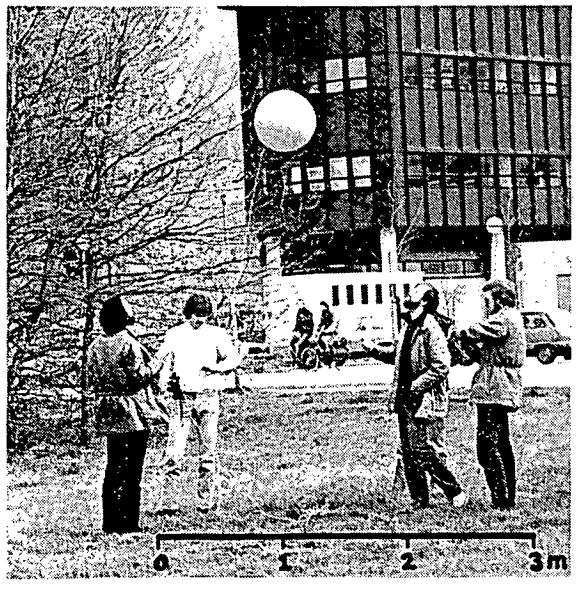
3.2 • Het gaat hier vooral om de omstandigheden die nodig zijn voor het ontstaan van wolken en om factoren die de wolkenhoogte bepalen. Het kader over andere factoren is voor liefhebbers. Dit kader is geen basisstof maar illustreert wel dat er meer een rol speelt bij wolkenhoogte dan T en Td.

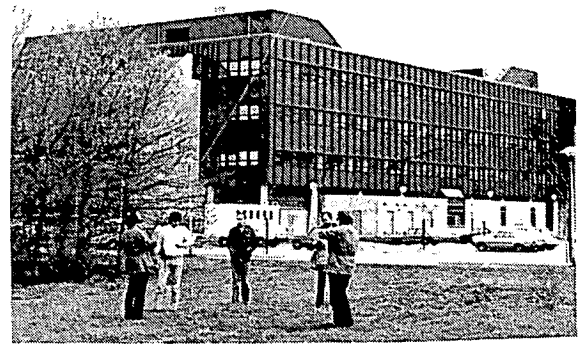
3.3 • Gekozen is voor een eenvoudige indeling. Er zijn veel meer typen te onderscheiden (zie wolkenposters en Wolkenatlas). Onze indeling is gebaseerd op uiterlijk en hoogte.
Enige achtergrondinformatie over een wolkenklassifikatie is te vinden in bijlage I3.

3.4 1. • Niet te doen bij egale bewolking of onbewolkte hemel. Zie ook Minnaert II, p. 149-152.

2. • Voor liefhebbers. Zie Minnaert II p. 158-159 en I p. 344.

3. • Enige technische assistentie is aan te bevelen, zeker wanneer het explosieve waterstof of aardgas wordt gebruikt. Helium verdient uit veiligheidsoverwegingen de voorkeur. Het is een leuke proef. Onze ballon steeg met 2 m/s en verdween na 6,5 min. in de wolken.





• Een kijker is essentieel, zeker bij enige wind, want dan is zelfs een redelijk grote ballon snel uit het zicht. Bij windkracht 3 is zo'n ballon na 6,5 min. al ca. 2 km verwijderd. Zorg dus ook voor een lanceerplaats die ver zicht garandeert.

- Bij het vooraf bepalen van de stijgsnelheid er op letten dat de invloed van de wind niet te groot is. Anders stijgt de ballon schuin op en is de juiste stijgsnelheid moeilijk te bepalen. De proef heeft weinig zin bij geringe bewolking (kans groot dat hij tussen de wolken door stijgt) en sterke wind bij hoge bewolking.
- Laat de wolkenhoogte ook berekenen met behulp van een temperatuurmeting en een bepaling van de relatieve vochtigheid.

4. • Voor liefhebbers.

3.5 • Enige samenwerking met andere groepjes wenselijk.

Toelichting bij de opgaven.

Inleiding

1. Voorbeelden van spreekwoorden en gezegden:
   - er is geen wolkje aan de lucht
   - in de wolken zijn
   - uit de wolken vallen
   - een wolk van een baby
   - een wolkje melk in de thee
   - een wolkbreuk
   - achter de wolken schijnt de zon
2. Zie Minnaert II: Goethe (p. 164, 165, 166), Gorter (p. 166, 169), Gezelle (p. 166), H. Roland (p. 186).
3. Wellicht donkere wolken, geen wolken, schapewolkjes, laaghangende bewolking (mist).

In mei leggen alle vogeltjes tot nog toe te verrekken van de kou

Wolkenvorming

1. Zie Minnaert II p. 196, 197
2. Dit is in de buurt van de stratopauze. De totale luchtdruk is daar ca. 1 mbar en dat is van dezelfde orde van grootte als de maximale waterdampspanning bij de daar heersende T (ca. -25 °C). Verzadiging treedt dus niet op.
3. m ca. 0,4 gram
4. $N = 10^6$
5. h = 960 m
6. Onze meting: T = 13 °C, r = 68%. Uit de dampspanningsgrafiek volgt Td = 7 °C en dus h = 720 m.
7. Koude regen uit de hogere wolkenlagen zorgt voor T daling onder de wolk; de relatieve vochtigheid stijgt en condensatie treedt op.
8. Afgezien van het saaie uitzicht heeft een luchtreiziger in wolken vaak last van vertikale luchtbewegingen waardoor het vliegtuig beurtelings daalt en stijgt (vooral in cumulus en cumulonimbus).
9. Toenemende bewolking schermt het zonlicht af en daardoor minder opstijgend lucht.

Soorten wolken

1. Gebruik eventueel wolkenposter of -atlas.
2. Wellicht doen wanneer wolkenwaarnemingen niet mogelijk zijn.
3. Denk aan stand van de zon, dikte van de wolken, grootte en dichtheid van druppels. Zie Minnaert I p. 339-341.

Wolken en het weer

1. Kies plek met weids uitzicht. Vergelijk met weerstations.
2. Langzaam dalende lucht wordt samengedrukt, stijgt in T, relatieve vochtigheid daalt en wolken lossen op.
3. Zie H5.

NEERSLAG

Hoofdpunten: a. fysische aspekten van neerslagvorming
b. onderzoek van druppelgrootte
c. neerslagverwachting

Aanwijzingen per paragraaf.

4.1 • Ter orientatie.

4.2 • Neerslagvorming is een grootschalig proces dat moeilijk valt na te bootsen in de les. De bekende proef met een metalen dienblad vol ijs waar stoom tegen blaast vertekent de werkelijkheid te veel en is dus misleidend.

• De nadruk in deze paragraaf ligt op de beide processen van regenvorming. Het Bergeronproces is het belangrijkst maar ook het lastigst. Wellicht is enige extra toelichting gewenst bij het aangroeien van het ijskristal: uit grafiek en tabel valt te zien dat bij een bepaalde dampspanning een druppel kan verdampen terwijl het ijsdeeltje groeit.

4.3 • Beknopt gehouden omdat het niet moeilijk is informatie te vinden en te begrijpen over andere vormen van neerslag. Voor hagel zie Minnaert I p. 241-145.

4.4 • Proef 1 wellicht thuis te doen.

• Proef 2 is een inleiding op 3 en 4.
Bedenk dat regendruppels om aerodynamische redenen slechts een beperkte grootte kunnen krijgen: als ze groter zijn vallen ze op hun lange valweg uiteen. In een bui varieert de druppelgrootte maar gemiddeld zijn de druppels groter dan bij aanhoudende motregen.

• Bij proef 3 is het van belang dat de bloem droog en gefilterd is. Anders zitten er al bolletjes in die moeilijk te onderscheiden zijn van de door regendruppels gevormde bolletjes. Door hun snelheid vallen de druppels diep in de bloem (vandaar dat een vrij dikke laag bloem nodig is).

• Proef 4 kost wat meer tijd maar vormt een goed voorbeeld van laboratoriumcontrole op de proeven 2 en 3. Enige assistentie mogelijk gewenst.

• Voor proef 5 maar hopen dat het hagelt (idee uit Minnaert II p. 244).

• Een zesde proef (voor thuis) zou de volgende kunnen zijn:
Proef 6. Vrieskernen van zilverjodide kun je maken door met behulp van een batterij (bijv. 4,5 volt) vonkjes te trekken tussen twee zilverhoudende elektroden die je met joodtinctuur hebt bevochtigd.
Bij het ademen in een vrieskist ontstaat een onderkoelde waternevel die je kunt laten bevriezen door deze deeltjes AgJ in te blazen. Tegen een donkere achtergrond kun je de ijskristalletjes zien glinsteren in een lichtbundel.

4.5 • Neerslag valt moeilijk precies te voorspellen. Enige samenwerking met andere groepjes wenselijk.

Toelichting bij de opgaven.

Neerslagvorming

1. Als opgave 3.2.3; m=0,04 g
2. t ≅ 28 uur; aannemelijk dat dan de kans op verdamping onderweg groot is.
3. Als opgave 3.2.4; $N=10^6$
4. Dikte wolk hangt samen met de tijd die nodig is voor het aangroeien tot voldoende grootte om als regen de aarde te bereiken.
5. Voor ijs geldt een andere dampspanningskromme dan voor water. De ijsdeeltjes kunnen blijven bestaan in een omgeving waarin waterdruppels verdampen. Bij -15 °C bestaat een ijsdeeltje nog bij een r van 86%.
6. Zie par. 7.2: uitstrooien van vrieskernen (bijv. AgJ) of vast CO_2 (om T te verlagen), of verstrooiing van waterdruppels.
7. De regen is verdampt voor deze de grond bereikt door het passeren van drogere lucht. Soms moeilijk het verschil te zien tussen plaatselijke wolkenbasisverlaging en dit soort valstrepen.

Soorten neerslag

1. Zelf laten bedenken of laten opzoeken. Focusseer op fysische achtergrond.
2. V = 1 liter
3. V = 300 liter
4. Bij meer kleine druppeltjes neemt het totale oppervlak toe ($V/A \approx r$) en wordt de kans op verdamping groter.
5. Regendruppels die groter zouden worden desintegreren tijdens het vallen onder invloed van luchtstroming. Hagelstenen zijn in vaste vorm en vallen minder gauw uiteen.

Neerslag verwachting

1. Cumulonimbus (buien)
   Stratus (motregen)
2. Coalescentie- en Bergeronproces vereisen dikke wolken.
3. In vliegtuigwolken zijn meestal ijsdeeltjes aanwezig die bij de lage T op grote hoogte (8 à 10 km) minder snel verdampen dan waterdruppels in rookpluimen vlak bij de grond. Ook wervelingen bij het aardoppervlak spelen een rol.
4. Bij fronten wordt de warme lucht gedwongen op te stijgen en koelt dan af; dit leidt tot wolken- en neerslagvorming. Bij depressies stijgt de lucht over een groot gebied langzaam op, koelt af etc.
5. Beide ca. 3.10^{10} M^3.
6. Gedwongen opstijging van lucht zorgt voor afkoeling van de lucht, wolkenvorming en regen. Aan de achterzijde van bergen treedt het tegenovergestelde effekt op: daling van de lucht, verwarming, oplossen van wolken, droog weer.

FRONTEN EN DRUKGEBIEDEN

Hoofdpunten: a. Fysische aspekten van fronten en drukgebieden
b. soorten fronten en drukgebieden
c. weersveranderingen.

Aanwijzingen per paragraaf.

5.1 • Ter orientatie

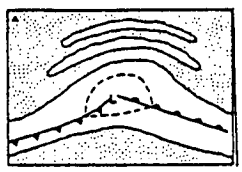
5.2 • Naast een algemeen stukje over fronten vooral aandacht voor het koufront. Dit komt in ons land het meeste voor en heeft het sterkste effekt op het weer.
• Bedenk dat de figuren steeds een veel grotere hoek van het frontvlak met het aardoppervlak aangeven dan in werkelijkheid (ca. 2°).

5.3 • In het eerste deel worden enkele beelden gegeven van hoge- en lagedrukgebied, bedoeld als illustratie van het verband tussen druk en luchtkolom. Belangrijker is echter wat er gebeurt in en rond de drukgebieden.

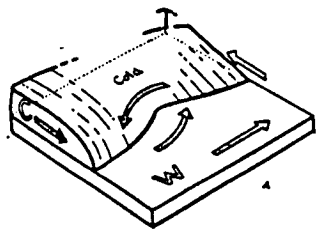
- Stadia in de ontwikkeling van een depressie op gematigde breedten.
- Schematische weergave van de bewolking zoals een satelietopname die te zien zou geven.

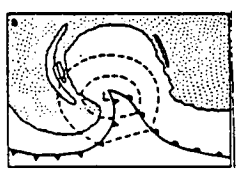
bewolkte hemel

onbedekte lucht

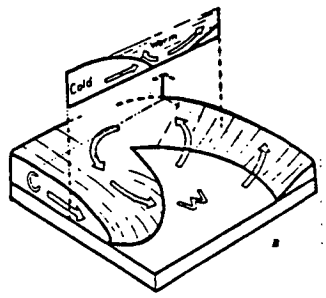


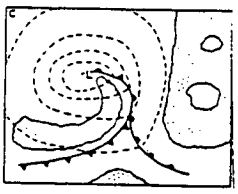
In de overgangszône tussen warme en koude luchtmassa ontstaat een storing.



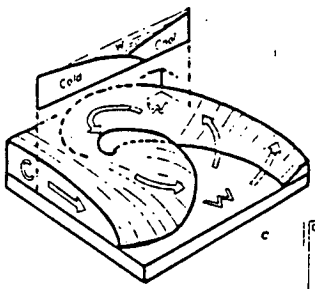


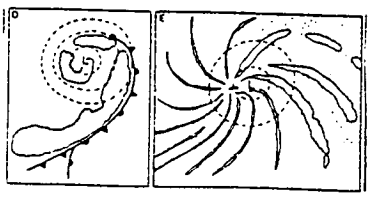
De druk daalt in de golftop; 't koufront gaat 't warmtefront inhalen.



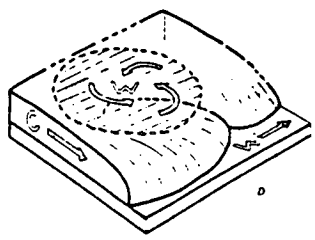


Er vormt zich een occlusie.





De fronten trekken nu vlugger dan de kern; aan het koufront ontwikkelt zich de volgende storing.



- Het ontstaan van depressies wordt hier vereenvoudigd beschreven. Een verklaring is pas mogelijk door processen op ca. 5 km hoogte mee in beschouwing te nemen. Dat lijkt ons te ingewikkeld en laten we graag over aan het VWO-keuzeonderwerp Weerkunde. Wel illustreren we verderop het ontstaan van depressies met weerkaart en satellietfoto.

5.4 • Fronten en drukgebieden zijn grootschalige systemen die moeilijk binnen het lokaal gesimuleerd kunnen worden. Vandaar, naast een eenvoudige vloeistoffront proef, vooral aandacht voor weerkaarten en satellietfoto's.

1. • Een weekverzameling van weerkaarten is misschien niet toereikend in bepaalde weersomstandigheden. Neem de periode dan ruimer. Als het goed is, worden de kaartjes al verzameld.
   • Let op richting, snelheid en omvang van fronten en depressies. Houdt ook de waarnemingen van de weerstations (ingetekend op de kaart) in de gaten. Probeer zo mogelijk de relatie tussen depressievorming en fronten geillustreerd te krijgen.
2. • Ter illustratie van een bewegend koufront. Licht verschillen tussen lucht en water toe omdat dit model natuurlijk niet exact de werkelijkheid beschrijft.
3. A • Satellietfoto toont depressie onder IJsland, groot koufront over de Atlantische Oceaan en warmtefronten boven de Golf van Biscaje en Scandinavie. Een warmtefront wordt in de hogere luchtlagen voorafgegaan door een wolkenband van wel 700 à 800 km breed. Boven Scandinavie is dit goed te zien.

   B • Sterke winden te zien bij de punt van Groenland aan uitgerekte bewolking. Weerkaart toont dicht opeenliggende isobaren en een krachtige wind in de weerstations. Het koufront loopt tussen de 40° en 60° breedtegraad en is dus minimaal 2000 km lang. Tussen het warmte- en koufront bevindt zich een gebied met warme lucht (T = 9 °C vergelijk met 1 °C vóór warmtefront en na koufront). Duidelijk is te zien dat de situatie op de foto overeenkomt met het vierde plaatje over depressievorming (zie figuur in het themaboek).

   C • Deze opname is 10 uur voor foto B genomen. De depressie heeft zich in NNO richting verplaatst met een snelheid van ca. 50 km/h.
   Op deze infrarood foto is te zien welke wolken hoog zijn (wit want koud) en welke zich lager bevinden (grijs want iets warmer)

5.5 • Enige samenwerking met andere groepjes aan te bevelen.
In bijlage I4 zijn karakteristieken van een kou- en warmtefront opgenomen.

Toelichting bij de opgaven.

Fronten

1. De opgave betreft de kaarten van 15/4/'83 (12.00 GMT) en 16/4/'83 (00.00 GMT). Een groot koufront nadert de Britse eilanden (v: 40 à 50 km/h). Het warmtefront boven Scandinavie verplaatst zich nauwelijks. Let vooral op de veranderingen in T voor en na de fronten.
2. h = 1750 m; de temperatuurinversie te zien op een temperatuur-hoogte profiel.
3. Zie figuur. Voorboden in de vorm van cirrusbewolking soms ca. 700 à 800 km vóór het front uit. De warme lucht wordt opgetild boven de koude lucht die het front gaat verdringen.
4. Door meer turbulentie boven land (lokale thermiekbellen o.a.).
5. In de winter is de lucht boven het vasteland kouder dan boven de oceaan. De te verdringen warme lucht is dus relatief kouder en dat remt de aktiviteit van het front: de temperatuurverschillen tussen de beide luchtsoorten zijn immers minder groot.

Drukgebieden

1. Minder bewolking in een hoge drukgebied.
2. Eerst zuid, later zuid-west.
3. In een hoge drukgbeid daalt de lucht langzaam over een groot gebied; de luchtverontreiniging heeft dan weinig kans gemengd te raken in hogere luchtlagen.
   Omdat er verder weinig bewolking is, is de nachtelijke uitstraling groot. Vaak treedt dan een temperatuur-inversie op in de loop van de avond die pas tegen het middaguur van de volgende dag volledig is verdwenen.
   Een temperatuurinversie levert een stabiele laag op waarbeneden alle luchtverontreiniging blijft die daar is uitgestoten (zie hoofdstuk 7).
   Een derde reden van de klachten kan zijn dat foto-chemische verontreiniging op zonnige dagen toeneemt. Onder invloed van het ultraviolette zonlicht kunnen onverbrande koolwaterstoffen en stikstofoxiden met elkaar reageren. Hierbij ontstaan stoffen als ozon.
4. Hoe sneller een depressie nadert, hoe sneller veranderingen in de luchtdruk optreden en hoe heftiger de weersactiviteiten.

WEERSVOORSPELLING

Het lijkt zo logisch: je weet hoe het weer wordt gemeten en je weet hoe en wanneer bepaalde processen in de atmosfeer verlopen.
Dan zul je het weer wel kunnen voorspellen!
Om deze eindfase van het weerbedrijf te kunnen meemaken en vooral ook om in te zien dat bovenstaande logica toch niet zo voor de hand ligt is hoofdstuk 6 bedoeld. Het wil de leerlingen een overzicht geven van professionele voorspelmethodes en daarbij horende karakteristieke kenmerken, het wil aangeven hoe betrouwbaar die professionele voorspellingen zijn - en hoe moeilijk voorspellen dus is - en ten slotte wil het toch ook als het ware met de leerlingen samen nagaan wat de kennis uit dit themaboek nu bijdraagt aan een beter begrip van het weer en de voorspelling ervan.
Als zodanig is het dus ook geschreven als een stuk *verwerking* van begrippen, feiten en verbanden uit voorgaande hoofdstukken, hetgeen vooral tot uitdrukking komt in de wat langere opgaven.

Bespreking per paragraaf.

6.1 VOORSPELMETHODEN

De bedoeling.

Er zijn drie in principe verschillende methodes om tot een weersvoorspelling te komen: de synoptische, de statistische en de numerieke.
Uit de door ons geraadpleegde literatuur blijkt dat het nog niet zo makkelijk is van alle drie een heldere karakteristiek te geven. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de weersvoorspeller van elke methode wel wat gebruikt bij het opstellen van de weersverwachting. In het al eerder aangehaalde boekje van Schmidt staat een redelijk heldere uiteenzetting van de drie methodes.
Einddoel voor de leerlingen is het kunnen beschrijven van kenmerken van elke methode en het kunnen aangeven in welke situaties een bepaalde methode bruikbaar is. De tabel van opgave -5- kan daarbij behulpzaam zijn.

Uitwerking lessenplan.

De leerlingen kunnen de tekst lezen en de vragen beantwoorden, waarbij een aantal woorden misschien verduidelijkt moeten worden.
Ook kunt u zelf de essentie van de drie methodes proberen aan te geven, waarna in een klassegesprek opgave -5- kan worden gemaakt.
Het lijkt niet nodig een vol lesuur aan deze paragraaf te besteden.

Toelichting op de opgaven.

Synoptische methode

1. Dit is een van de situaties binnen het thema Weersveranderingen waarbij de gaswetten kunnen worden toegepast; in de verzameling vraagstukken aan het eind van deze handleiding is een dergelijke vraag opgenomen.
   In de opgave in het themaboek wordt overigens slechts een kwalitatief antwoord gevraagd.
2. Weer zo'n uitstapje richting mechanica en weer om wat aan te snuffelen; een relevante vraag vooral als er leerlingen zijn die zelf een weerballon hebben opgelaten. Waarschijnlijk zullen leerlingen zelf niet moeilijk doen over de onafhankelijkheid van de horizontale en vertikale bewegingen.

Statistische methode

4. Weerspreuken kunnen soms zonder waarde zijn, sommige echter berusten op wetmatigheden ("na regen komt zonneschijn" of "ring om de zon, water in de ton") of op vermeende relaties tussen bepaalde weertypes ("vorst in september, zacht in september" en "donder in maart, sneeuw in mei"); sommige ook berusten op regelmaat in het weersverloop ("de regen van St. Margriet (20 juli) duurt 14 dagen"); ook de spreuk uit de opgave stamt uit de laatste kategorie: na 20 januari volgen statistisch gezien de meeste vorstdagen (waaronder ook het grootste aantal ijsdagen).

Vergelijking

5. Onze invulling:

methode / vraag over de methode	synoptisch	statistisch	numeriek
-waarnemingen nodig?	ja	ja	ja
-gebaseerd op ervaring (1)		(2) sterk	(3) sterk
vroegere gegevens (2)	(1) sterk	(1) minder	(1) minder
of natuurkundige modellen (3)?	(2) en (3) minder		
-objektief of subjektief?	subjektief	objektief	objektief
-voor welke termijn maximaal?	ca. 36 uur	ca. 5 dagen	ca. 5 dagen

Tabel 6.1 Vergelijking van voorspelmethodes.

6.2 DE BETROUWBAARHEID VAN DE WEERSVERWACHTING.

De bedoeling.

Er wordt nogal gekankerd op het weer, maar ook op de voorspelling daarvan. Een aantal redenen worden in de inleiding van par. 6.2 genoemd.
Nu geven de meteorologen zelf een betrouwbaarheid op van 80% voor de korte tot 60% van de lange termijn voorspelling. (Beter gezegd: de voorspelling wordt zodanig geformuleerd, dat deze betrouwbaarheids-percentages er uit komen.)
Kunnen we dat nu zelf ook afleiden uit de beschikbare voorspellingen? Als eindpunt van de verzamelaktiviteit van par. 2.2 kunnen leerlingen een cijfer geven aan weersverwachtingen. Het lijkt ons een uitdagende opdracht! Uiteindelijk zou het aardig zijn, dat de leerlingen wat meer begrip krijgen voor de weersverwachting, de problemen, die de opsteller daarbij heeft en dat er afgerekend wordt met de eeuwige klachten over het weerbericht. Of dat haalbaar is, bepalen vooral de meteorologen zelf op het moment dat dit thema in de klassen draait. We zullen ze daarvan op de hoogte stellen!

Uitwerking lessenplan.

- De inleiding van par. 6.2 is echt bedoeld als *leestekst* en zo geschreven dat de informatie dicht en wat ongeordend bij elkaar staat. Met behulp van opgave -1- moeten de leerlingen daar zelf enige orde in aanbrengen.
- De beoordelingsprocedure, die als aktiviteit centraal staat in deze paragraaf is niet zo makkelijk uit te voeren. Verderop staat onze eigen poging weergegeven. Mogelijkheden voor werkvormen zijn: samen met de leerlingen een aantal geschikte weerberichten uitkiezen en de procedure aflopen. Of: de geschikte weerberichten verdelen over verschillende groepjes en de betrouwbaarheidsgetallen na afloop vergelijken.
- Tenslotte wordt gepoogd aan te geven, dat "betrouwbaarheid" een relatief begrip is, afhankelijk van wat je er onder verstaat; de prestatieindex, ook wel effektief trefferpercentage genoemd, is aanzienlijk lager dan een normaal berekende betrouwbaarheid.

de prestatieindex uitgesplitst voor neerslag, zonneschijn en maximum temperatuur (in %; voor 1982, tussen haakjes voor de periode 1971-1979).

verwachtingsduur	24 uur	48 uur	72 uur	96 uur	120 uur
neerslag	29 (24)	20 (20)	21 (15)	20 (14)	14 (-)
zonneschijn	19 (17)	13 (10)	15 (6)	11 (4)	9 (-)
max. temp.	41 (39)	31 (31)	28 (127)	26 (21)	22 (-)
gemiddeld	30 (27)	21 (20)	21 (16)	19 (13)	15 (-)

- Probeer de lestijd te beperken tot het volgen van de beoordelingsprocedure; de rest kan ook wel thuis.

Over de betrouwbaarheidsbeoordeling.

Om een indruk te krijgen van de uitkomsten van een dergelijke beoordelingsprocedure, hebben wij hem zelf ook op een aantal weersverwachtingen uitgeprobeerd. Overigens hanteert het KNMI uiteraard een meer verfijnde methode, maar werd onze procedure redelijk bruikbaar gevonden.

Datum 14/4/'83

Weersverwachting (Bron: AD 's morgens)	onderdelen enkele zonnige perioden middagtemperatuur 10 graden matige wind	vertaling 3/8 - 7/8 max. temp. 10 oC windkracht 3 à 4
Weerrapport (Bron: KNMI, dagelijks weerbericht)	station: De Bilt gem. windsnelheid 6 knopen ≈ 3 m/s ≈ windkracht 2 max. temperatuur 11,8 °C bewolkingsgraad 8/8 *beoordeling* 72	aftrek 10 2 x 4 = 8 10 totaal 28

14 APRIL 1983 GEMIDDELDEN ,EXTREMEN EN SOMMEN

STATION	WIND SNELHEID 1/2 M/S UURGEM.	TEMPERATUUR 10 CM GR.C	TEMPERATUUR 150 CM GR.C	TEMPERATUUR UUR-VAK	VOCHTIGHEID DAMP-DRUK MBAR	VOCHTIGHEID RELA-TIEF PROC	NEERSLAG HOEV. MM	NEERSLAG DUUR UREN	LUCHTDRUK ZEENIVEAU MBAR	GLOBALE STRALING J / CM2	BEWOL-KING 1/8	UU. M S T	UU. E G
210 VALKENBURG VK													
GEM.0-24 UUR	12	-	7,0	-	8,6	86	-	-	1025,2	-	7	-	-
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	0,6	1,3	-	-	-	-	5
MAX.0-24 UUR	15	-	8,9	13	9,0	93	-	-	1026,4	-	8	-	-
MIN.0-24 UUR	8	5,2	6,1	5	8,2	80	-	-	1023,7	-	5	-	-
235 DE KOOY VK													
GEM.0-24 UUR	12	-	6,9	-	8,9	90	-	-	1024,1	-	8	-	-
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	0,7	1,4	-	1362	-	-	6
MAX.0-24 UUR	16	-	8,2	13	9,5	98	-	-	1025,2	-	8	-	-
MIN.0-24 UUR	9	5,4	5,4	7	7,8	75	-	-	1022,6	-	6	-	-
240 SCHIPHOL LH													
GEM.0-24 UUR	10	-	7,4	-	9,0	87	-	-	1025,0	-	8	-	-
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	0,9	1,0	-	-	-	-	8
MAX.0-24 UUR	13	-	10,2	13	9,5	96	-	-	1026,3	-	8	-	-
MIN.0-24 UUR	6	5,8	6,3	1	7,8	66	-	-	1023,4	-	6	-	-
260 DE BILT													
GEM.0-24 UUR	6	-	7,8	-	8,4	80	-	-	1024,9	-	8	-	-
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	1,2	1,4	-	1219	-	-	10
MAX.0-24 UUR	9	-	11,8	12	9,2	96	-	-	1026,1	-	8	-	
MIN.0-24 UUR	4	5,6	5,9	1	7,4	58	-	-	1023,5	-	7	-	
265 SOESTERBERG VB													
GEM.0-24 UUR	9	-	7,5	-	8,3	81	-	-	1024,8	-	7	-	
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	0,7	1,2	-	-	-		

14-4

Weekeinde wordt mooi

Eindelijk, het wordt warmer! In het weekeinde zou het in de richting van de 15 graden kunnen gaan, en zondag zou het in het zuiden zelfs zo'n 18 graden kunnen worden.

De verwachting voor vandaag: Enkele zonnige perioden en vrijwel overal droog. Middagtemperatuur ongeveer 10 graden. Matige westelijke wind.

Vooruitzichten voor vrijdag tot en met maandag: Zonnige perioden en overwegend droog. Middagtemperatuur morgen omstreeks 11, in het weekeinde rond 15 graden.

Weeroverzicht op pagina 7.

MIESJE: De lange aanhoudende hitte zal na het weekeinde wel weer over zijn....

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK HOOFDSTUK 6

Datum: 18/4/'83

Weersverwachting (Bron: AD 's morgens)	veel bewolking *middagtemperatuur omstreeks 15 graden* *matige (...) wind*	5/8 - 7/8 max. temp. 15 °C windkracht 3 à 4
Weerrapport	b.v. Eindhoven	afrek
(Bron: AD, volgende dag)	gem. windsnelheid - temperatuur 22 °C bewolkingsgraad zwaar bewolkt	7 x 5* = 35 -
	beoordeling 65	totaal 35

*aangepaste beoordeling vanwege het ontbreken van 1 gegeven.

het weer

18-4

door onze weerkundige medewerker

GERRIT HAIJTINK

DE BILT — Het mooie weer heeft korter geduurd dan zich vrijdag liet aanzien. Toen werd aangenomen dat het tot gistermiddag zonnig zou blijven. De bewolking en ook de regen kwamen ongeveer zes uur eerder. Daarmee bleef het mooie weer voor dit weekeinde voor een groot deel van het land tot zaterdag beperkt.

In het oosten is het gisteren nog wel geruime tijd zonnig geweest en werd het ook nog 17 graden. Vandaag moeten wij maar geen zon verwachten. Waarschijnlijk valt er meer regen dan gisteren.

Boven Noordwest-Spanje lag gistermiddag een storing die met de heersende stroming in de bovenlucht vrijwel recht op ons land afkoerste. Koud wordt het nog niet.

Vandaag en morgen zal het in het binnenland ongeveer 15 graden worden. De scheidingslijn die de overgang vormt naar koudere lucht boven de Britse eilanden, ligt vlak voor de kust. Langs deze lijn komen regelmatige kleine storingen tot ontwikkeling die voor regen zorgen. Het duurt vrij lang voor die koudere lucht tot ons land doordringt.

In Duitsland was het gisteren wel warm. Vrijwel overal werd het daar ruim 20 graden.
Vandaag zal dat opnieuw het geval zijn.

In Frankrijk heerst ongeveer hetzelfde weertype als bij ons. Alleen is het in Zuid-Frankrijk wel warm. In Oost-Europa is het in het weekeinde duidelijk warmer geworden. In Tsjechoslowakije, waar het vrijdag 5 graden was, liep gisteren de temperatuur op tot 15 graden. In de Alpen blijft het flink dooien. Het nul-gradenniveau ligt daar op 3000 meter. De komende dagen neemt in de Alpen ook de wind toe, en dat zal de dooi verder bevorderen

Bewolking

18-4

Veel bewolking en perioden met regen. Middagtemperatuur omstreeks 15 graden. Matige zuidelijke wind.

Vooruitzichten voor dinsdag tot en met vrijdag:
Veel bewolking en af en toe regen, mogelijk met onweer. Middagtemperatuur dalend van ongeveer 14 naar 12 graden.

Weersoverzicht op pagina 4.

MIESJE: Dat was dus de lente. Hopelijk valt de zomer óók op een zaterdag...

Weerrapporten van gisteravond 8 uur — 18-4

Station	Weer	Wind	Temp.	Neersl.
Amsterdam	zwaar bew.	ZZO	19	0
De Bilt	zwaar bew.	ZZO	20	0
Deelen	half bew.	OZO	21	0
Eelde	zwaar bew.	ZO	21	0
Eindhoven	zwaar bew.	Z	22	0
Den Helder	zwaar bew.	W	18	0.1
Rotterdam	zwaar bew.	ZZW	19	0
Twente	geheel bew.	O	21	0.2
Vlissinen	regen	WNW	15	0.1
Zd. Limburg	zwaar bew.	ZZO	21	0
Aberdeen	zwaar bew.	N	8	0
Athene	zwaar bew.	Z	16	0
Barcelona	half bew.	Z	17	0
Berlijn	zwaar bew.	ZZO	19	0
Bordeaux	geheel bew.	NW	12	7
Brussel	zwaar bew.	WZW	21	0.2
Frankfurt	regenbui	ZO	22	0.1
Genève	zwaar bew.	N	20	0
Helsinki	licht bew.	OZO	12	0
Innsbruck	licht bew.	OZO	1	0
Klagenfurt	licht bew.	W	17	0
Kopenhagen	licht bew.	ZO	11	0
Lissabon	zwaar bew.	WNW	15	0.6
Locarno	regen	W	14	1
Londen	motregen	N	5	13
Luxemburg	half bew.	Z	19	0
Madrid	zwaar bew.	W	12	0
Malaga	half bew.	NW	20	0.8
Mallorca	half bew.	WZW	19	0
Malta	half bew.	ZZO	19	0
München	zwaar bew.	ONO	19	0
Nice	geheel bew.	O	17	0.2
Oslo	motregen	N	8	0.1
Parijs	zwaar bew.	W	15	1
Rome	licht bew.	ZO	21	0
Split	zwaar bew.	OZO	16	0
Stockholm	geheel bew.	ZZO	10	0
Wenen	zwaar bew.	OZO	16	0
Zürich	zwaar bew.	ZZO	20	0
Casablanca	zwaar bew.	WNW	19	7
Istanbul	regen	OZO	12	0.1
Las Palmas	geheel bew.	NNO	22	0
Beiroet	licht bew.	O	17	3
	bew.	WZW	18	15
	r bew.	OZO	22	0

Andere bewolkingstermen

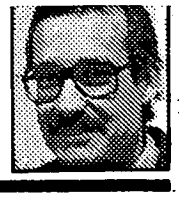
Brekende bewolking	:	er komen kieren en gaten in het wolkendek, maar het verdwijnt niet geheel.
Opklarend	:	de bewolking verdwijnt voor het grootste deel of geheel.
Opklaringen	:	bedekkingsgraad periodiek minder dan 4/8 *na geheel bewolkte periode.* Als er geen bewolkte periode is voorafgegaan, dan wordt de term 'zonnige perioden' gebruikt. 's Nachts kan ook de term 'heldere perioden' worden gehanteerd als het zicht goed is.
Wisselende bewolking	:	convectieve bewolking die flink langs de hemel drijft (eventueel met buien).
Veranderlijke bewolking	:	bewolking, die zowel in hoeveelheid als in type aan sterke veranderingen onderhevig is.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK HOOFDSTUK 6

Datum: 10/5/'83

Weersverwachting (Bron: AD inklusief weeroverzicht	onderdelen	vertaling
	wisselend bewolkt (zie "andere bewolkingstermen")	convectieve bewolking bewolkingsgraad 3/8 - 7/8
	max. temp. lopen uiteen van 10 graden aan zee tot 13 graden in oosten land	
	matige tot krachtige wind (krachtig vooral aan zee)	windkracht 4 à 5
Weerrapport (Bron: KNMI dagelijks weerbericht)	**Station: Twente**	**aftrek**
	gem. windsnelheid 8 knopen 4 m/s windkracht 3	10
	max. temp. 12,9 °C	0
	bewolkingsgraad 6/8 met veel spreiding	0
		10
	beoordeling 90	

10-5



door onze weerkundig medewerker **HARRY OTTEN**

Een van de koudste landen van Europa was gisteren Ierland. Daar vielen talrijke regen- en hagelbuien, waarin de temperatuur soms tot vijf graden terugviel. Ook buiten de buien werd het niet warmer dan acht à negen graden. Deze lucht is naar ons onderweg, en zal ons vanmiddag bereiken.

Vanochtend zijn er nog zonnige perioden, en valt er op slechts enkele plaatsen een bui. Vanmiddag worden de stapelwolken groter en de meeste plaatsen krijgen dan wel een paar buien te verwerken, soms met hagel of onweer. De maximumtemperatuur loopt uiteen van circa 10 graden aan zee tot 13 graden in het oosten van het land.

Vandaag is de zuidwestenwind niet meer dan matig, windkracht 4, maar voor de komende dagen moet vooral aan zee op een krachtige wind worden gerekend.

Het centrum van de omvangrijke depressie die het weer in onze omgeving bepaalt, ligt vanmid dag iets ten noorden van Ierland. Vooral in het gebied ten zuiden van Ierland tot aan Bretagne toe zal de depressie veel wind veroorzaken.

Het depressiecentrum zal vrijwel stil blijven liggen waarbij aan de zuidflank storingen met een verhoogde buienactiviteit via het Kanaal naar Nederland zullen trekken.

De temperatuur kan na vandaag een paar graden omhoog gaan, maar dat is dan ook een van de weinige lichtpuntjes. Voor Hemelvaartsdag ziet het ernaar uit dat de regenkans erg groot is op de Britse Eilanden, in zuid-Scandinavië, Frankrijk, België en het westen van Spanje. De temperatuur is in al die landen aan de lage kant, behalve dan misschien aan de Franse Rivièra, waar het nog een graad of 20 kan worden.

Aan de Spaanse en Italiaanse Middellandse-Zee-kust zal de temperatuur meest tussen 20 en 24 graden liggen. In Griekenland kan het met 25 graden nog iets warmer worden.

Af en toe een bui

10-5

Wissselend bewolkt en nu en dan een bui. Middagtemperatuur ongeveer 12 graden. Matige tot krachtige zuidwesten wind.

Vooruitzichten voor woensdag tot en met zaterdag:
Aanhoudend koel. Middagtemperatuur ongeveer 14 graden. Af en toe zon. Ook enkele buien.

MIESJE: Andropov voert nu hoogstpersoonlijk de vredesduiven...

Weeroverzicht op pagina 7.

10 MEI 1983 GEMIDDELDEN ,EXTREMEN EN SOMMEN

STATION	WIND SNELHEID 1/2 M/S UURGEM.	TEMPERATUUR 10 CM GR.C	TEMPERATUUR 150 CM GR.C	UUR-VAK	VOCHTIGHEID DAMP-DRUK MBAR	VOCHTIGHEID RELA-TIEF PROC	NEERSLAG HOEV. MM	NEERSLAG DUUR UREN	LUCHTDRUK ZEENIVEAU MBAR	GLOBALE STRALING J / CM2	BEWOL-KING 1/8
EELDE LH											
GEM.0-24 UUR	-	-									
SOM.0-24 UUR	-	-									
MAX.0-24 UUR	12	-	14,7	13	11,8	97	-	-	[illegible]		
MIN.0-24 UUR	4	0,9	7,3	22	7,5	53	-	-	997,6	-	
290 TWENTE VB											
GEM.0-24 UUR	8	-	9,9	-	8,7	73	-	-	1000,1	-	6
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	2,1	2,3	-	-	-
MAX.0-24 UUR	14	-	12,9	14	11,0	98	-	-	1002,0	-	8
MIN.0-24 UUR	3	6,2	6,9	24	7,0	48	-	-	998,0	-	1
300 L.S.NOORDHINDER											
GEM.0-24 UUR		-		-			-	-		-	-
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAX.0-24 UUR		-	-	-			-	-		-	-
MIN.0-24 UUR		-	-	-			-	-		-	-
310 VLISSINGEN											
GEM.0-24 UUR	17	-	8,9	-	9,1	80	-	-	998,7	-	4
SOM.0-24 UUR	-	-	-	-	-	-	3,8	1,3	-	1868	-
MAX.0-24 UUR	31	-	12,0	12	10,2	92	-	-	1001,7	-	8
MIN.0-24 UUR	12	6,1	6,9	5	8,1	58	-	-	994,6	-	1
320 L.E.GOEREE		-	9,1	-							

Toelichting op de opgaven.

1. Onze rij is:
   - het valt op als voorspelling niet uitkomst
   - voorspelling te absoluut genomen
   - weertermen niet precies bekend
   - verschillende belangen
2. Zie de tabellen in par. 3.5, par. 4.5 en het begin van par. 6.2.

6.3 ZELF HET WEER VOORSPELLEN

De bedoeling.

We proberen in deze paragraaf aan te geven dat, hoewel je niet zelf het weer kunt soorspellen, je toch tenminste op drie manieren wat wijzer bent geworden:

- goed kijken naar de lucht en naar veranderingen van weersgrootheden zegt je meer over snelle veranderingen in het weer
- nauwkeurig bekijken van weerkaartjes levert een schat aan informatie op, en
- het weerbericht en de gebruikte termen zijn duidelijker geworden.

Dat moeten de leerlingen ook inzien, hoewel de vragen soms zo lastig zijn, dat hulp nog steeds noodzakelijk is.

Uitwerking lessenplan.

Voor het hele hoofdstuk 6 staan drie lessen. Er is dus nog zo'n 1½ les over om aan deze paragraaf 6.3 te werken. Dit blijkt goed te gaan in kleine groepjes, waarbij het de voorkeur verdient heterogene groepen te maken, dat wil zeggen bestaande uit een of twee leerlingen die hoofdstuk 3 hebben gedaan, één of twee van hoofdstuk 4 en één of twee van hoofdstuk 5.
Tussendoor kan een enkele opgave misschien klassikaal besproken worden. Vanwege het kwalitatieve karakter van de opgaven lenen ze zich op zich ook wel voor diskussie in een klassegesprek. U kunt zelf kiezen! Sommige opgaven blijken voor leerlingen wat moeilijk te zijn om zelfstandig aan te werken.

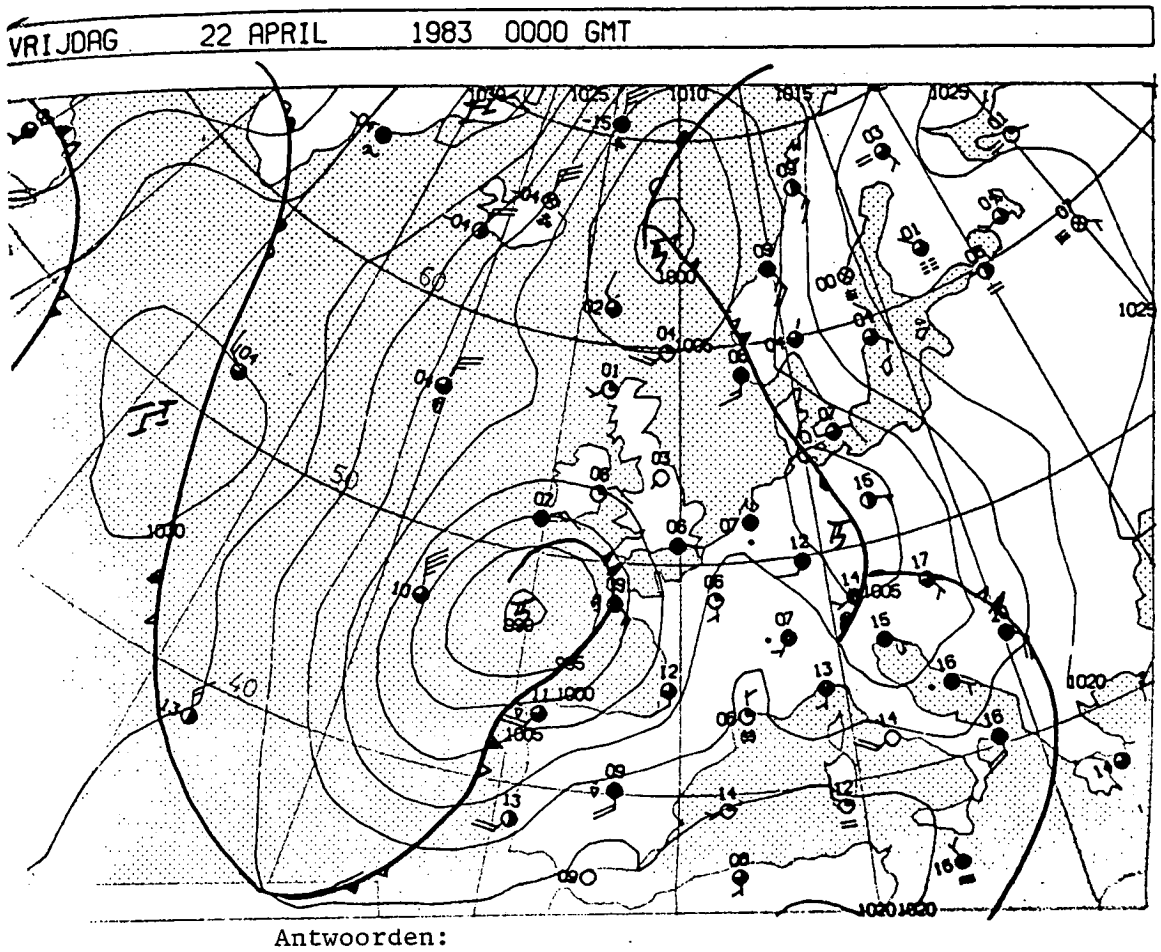
Toelichting op de opgaven.

Goed kijken

1. Er is een depressie in aantocht; meestal meer wind, regen, lagere temperatuur.
2. Verwijs nog eens naar par. 5.5
3. Er is een grote kans op onweersaktiviteit; we noemen zo'n bewolking wel "donderwolken".
4. Als er dus wel wind waait 's nachts is dat ook een teken dat er een depressie nadert.
5. Moeilijke vraag; het stekende gevoel wordt veroorzaakt doordat de huid niet voldoende kan afkoelen door verdamping; grappig is, dat het beeld van een zon als aktieve "steker" dus onjuist is.
6. Deze wolken hebben daarvoor een te geringe dikte; ook bestaan ze vaak geheel uit waterdruppels, zodat het neerslagproces niet op gang kan komen (zie ook nog eens par. 4.5).
7. Moeilijke vraag; de scherpe aftekening wijst op een droge wolkenbasis en de benedenwaartse richting op dalende luchtstromingen; beide effekten belemmeren de vorming van regen of buien.
8. Laag bij de grond is de grootste afkoeling, waardoor er een stabiele atmosfeer ontstaat, eventueel zelfs met inversies. De vochtigheid bij de grond zorgt dan voor mist en nevel.

Weerkaarten interpreteren

9. Deze opgaven vragen naar inzicht. Als toetsvragen kunnen ze beter ingeleid worden met wat beschrijvende vragen (aflezen weerkaartjes bijv.).
   - een koufront is gepasseerd, maar geeft in het binnenland nog een kleine kans op een bui.
   - door de opklaringen kan het de komende nacht tamelijk koud worden
   - de aanwezigheid van het hoge drukgebied zorgt voor geringe weersaktiviteit: minder wind en krimpende wind
   - later in de week zal het front bij IJsland het weer gaan bepalen, met meer kans op regen.
10. Uit het hierbij afgedrukte kaartje van 12 uur later blijkt dat je uit een moment opname alleen ook niet alles kunt afleiden.



Antwoorden:

- een koufront, dat niet al te snel verplaatst
- frontpassage, waarna de wind ruimt
- koudere lucht schuift onder de warmere lucht waardoor op het scheidingsvlak wolken ontstaan, waaruit regen valt.
- luchtdruk zal afnemen, windkracht zal toenemen.

11. - ca 10 m/s; 990 mbar
- tegen de wijzers van de klok in
- de windkracht geeft een gemiddelde aan: ca. 110 km/u windstoten kunnen daar boven komen.
- de afstand is ongeveer 700 km in 12 uur afgelegd — snelheid 60 km/u.

Het weerbeeld voor jouw situatie

12. Een wat ludieke vraag; het is natuurlijk mogelijk de afgedrukte weerberichten veel nauwkeuriger te analyseren op informatie.

In bijlage D5 zijn ook enkele opgaven die een verwerkingskarakter hebben opgenomen.

WEERSBEINVLOEDING

De bedoeling.

Het weer is in de voorgaande hoofdstukken aan bod gekomen als een autonoom proces dat door mensen kan worden geobserveerd en (in beperkte mate) voorspeld. In werkelijkheid oefenen mensen ook invloed uit op het weer, gewild en (meestal) ongewild.
Het leek ons belangrijk aan deze weersbeinvloeding door mensen ook aandacht te besteden. We hopen daarmee te bereiken dat leerlingen discussies (o.a. in de media) over deze onderwerpen beter kunnen volgen en er zelf in kunnen participeren. Het hebben van een eigen standpunt is daarbij niet een noodzakelijk vereiste. Wel het kunnen interpreteren van argumenten die in deze discussies te berde worden gebracht. In de kursus is dit hoofdstuk van het thema het eerste moment waarop aan ecologische onderwerpen aandacht wordt besteed. In "Energie en Kwaliteit" en in "Ioniserende Straling" bestaat later in de kursus de gelegenheid om het ecologisch inzicht van de leerlingen verder te ontwikkelen.

Uitwerking lessenplan.

Voor dit hoofdstuk zijn in het lessenplan 3 lessen beschikbaar. Daarvoor moeten bepaalde keuzes worden gemaakt. Omdat die zeker in dit geval nogal persoonlijk zullen zijn, beperken we ons hier tot het geven van suggesties over hoofdpunten en werkvormen.

Hoofdpunten.

a. mogelijkheden om op verschillende schaal invloed uit te oefenen op het weer,
b. relatie tussen luchtverontreiniging en bepaalde weersomstandigheden,
c. zure regen-vraagstuk
d. broeikaseffekt.

De vier onderwerpen hangen samen met problemen waar onze samenleving mee te maken heeft, die op korte termijn nog niet opgelost zijn en waarbij enig fysisch inzicht noodzakelijk is om te begrijpen wat het vraagstuk inhoudt. In kranten en tijdschriften wordt regelmatig hierover geschreven. Het is aan te bevelen enkele van deze publikaties bij de lessen te betrekken. Vier onderwerpen is wellicht wat veel voor 3 lessen. Vanuit fysisch en maatschappelijk oogpunt zou bij een keuze veel te zeggen zijn voor de onderwerpen b. en d.

Werkvormen.

1. Informatie uit themaboek lezen en opgaven maken en bespreken,
2. aanvullende artikelen zoeken en bestuderen,
3. deskundige in les uitnodigen of interviewen,
4. lokale informatie over luchtverontreiniging verzamelen en bespreken.

Aanwijzingen per paragraaf.

7.1 • Nadruk leggen op onderscheid tussen gewilde en ongewilde vormen van weersbeinvloeding. Ongewilde effecten vaak op lange termijn merkbaar, grootschalig, moeilijk vast te stellen en verweven met belangen-tegenstellingen (bijv. werkgelegenheid en kostenbesparing versus natuurbehoud).

7.2 • Deze paragraaf sluit vooral aan op de hoofdstukken 3 en 4. Er wordt soms woest gespeculeerd over dit onderwerp maar voorlopig heeft de mens nog weinig greep op het weer.
Niet alle mogelijkheden van weersbeinvloeding die genoemd worden, worden nu nog toegepast. In Nederland wordt op de vliegvelden niets aan mistbestrijding gedaan (voorzover ons bekend) en in andere landen wordt alleen de AgJ-methode daadwerkelijk (met wisselend succes) gebruikt om regen te vormen.

• Kleinschalig wordt er door boeren en tuinders wel veel aan weersbeinvloeding in ruime zin gedaan: binnenklimaat in kassen, vorstbestrijding, windbeinvloeding, vochtigheid van de grond regelen.

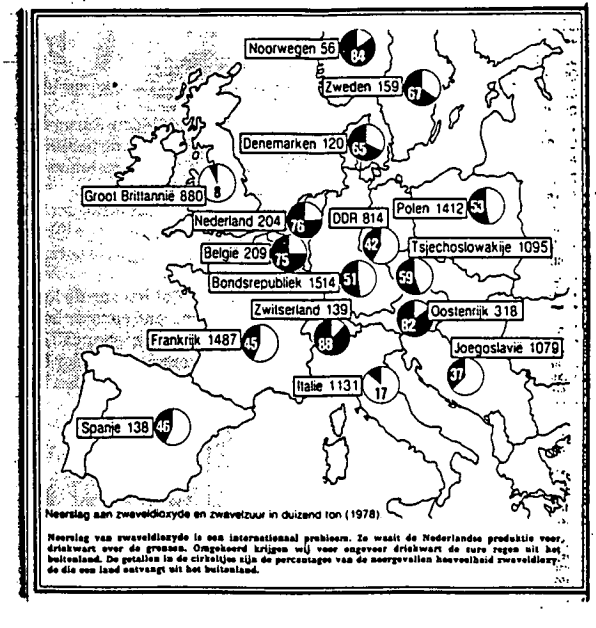
• De zeer grootschalige maatregelen worden genoemd met het oog op een discussie over de ethische aspekten van dergelijke voornemens: onder welke voorwaarden is zoiets toelaatbaar, wie zullen voor- en nadelen ondervinden?

7.3 • Dit onderwerp is van groot belang voor bepaalde gebieden in Nederland: Rijnmond met name. Leg vooral nadruk op relatie tussen temperatuurprofiel van atmosfeer en concentratie. De menghoogte speelt een grote rol in samenhang met de hoogte van schoorstenen.

• Het bepalen van de menghoogte zelf voor liefhebbers (wat lastig onderwerp).

• Verzamel zo mogelijk lokale informatie en doe lokale waarnemingen (onder welke omstandigheden ruik je naburige fabrieken het sterkst?).

7.4 • Zure regen staat de laatste tijd sterk in de belangstelling. Werk eventueel samen met docenten biologie en scheikunde.
Eigenlijk geen goed voorbeeld van weersbeinvloeding maar zo samenhangend met luchtbeweging boven Europa en met neerslagvorming en van zo groot belang dat we er toch een paragraaf aan wijdden.



7.5 • Vaak genoemd in energiediskussies maar moeilijk te begrijpen waar het om gaat zonder enig inzicht in absorptie, uitstraling, transmissie en verschillende soorten straling. Naam broeikaseffekt wat misleidend omdat het glas in een broeikas vooral ook de lucht vasthoudt terwijl het CO_2 dat in de atmosfeer niet doet.

- De effekten zijn nog zeer omstreden en de controversen zijn niet eenvoudig op te lossen. De paragraaf helpt hopelijk om al te simplistische stellingnamen rond het broeikaseffekt wat te nuanceren.
- In bijlage I5 een artikel over Modellen onderzoek van ijskap en -plaat.

Toelichting bij de opgaven.

weers-beheersing
1. A/B: Bergeronproces; C: coalescentieproces.
2/3. Regenmaken op de ene plaats gaat ten koste van regenval elders; de effekten van AgJ op de bodem nog onzeker; wie mag eigenlijk uitmaken wanneer het waar regent?
4. A: Koude mist; B: warmere mist.
5. a. het ijsvrij maken van Noord-Russische havens
b. USSR.
c. smelten van ijs en daardoor stijging van zeeën
d. kool absorbeert straling door donker oppervlak
e. afweging van belangen van naties; wie mag de knoop doorhakken?
6. Bij het bevriezen van water komt warmte vrij zodat tere boomdelen minder snel afkoelen.

luchtverontreiniging
1. Raadpleeg lokale bronnen. Hinderwet.
2. Spreekt voor zich
3. Veel boeken over het weer bevatten anecdotes over deze gevallen.
4. Veel stofdeeltjes: condensatie- en vrieskernen bevorderen druppel- en ijsvorming. Zeer veel stofdeeltjes: te veel druppel en ijsdeeltjes die te klein zijn om te kunnen groeien in voldoende mate.
Rond een stad spelen zo veel faktoren een rol (warmteproduktie, windrichting, luchtweerstand, temperatuurprofiel, soorten stofdeeltjes, aard van de omgeving van de stad) dat moeilijk is uit te maken in welke mate stofdeeltjes een rol spelen.
5. 300 ppm
6. 1500 x groter
7. Hoogte opvragen of uit hoekmeting bepalen.
8. Hoge drukgebied boven ons land; weinig wind; temperatuurinversie boven de hoogste schoorstenen; wind uit Westen.

zure regen
1. Spreekt voor zich.
2. Kolen bevatten vaak zwavel (S). Verbranding leidt tot SO_2-vorming en SO_2 draagt bij aan zure regen. Geen SO_2 in uitstoot van kerncentrale.
3. Nederland ca. 150 km breed. Bij Westenwind (10 m/s) in 4 uur lucht ververst. Verversen is betrekkelijk: de lucht uit andere landen is niet schoon. Driekwart van de in Nederland SO_2 komt uit het buitenland.

4. Normen verscherpen voor het zwavelpercentage van kolen en van de uitstoot van verkeer, chemische en bio-industrie.
5. Van de windrichting en van neerslagbrengende fronten en depressies.
6. Steeds zuurdere regen in Scandinavie, Zwitserland, Noord Italie en Groot-Brittanie.

Broeikas-effekt

1. a. verbranding fossiele brandstoffen
   b. koolzuurassimilatieproces in bomen en planten bij daglicht, oceanen nemen ook veel CO_2 op.
   c. toename door minder koolzuurassimilatie.
2. Meer groen in de zomer betekent meer koolzuur opgenomen door planten. Denk aan seizoenverschillen tussen Noordelijk en Zuidelijk halfrond.
3. Vooral belangrijk argumenten te inventariseren en te wegen. Daarna eventueel standpuntbepaling.

Kooldioxyde

Uit analyses van boormonsters, die zijn genomen van het Antarctisch poolijs, blijkt dat het kooldioxydegehalte in de atmosfeer tussen 2500 en 800 jaar voor Christus ongeveer 0,26 percent heeft bedragen. Dit schrijven twee onderzoekers van een Frans en twee onderzoekers van een Zwitsers laboratorium in een gezamenlijke publikatie in het weekblad Nature van 2 juni 1983. De beide groepen hebben onafhankelijk van elkaar hetzelfde boormonster bestudeerd. De onderzoekers hebben het kooldioxydegehalte van lucht gemeten, dat tijdens de vorming van het ijs in de vorm van bellen werd ingesloten. Dit gehalte is volgens de onderzoekers representatief voor de concentratie van kooldioxyde in de lucht in de periode dat het ijs werd gevormd, in dit geval tussen 2500 en 800 voor Christus. Het monster dat beide groepen hebben bestudeerd is afkomstig van een diepte van 132,9 meter onder het ijsoppervlak. De onderzoeksgroepen gebruikten elk een andere analysemethode. De Zwitserse groep gebruikte monsters van 1 à 2 gram voor de analyse in een infrarood laserspectrometer, de groep in Frankrijk gebruikte monsters van 30 à 40 gram voor de analyse in een gaschromatograaf. De gevonden kooldioxydeconcentratie van 0,26 percent ligt aanzienlijk lager dan de huidige concentratie van 0,34 percent. Uit andere metingen is gebleken dat deze stijging vooral veroorzaakt is na de industriële revolutie, als gevolg van de grootscheepse verbranding van fossiele brandstoffen waarbij gevormd kooldioxyde in de atmosfeer terecht komt. Een toename van het kooldioxyde in de atmosfeer veroorzaakt een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde, waardoor het klimaat(regens, droogten e.d.) op aarde verandert. Recent nog stelde een commissie van de Gezondheidsraad dat tussen het jaar 2050 en 2100 bij het huidige gebruik van fossiele brandstoffen de kooldioxydeconcentratie zal zijn verdubbeld, waardoor de temperatuur op aarde gemiddeld met twee graden zal stijgen. Regionaal kan die stijging aanzienlijk hoger of lager liggen.

De Volkskrant van 11 juni 1983.

Zoek de fouten op!

MET HET WEER IN DE WEER.

Bedoeling.

In het voorstel voor het EPEP-HAVO wordt ook ingegaan op het kenmerk van differentiatie via keuze-lestijd in de kursus. Argumenten die worden aangedragen om een deel van de lestijd (15% à 20%) te vullen met aktiviteiten naar de "vrije" keuze van leerlingen zijn:

1. Het helpt leerlingen die op een verschillende manier leren, die verschillende aktiviteiten plezierig vinden en die een verschillend tempo hebben, om zo goed mogelijk de leerwinst uit de basisperiode te consolideren en te verwerken (didaktisch argument).
2. Het geeft leerlingen de mogelijkheid in te spelen op eigen interesses en probleemstellingen (motivatie argument).
3. Door een zinnige invulling in de richting van een orientatie op aktiviteiten, zoals ze in vervolgopleidingen voorkomen, kan een betere aansluiting daarop gerealiseerd worden (doorstromingsargument).
4. Het stimuleert leerlingen meer zicht te krijgen op zichzelf, op eigen kunnen en onvermogens en op de manieren, waarop ze met anderen kunnen omgaan (pedagogisch argument).
5. Een aantal vaardigheden, zoals rapporteren en het opzetten van een onderzoek, die belangrijk genoeg zijn om aandacht aan te besteden, kunnen beter geoefend worden in een gedifferentieerde opzet (doelstellingen argument).

Nu is een bekend probleem dat dergelijke keuze-periodes, dat ze nogal eens in de verdrukking komen, worden opgeofferd aan de "basis" van het thema of worden gebruikt voor oneigenlijke doelen, als repeteer-aktiviteiten, examentraining e.d.
Wil je landelijk gezien een kans maken om tot een substantiele reduktie van de leerstoflijst te komen, juist om keuzeaktiviteiten mogelijk te maken, dan zal moeten worden geprobeerd op de proefscholen om aan dergelijke periodes een zinvolle invulling te geven.
Dat heeft enkele konsekwenties voor de mate van "vrijheid" van de leerlingen in deze keuzeperiode.
Wij gaan van 5 "principes" uit:

- de onderwerpkeuze valt binnen de thematische kontekst van het thema, of sluit daar direkt bij aan.
- het onderwerp bevat natuurkundige aspekten, ook al is het vrij te kiezen uit samenleving, techniek of wetenschappelijke natuurkunde
- in elke keuze-periode bij een thema staat één bepaalde vaardigheid centraal
- er vindt een beoordeling plaats van de prestaties van de leerlingen
- er is geen "harde" uitwisseling van de onderwerpen die onderzocht zijn, dat wil zeggen dat de leerlingen inhoudelijk van elkaars onderwerpen niet *hoeven* te leren.

De keuzeperiode bij het thema "Weersveranderingen" is de eerste "vrije"-keuze voor leerlingen in 4 HAVO. Dat betekende voor ons, dat we ze nogal aan de hand nemen wat betreft mogelijke onderwerpen, mogelijke onderzoeksvragen en de gronden waarop je als leerling kunt kiezen.
Voorts is in dit thema de vaardigheid *omgaan met informatie* centraal gesteld, hetgeen vooral in dit hoofdstuk 8 wordt uitgewerkt.
Samengevat zijn de doelen voor de leerlingen in hoofdstuk 8, dat ze
- beter leren om te gaan met informatie en de bronnen daarvan
- een keuze voor onderwerp en onderzoeksvraag kunnen maken, die aansluit bij eigen interesse en/of mogelijkheden
- binnen een tamelijk open lessituatie zelfstandig verantwoordelijkheid kunnen dragen voor leeraktiviteiten en leerwinst.

Uitwerking lessenplan.

Voor de keuzeperiode zijn 4 lessen uitgetrokken.

1e les

- De achtergrond en bedoeling van een vrije-keuzeperiode moet aan de leerlingen worden duidelijk gemaakt. Geef ze houvast met betrekking tot
  - de groepsgrootte
  - de keuzemogelijkheden
  - de tijdsverdeling
  - de regels, die u stelt, over werken buiten de les
  - de rapportagevorm, die u wenst
  - de beoordeling, die u gaat geven

  Toelichting:
  - Bij het soort onderzoek uit dit hoofdstuk 8 is het onhandig om met grotere groepen te werken. Twee à drie leerlingen per groep lijkt een goed aantal.
  - Voor de keuzemogelijkheden kunt u uiteraard verwijzen naar het thema-boek. Ook kunt u aangeven of sommige onderwerpen of bronnen voor de leerlingen niet haalbaar zijn.
  - Een voor de hand liggende tijdsindeling voor de leerlingen is:

les 1	Keuze voor groep en onderwerp (of omgekeerd!) maken en werkafspraken.
les 2/3	Op zoek naar informatie, informatie doorwerken en samenvatten.
les 4	Uitwerking rapportage of voorbereiding beoordelingsmoment (zie verderop).

- In het kader van het zoeken naar informatie is het waarschijnlijk onvermijdelijk dat de leerlingen ook buiten het klaslokaal komen. Overigens kunt u van die aktiviteiten ook eisen, dat ze buiten de normale lestijd plaatsvinden.
- Omdat er in dit thema al een moment voorkomt van mondelinge rapportage is een andere vorm hier misschien beter geschikt; te denken valt aan een schritelijk verslag, een mondeling groepsverslag, een poster of flap of tentoonstellingspresentatie of een korte samenvatting in een kringgesprek.
- De beoordelingen van keuze-aktiviteiten is om twee redenen een probleem: de leerlingen werken meestal niet individueel en de groepjes zijn soms moeilijk vergelijkbaar.
  Geef de leerlingen aan welke beoordelingskriteria u hanteert en hoe de beoordeling uiteindelijk meetelt.

2e/3e les
- Het zal nodig zijn de leerlingen suggesties te geven over de meest geschikte bronnen en materialen van informatie. Maak het ze daarbij niet te makkelijk door alle boeken al klaar te hebben liggen. Raad ze nog eens een keer aan meerdere bronnen aan te boren en met elkaar te vergelijken. Help ze met het schrijven van een brief of het interviewen van een deskundige. Een probleempunt kan zijn dat sommige boeken zeer in trek zullen zijn. In dat geval kunnen er beter wat kopieën worden gemaakt.
- Veel leerlingen zijn geneigd zich bij dit soort werk in hun vesting terug te trekken. Vaak zijn ze huiverig dingen te vragen, ook al omdat ze bang zijn hierop beoordeeld te worden. Praat daar met hen over, zodat ze bijvoorbeeld de onderzoeksvraag even duidelijk met u doorspreken en ook de manier waarop ze de taken verdelen en de eindrapportage vorm willen geven. Dit voorkomt teleurstellingen bij de uiteindelijke beoordeling, ook al omdat leerlingen geneigd zijn nogal wat tijd in dit soort werk te stoppen (wat overigens zeer positief is).

4e les
- Te besteden als uitloop, waarin de rapportage vorm moet krijgen. Om de leerwinst van deze keuze-periode te vergroten is het een aardig idee om tenminste over dat aspekt van de aktiviteiten een kringgesprek te organiseren. Ieder groepje kan dan bijvoorbeeld iets vertellen over de vragen
  - welke bronnen ze hebben gebruikt
  - waar ze de informatie hebben opgehaald
  - of ze op problemen zijn gestuit
  - of ze iets van de keuzeperiode geleerd hebben.

Waarop u kunt beoordelen:
- onderwerpkeuze en onderzoeksvraagstelling
- (aantal) geraadpleegde informatiebronnen
- vermelde informatiematerialen
- analyse en samenvatting
- eindrapportage, verslag

onderscheid hoofd- en bijzaken
goed 2 slecht 0 per gemist hoofdz. $-\frac{1}{2}$.

duidelijkheid < wirwar feitjes 0
< duidelijke lijn 2.

begrip. $-\frac{1}{2}$ per (natuurkundige) fout.

lengte < kort + krachtig 2
< lang + omslachtig 0.

lay out < goed 2
< slecht 0.

assistentie docent < veel -1
< geen 0.

moeilijkheidsgraad < moeilijk/lang 1
< overzichtelijk 0.

vraag aan de klas. < kwaliteit 0 - 1
< over verrijkingsstof < ja 1
< nee 0.

Overige opmerkingen.

- Of de keuzeperiode slaagt hangt mede af van de voorbereidingen die leraar en/of leerlingen ervoor treffen. Orienteer de leerlingen al wat vroeger in het thema eens op hoofdstuk 8 en wat daarin van ze verlangd wordt, zorg ervoor dat in de schoolbibliotheek voldoende boeken over het weer staan, leg al eens een kontakt met een amateurweerkundige in de buurt en met uw collega's van aardrijkskunde en biologie.
- Over het werken met informatie en informatiebronnen bestaan op leerlingnivo enkele instruktieboekjes die gemaakt zijn door "de Stichting dienstverlening vorming en onderwijs Z.O. Drenthe", Batingehof 40, 7824 AZ Emmen, tel. 05910-11121. Zo is er een boekje over het voeren van telefoongesprekken, het maken van een enquete, het opzoeken van informatie in een media- of bibliotheek en het maken van een verslag.
- Ook een excursie, eventueel voor een kleinere groep leerlingen, naar het KNMI ligt voor de hand. Wel is er sprake van een beperkte capaciteit bij dit instituut. Zie hiervoor de door het KNMI verstrekte toelichting in het informatiepakket voor leraren.

De ervaringen zijn in het algemeen goed met dit hoofdstuk. Meestal wordt een verslagje gevraagd, soms wordt ook mondeling gerapporteerd. Op sommige scholen wordt deze keuzeperiode later gedaan in combinatie met het laatste hoofdstuk van het thema Muziek.
Er zijn ook goede ervaringen opgedaan met een combinatie van de hoofdstukken 7 en 8 van dit thema.

LITERATUUR

1. Dr. F.H. Schmidt, Inleiding tot de meteorologie, Aula 112, Spectrum, Utrecht 1976, 320 p.

   Gemakkelijk leesbaar boekje. Ook door leerlingen te gebruiken als naslagwerk voor bepaalde onderwerpen. In het eerste deel wordt een overzicht gegeven van de natuurkundige achtergronden van de meteorologie. In het tweede deel wordt vooral aandacht geschonken aan de algemene overwegingen welke ten grondslag liggen aan het voorspellen van het komende weer. Het derde deel geeft een indruk van het belang van meteorologische voorlichting en meteorologisch inzicht voor de moderne samenleving.

2. Wij en het weer, Stichting Teleac, Utrecht 1977, 208 p.

   Een cursusboek bij de TV-cursus van 1977. Samengesteld in nauwe samenwerking met het KNMI. Goed leesbaar voor leerlingen. Hoofdstukken over:
   - weerbericht in wording
   - het weer gemeten
   - satelliet-waarnemingen
   - wolken en weer
   - weersystemen
   - onweer, tornado's en cyclonen
   - het weerbedrijf
   - de dampkring in beweging
   - klimaat en ijstijden
   - de klanten van het KNMI
   - windkracht 11
   - luchtverontreiniging en weersbeinvloeding
   - amateur weerkunde

3. KNMI, Wolkenatlas, Staatsuitgeverij, Den Haag 1980, 85p.

   Deze atlas is een bewerking van de internationale verkorte wolkenatlas van de meteorologische wereldorganisatie (W.M.O.). In 45 pagina's komen aan bod: definitie en indeling van wolken, beschrijving van wolken, beschrijving van wolkenhemel, waarnemen van wolken en atmosferische verschijnselen. Een veertigtal platen illustreert de tekst.

4. KNMI, Luchtverontreiniging en weer, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1977, 324 p.

   Naast het geven van algemene informatie over de atmosfeer, biedt dit boek vooral veel informatie over de verspreiding van luchtverontreiniging. Te moeilijk voor leerlingen maar een nuttige steun voor de docent bij paragraaf 7.3.

5. M. Minnaert, De natuurkunde van het vrije veld, delen I en II, Thieme, 1968/1970, 408/352 p.

   Schitterende achtergrondliteratuur bij dit thema. Vooral van nut voor leerlingen en docenten die wat dieper op verschillende verschijnselen willen ingaan. Het 1e deel gaat over licht en kleur. De hoofdstukken X XII passen het meest bij dit thema omdat hierin respektievelijk regenbogen e.d. en licht en kleur van wolken aan bod komen. Deel 2 gaat over geluid, warmte en elektriciteit. Hoofdstukken III (zomerwarmte en

winterkoude), IV (wolkenland) en V (Neerslag) zijn gebruikt bij het schrijven van het thema en bieden een schat aan interessante informatie over weersveranderingen.

6. J.C.H. van der Hage en H.R.A. Wessels, Natuurkunde van de atmosfeer, NVON Keuzegroep, Wolters-Noordhoff, Groningen, 1980, 67 p.

   Gaat wat dieper in op straling in de atmosfeer, vertikale opbouw van de atmosfeer, natte boltemperatuur, mistvorming, theorie over condensatie en aerosol, en bijzondere verschijnselen bij cumulonimbi. Voor leerlingen bruikbaar bij hoofdstuk 8. Voor docent nuttig als achtergrondliteratuur.

7. Th. v. Welie, Weerkunde, NVON keuzegroep, Wolters-Noordhof, Groningen, 1980, 79 p.

   Hoofdstuk 6 (de algemene inculatie en het weer boven de grond) bruikbaar voor leerlingen die zich in hoofdstuk 8 met het keuzeonderzoek naar straalstromen en Rossby-golven bezig houden.

8. Alan Watts, Zelf Weervoorspellen, de Boer Maritiem, Bussum, 1975, 64 p.

   Voor 24 situaties wordt aan de hand van foto's een voorspelling beschreven. In het eerste gedeelte worden encyclopedisch enkele weersbenamingen en -uitdrukkingen behandeld. Leesbaar voor leerlingen. Zeer pragmatische aanpak.

9. De Jonge Onderzoeker.

   In dit blad wordt regelmatig aandacht aan het weer geschonken.
   Wij vonden artikelen in de nummers:
   4 (1974): hete zomers
   10 (1974): zelf te maken barograaf
   9 (1975): wisselvallig weer
   2 (1976): onweer
   8 (1977): cijfer voor het weer
   2 (1978): wolkenwijsheid
   3 (1979): de weersverwachting

10. Natuur en Techniek

    Ook in dit blad regelmatig artikelen over het weer.
    Een selektie:

1. Afrika, biosfeer in nood	Nat. en Techn.	44, p. 310,	1976
2. De Sahel-catastrofe		44, p. 62,	1976
3. De ionosfeer		43, p. 756,	1975
4. Aerobiologie		46, p. 356,	1978
5. Water in het landschap		46, p. 820,	1978
6. Tornado's		43, p. 130,	1975
7. De les van het afrikaans treurspel		44, p. 382,	1976
8. Hagel		44, p. 804,	1976
9. IJskristallen in de atmosfeer		45, p. 166,	1977
10. Weervoorspelling		51, p. 2,	1977

LITERATUUR

11. Overige literatuur (o.a. verkrijgbaar via bestelling bij Stichting de Koepel, 030-311360).

- Wat voor Weer? J. Pelleboer; 96 p, *f*19,-
- Wolken voorspellen het weer, C. Keidel; 128 p, *f*23,75
- Elseviers gids voor het weer, G. Roth; 248 p, *f*38,50
- Weer of geen weer, J. Buisman; 247 p, *f*29,50
- Wolken in de atmosfeer, B. Zwart; 21 p, *f*3,-
- De weermachinerie, N. Calder; 143 p, *f*22,50
- De betrouwbaarheid van de weersverwachting, H. Geurts; 103 p, *f*6,-
- Almanak van weer en klimaat (in Nederland), H. Geurts; 72 p, *f*32,-
- Tijdschrift Zenit, De Koepel, *f*62,50 per jaar (Maandblad voor popularisering en amateurbeoefening van sterrenkunde, weerkunde, ruimteonderzoek en instrumentbouw. Bevat o.a. vergelijkende overzichten van het weer door de seizoenen heen, commentaar op bijzondere weersverschijnselen en algemene inleidende artikelen over weerkundige verschijnselen met hun natuurkundige verklaringen).

12. Het dagelijks weerbericht van de KNMI.

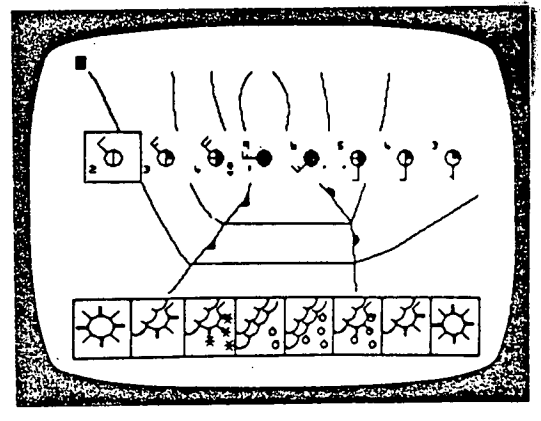
Dagelijks Weerbericht

Verschijnt dagelijks in 2 uitgaven. (Verzending vindt niet plaats op zaterdagen, zon- en feestdagen).
Uitgave 1: bestaande uit -een blad met aan beide zijden weerkaarten en grafische voorstellingen
-een blad met gecodeerde waarnemingen (24 waarnemingsposten, 4 waarnemingen per dag) en met gemiddelden, extremen en sommen (18 waarnemingsposten inclusief 2 lichtschepen/-eiland).
Uitgave 2: bestaande uit een blad met aan beide zijden weerkaarten en grafische voorstellingen.

Abonnement uitgave 1: f. 137,28 per jaar, f. 36,92 per 3 maanden (incl. 4% B.T.W.).
uitgave 2: f. 114,40 per jaar, f. 31,20 per 3 maanden (incl. 4% B.T.W.)

In het leraren-informatiepakket van het KNMI zit een opgave van dia's en film(stroken).

- Geschikte films lijken ons:
  - Boven de horizon van de Canadese Ambassade
  - Het KNMI in de weer van het NIAM, die overigens ook op de leerling-excursie naar het KNMI wordt vertoond.
- Van de dia-series die in de handel zijn, zijn er een aantal nogal eenvoudig.
  Enkele dia-series zijn op het PLON te bekijken.
- In april 1983 heeft Polyvisie b.v. te Hilversum een schitterende diaserie met klankbeeld uitgebracht getiteld "Weertypen". Het geheel is goed bruikbaar bij dit thema, als introduktie, maar ook tijdens de verschillende hoofdstukken.
  Inhoud: wolken, weerverwachtingen, weerspatronen, hoge- en lage druk gebieden, waarnemingen en weerstations.
  Over de leveringsvoorwaarden wordt nog overleg gevoerd. De huidige prijs is ca. *f*60,-
  Adres: Polyvisie b.v.
  s' Gravenlandse weg 78A
  Postbus 508
  Hilversum
  Tel. 035-15703
  Bestelnummer diaserie K9182.
- Heinemann Computers in Education heeft een computerprogramma getiteld "Weather".
  Bij dit programma kan de leerling, mits hij Engels kan lezen, aan de hand van een gegeven weerkaartje met een warmte- kou- en occlusiefront voorspellingen verifieren over de belangrijkste weerkundige grootheden en ook bijv. wolkentypes op diverse plaatsen op de kaart. Het weer-systeem kan ook worden verschoven over het scherm zodat veranderingen duidelijk worden.
  Op zichzelf een uiterst instruktief programma, dat een voorbeeld is voor goed gebruik van de computer in het onderwijs. Het PLON beschikt over één exemplaar.
  Het is te bestellen bij:
  Heinemann Computers in Education
  Freepast EM 17, 22 Bedford Squere
  London WC 1B 3BR



Weather

geography; 13 years and above

This program may be used in teaching elementary meteorology, including recognition of simple pressure systems from isobar patterns; the standard weather symbols; the relationship between cloud types and fronts, and between wind speed and barometric gradient; and the location of fronts on a weather chart, given simple statistics. It provides a bank of data, in the form of synoptic charts, for a network of thrity-two weather stations which appear as a pattern of points on the screen. Once one of the four weather maps has been selected, the fronts, isobars, and any combination of temperature, wind speed, wind direction, cloud cover, and precipitation may be displayed. The weather system can also be moved across the screen, allowing elementary ideas of weather forecasting to be introduced.

The package, which may be used by individual pupils or for class demonstration, is suitable for students of varied ability studying for public examinations in geography, and may also be useful in more general courses.

ADRESSEN

1. KNMI, Wilhelminalaan 10, Postbus 201, 3730 AE De Bilt, tel. 030-766911

   Op aanvraag overzichten van literatuur, diaseries en films verkrijgbaar. Verder is informatie leverbaar over excursiemogelijkheden en over door het KNMI uitgegeven publikaties.

2. Werkgroep Weeramateurs, secr. H. van Bergen, Wortmanstraat 168, 8265 AH Kampen, tel. 05202-21416

Werkgroep Weeramateurs

De Werkgroep Weeramateurs is er voor iedereen die het weer als hobby heeft. Zij werd op 1 april 1970 door een aantal scholieren in Den Haag opgericht. Van een klein groepje enthousiaste jonge mensen, vooral geïnteresseerd in het verrichten van eenvoudige weerkundige waarnemingen, groeide de Werkgroep in tien jaar uit tot een landelijke organisatie binnen de N.V.W.S. met ruim 600 leden uit alle leeftijdsgroepen.
Weeramateur zijn betekent niet zozeer het weer voorspellen, als wel zelf metingen verrichten en waarnemingen doen om die te kunnen vergelijken met anderen. Zo meten veel leden bijvoorbeeld op bepaalde tijdstippen de neerslag of lezen de thermometer af. Op het eind van de maand worden de cijfers op speciale standaardformulieren ingevuld en opgestuurd naar een centraal adres. Daarna wordt er een verslag van gemaakt ten behoeve van het maandblad van de Werkgroep, de *Weerspiegel*. In verschillende rubrieken in de Weerspiegel, zoals klimatologie, bijzondere weersverschijnselen, onweer, sneeuw, en optische verschijnselen zijn de waarnemingsgegevens van de leden eveneens terug te vinden.

Het is voor de leden niet verplicht mee te doen aan de systematische waarnemingen. Men kan zich beperken tot het lezen van de Weerspiegel. Allerlei meteorologisch nieuws wordt in het tijdschrift opgenomen. De leden kunnen ook zelf kopij insturen.
Om de onderlinge kontakten tussen de leden te bevorderen worden enkele malen per jaar landelijke bijeenkomsten georganiseerd (meestal op het KNMI). Bovendien zijn er voor de leden regionale groepen met ieder een eigen regioleider. Ook zij ontplooien aktiviteiten: diavoorstellingen, excursies, lezingen en tentoonstellingen zijn daar voorbeelden van.
Er bestaan goede kontakten met het KNMI in De Bilt. Dank zij doelgerichte projekten kunnen op die manier metingen van amateurs ook van nut zijn voor beroepsweerkundigen en tenslotte ook voor de Nederlandse samenleving als geheel. Zo zijn er al onderzoekingen gedaan naar de kwaliteit van de weersverwachtingen voor de verschillende gebieden van ons land en naar het optreden van zeewind. Thans worden ook de onweerswaarnemingen van amateurs door het KNMI gebruikt. De werkgroep heeft bovendien goede kontakten met de omroep: Regelmatig worden aktuele waarnemingen, gedaan door amateurs, direkt via de radio verspreid. Verscheidene leden leveren bijdragen aan regionale kranten.
Voor de technisch georiënteerde amateur heeft de Werkgroep schema's voor de zelfbouw van instrumenten en weerhutten. Er is een instrumentencommissie die adviezen verstrekt over het opstellen en aanschaffen van instrumenten.
De Werkgroep beschikt over een eigen bibliotheek en documentatie-centrum, waar de leden gratis boeken kunnen lenen en waar kopieën kunnen worden opgevraagd van aktuele publikaties in kranten en tijdschriften.
Aan alle hier vermelde aktiviteiten kan iedereen meedoen. Vraag eens een gratis informatiepakket bij het secretariaat van de

Werkgroep: Herman van Bergen, Wortmanstraat 168, 8265 AH Kampen, tel. 05202-21416.

3. Werkgroep Kunstmanen, informatieadres: J.H. Scherhorn, Hugo de Grootstraat 1, 1215 CX Hilversum, tel. 035-46609.

De huidige werkgroep is voortgekomen uit een groep visuele kunstmaan-waarnemers en een groep radio-amateurs. Ze werd in 1973 opgericht binnen de Stichting 'De Koepel'.

Visuele waarneming van kunstmanen

Kunstmanen waarnemen is veel meer dan alleen maar naar de sterren kijken, de waarnemingen worden gebruikt om de banen van de kunstmanen te bepalen, en de veranderingen in deze banen vertellen iets over de vorm van de aarde en de dichtheid van de bovenlagen van de dampkring.

Het visueel waarnemen van kunstmanen komt hierop neer dat de waarnemer voor één of meer exact te bepalen tijdstippen de waargenomen positie vastlegt. Met behulp van voorspellingen heeft hij van te voren de baan van de kunstmaan, die hij gaat opzoeken, uitgelegd op de sterrenkaart. Een stopwatch heeft hij gestart op een bekend tijdstip. Met de prismakijker gewapend en de hemelstrook, waardoor heen de kunstmaan zal komen, in gedachten, gaat de waarnemer naar buiten en wacht de strook afzoekend de satelliet op. Nu hangt het van de waarnemer af hoe hij verder werkt. De één heeft tevoren op de kaart uitgezocht waar hij het object zal 'sporen', de ander volgt net zo lang tot het object een ster bedekt of tussen twee zeer nabijgelegen sterren doorschiet en spoort dan. Met 'sporen' bedoelen we dan de stopwatch stoppen en de positie met betrekking tot de sterren goed opnemen, teneinde de positie ervan uit te meten. *Visuele waarnemingen* worden in Nederland naar een *centraal punt* gestuurd en van daaruit gebundeld doorgezonden naar die instituten die zulke waarnemingen verwerken in Engeland, de Sovjet Unie, Hongarije, Frankrijk en de USA.

Radiofrequent waarnemen van kunstmanen

Een aantal kunstmanen kunnen naast *visueel* ook op *radio-frequenties* waargenomen worden. Als uitgangspunt hiervoor geldt: werken met betrekkelijk eenvoudige en relatief goedkope middelen.

Eventueel kan het ontvangen signaal verder omgezet worden, bijvoorbeeld in beelden.

1. De belangrijkste bron hiertoe vormen de *weersatellieten:* in de frequentieband 135,6-138 MHz, de Amerikaanse TIROS/NOAA en de Russische METEOR satellieten. In de frequentieband 1690 MHZ o.a. Meteosat.
2. In de 137 MHz band kunnen nog een aantal andere typen satellieten waargenomen worden.
3. Tenslotte is er nog een interessante groep, de *Oscar-satellieten.* Deze satellieten zijn gebouwd door *zendamateurs* en bestemd voor communicatie door zendamateurs.

Weerfoto van de TIROS-satelliet, opgevangen door amateurs.

Benodigde waarnemingsapparatuur

In alle gevallen van radiofrequent waarnemen van kunstmanen heeft men globaal minimaal nodig:

- een antenne
- een FM-ontvanger met voldoende bandbreedte, eventueel aangevuld met een converter, die de frequentieband kan transformeren.

Bij observatie van weersatellieten heeft men nog registratie-apparatuur nodig, of mechanisch ofwel electronisch-optisch.

Bij waarneming van de Oscar-satellieten moet men nog beschikken over een zender en telexapparatuur.

Aktiviteiten van de Werkgroep

De leden van de werkgroep wisselen op landelijke bijeenkomsten informatie uit. Daartoe worden een aantal malen per jaar vergaderingen belegd en excursies gehouden. Tweemaandelijks ontvangen de leden *de Kunstmaan,* een blad met artikelen over o.a. werkzaamheden binnen de werkgroep, lanceerdata en nieuwe ontwikkelingen m.b.t. satellieten.

De werkgroep beschikt over een bibliotheek, die zoveel mogelijk lectuur op het gebied van waarnemen van kunstmanen verzamelt. De leden kunnen over deze literatuur beschikken. Zoals reeds gezegd volgt de waarnemer de satelliet aan de hand van *baanvoorspellingen.* Deze worden binnen de werkgroep voor de leden gemaakt.

Andere aktiviteiten van de werkgroep zijn o.a. het uitvoeren van werkopdrachten. Zo werd een tijdseinontvanger gebouwd ten behoeve van de *visuele* kunstmaanwaarnemers en is een Meteosat-ontvanger en een beeldschrijver ontwikkeld.

Tenslotte geeft de werkgroep een losbladige documentatiemap uit, waarin alle door de leden ontwikkelde projecten worden opgenomen met beschrijvingen, schema's en werktekeningen.

Informatieadres van de Werkgroep Kunstmanen: J. H. Scherhorn, Hugo de Grootstraat 1, 1215 CX Hilversum, tel. 035-46609.

ADRESSEN

4. Stichting de Koepel

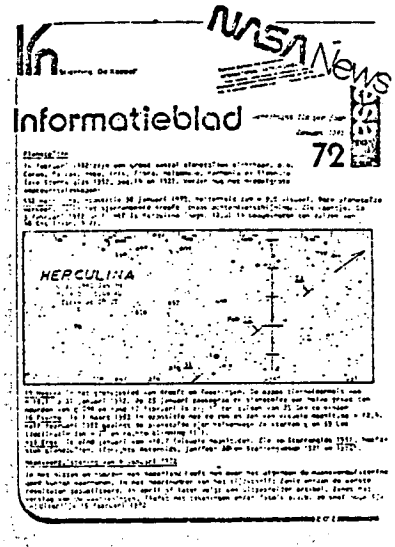
De Stichting 'De Koepel' is een samenwerkingsverband van diverse organisaties, zoals de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde en de Stichting Volkssterrenwacht Simon Stevin. Bovendien werkt 'De Koepel' nauw samen met de NVR (Nederlandse Vereniging voor Ruimtevaart), en regionale volkssterrenwachten, deels verenigd in de LSV. De Stichting 'De Koepel' heeft als hoofddoelstelling: 'het populariseren van de weer- en sterrenkunde en aanverwante wetenschappen en technieken'. Zij wil dit verwezenlijken o.a. door het uitgeven van het *maandblad Zenit,* waarin artikelen verschijnen ten behoeve van de geïnteresseerde leek maar ook voor de gevorderde amateur die met zelfgebouwde instrumenten of anderszins onderzoekingen verricht.

Sinds enkele jaren geeft de Stichting ook in opdracht van de NVWS de *Sterrengids* uit (zie volgende bladzijde). Voorts beschikt de Stichting over een bureau met een aantal medewerkers. Hun voornaamste taken zijn: het geven van inlichtingen en adviezen op vragen en verzoeken die het bureau bereiken: betreffende de aktiviteiten van de aangesloten organisaties en allerlei sterrenkundige problemen. Daartoe zijn een aantal brochures gemaakt en wordt iedere maand een *Informatieblad* samengesteld, waarin de aktiviteiten van alle aangesloten organisaties vermeld staan.

Bij 'De Koepel' krijgt u advies over en is gelegenheid tot koop van boeken, atlassen, sterrenkaarten, posters, dia's, globes, bouwtekeningen van teleskopen, slijpmiddelen voor het zelf vervaardigen van spiegels, komplete teleskopen en andere instrumenten. **Een prijslijst met het komplete leveringsprogramma wordt op aanvraag gratis toegezonden.**

'De Koepel' organiseert cursussen, zowel voor de beginnende amateur, als voor de geïnteresseerde leek. Veelal in samenwerking met de NVWS of met volkssterrenwachten.
'De Koepel' stelt materiaal ter beschikking voor tentoonstellingen en manifestaties.
'De Koepel' geeft voorlichting via de persmedia en via het onderwijs. Leerlingen kunnen brochures krijgen voor werkstukken en voor leraren zijn er onderwijsleerpakketten en bestaat er de mogelijkheid tot uitlenen van demonstratiemateriaal.
Ook is er een uitleenbibliotheek aanwezig met boeken, tijdschriften, dia's en foto's.
De Stichting wordt sinds haar oprichting (in 1973) voor een deel gesubsidieerd door het ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur. Het tijdschrift Zenit en de Sterrengids vallen buiten deze subsidie.

Stichting 'De Koepel'
Nachtegaalstraat 82 bis,
3581 AN Utrecht. Telefoon 030-311360
Openingstijden: ma t/m vrijdag: 9-17 uur



Bibliotheek
De bibliotheek van de Stichting 'De Koepel' is gebaseerd op een deel van de voormalige NVWS-bibliotheek, verder op schenkingen van partikulieren en voor een klein deel op aankoop. In totaal ruim 1500 boeken, brochures en overdrukken van artikelen. Bovendien is er een aanzienlijk tijdschriftenbestand, van zowel amateur- als vakbladen uit vele landen in en buiten Europa. Een kaartsysteem zowel op auteur als op onderwerp is aanwezig.
De uitleenprocedure is als volgt:
1. Alleen *boeken* worden uitgeleend en dat kan dan op twee manieren of wel door ze af te halen op het bureau, ofwel per post. De uitleentermijn is 1 maand, verlenging is mogelijk mits schriftelijk aangevraagd. U kunt schriftelijk of telefonisch informeren of een bepaald boek of onderwerp aanwezig is. Bij verzending wordt een acceptgiro bijgevoegd voor de verzendkosten.
Naar België via rekening.
2. *Tijdschriften* worden niet uitgeleend, wel is het mogelijk kopieën aan te vragen van artikelen, indien deze van een oude, niet meer lopende jaargang van het tijdschrift zijn. De kopiekosten zijn *f* 0,25 per pagina, exclusief verzendkosten. Bij verzending geschiedt de betaling weer per acceptgiro, c.q. via rekening.

Informatieblad
In september 1975 verscheen het eerste nummer van het Informatieblad van de Stichting 'De Koepel'. Het is bedoeld als aanvulling op Zenit. Het verschijnt elf maal per jaar. Ieder nummer heeft minimaal 4 en maximaal 8 pagina's. U vindt er allerlei korte nieuwtjes in, recente ontdekkingen e.d., op het gebied van de sterrenkunde, ruimtevaart en weerkunde, afkomstig van NASA, ESA, IAU, NSF, sterrenwachten en instituten en buitenlandse tijdschriften. Vast onderdeel zijn de maandoverzichten van de zonnevlekkengetallen. Daarnaast biedt het Informatieblad een volledig overzicht van het programma van de komende maand van lezingen, colloquia, waarnemingsakties, tentoonstellingen, films, excursies etc., georganiseerd door afdelingen van de NVWS, JWG, NVR, VVS, JVS, volkssterrenwachten en sterrenkundige instituten. Het blad wordt gestencild waardoor zeer recente meldingen nog kunnen worden opgenomen. De prijs voor een jaarabonnement 1983 is *f* 12,50. Een gratis proefnummer is verkrijgbaar bij de Stichting 'De Koepel' te Utrecht.

5. Nederlandse Vereniging Weer- en Sterrenkunde

In 1901 werd in Nederland een vereniging opgericht om de belangstelling voor weer- en sterrenkunde op te wekken onder alle lagen van de bevolking. Van het begin af aan werkten vakmensen en amateurs op het gebied van weerkunde en sterrenkunde nauw samen om dat doel te bereiken. Vanaf 1902 verscheen het tijdschrift *Hemel en Dampkring* en sinds 1974 het tijdschrift *Zenit* als orgaan van de vereniging. De NVWS telt nu bijna 4000 leden. In 1981 werd het 80-jarig bestaan van de vereniging gevierd.

Het maandblad Zenit: samen met de volkssterrenwacht Simon Stevin te Hoeven en de Vlaamse Vereniging voor Sterrenkunde wordt het maandblad uitgegeven waarin de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van weerkunde, sterrenkunde en ruimteonderzoek op de voet worden gevolgd. De artikelen worden geschreven door vakastronomen en gevorderde amateurs. Veel medewerking wordt ook ondervonden van de Nederlandse Sterrenwachten en het KNMI.

De sterrengids: ieder jaar wordt in opdracht van de NVWS een gids uitgegeven waarin alle hemelverschijnselen van dat jaar, m.n. van zon, maan en planeten worden vermeld. Meer informatie over de gids van dit jaar kunt u krijgen bij Stichting 'De Koepel'.

De plaatselijke afdelingen: In 33 steden verspreid over heel Nederland zijn afdelingen gevestigd (sommige met volledige rechtsbevoegdheid), die ieder een aantal bijeenkomsten verzorgen. Op deze bijeenkomsten worden voordrachten gehouden, films gedraaid, cursussen gegeven. Ook organiseert men excursies. In een aantal afdelingen verrichten groepen van leden handwerk, zoals het slijpen van spiegels en het bouwen van statieven voor kijkers. Ook worden gezamenlijk waarnemingen aan de sterrenhemel verricht. Sommige afdelingen beschikken over een eigen sterrenwacht ten behoeve van de leden (bijv. Amsterdam, Eindhoven, Alkmaar en Rotterdam).

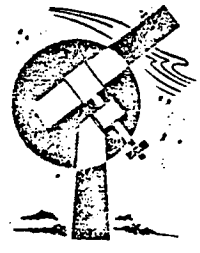
De Jongerenwerkgroep: landelijk en plaatselijk zijn jongeren (8-20 jaar) georganiseerd. Zij hebben hun eigen bijeenkomsten maar de ouderen onder hen nemen ook deel aan de aktiviteiten van de afdelingen van de NVWS. Zie ook elders in dit blad.

'De Koepel': sedert 1973 bestaat 'De Koepel', waarvan het bureau gevestigd is in Utrecht, Nachtegaalstraat 82 bis. Dit bureau fungeert tevens als administratie- en inlichtingenkantoor van de NVWS. U kunt daar terecht voor aanmeldingen, abonnementen op Zenit, het Informatieblad, de Sterrengids, informatie over boeken en instrumenten etc. telefoon 030-311360.

Een waarnemingspost van de Perseïdenmeteoren in 1906 (de NVWS was reeds 1 september 1901 opgericht!).
Links Dr. van Maanen, rechts Dr. van der Bilt. Thans wordt nog steeds door de NVWS ieder jaar de Dr. J. van der Biltprijs uitgereikt aan amateurs die zich bijzonder verdienstelijk hebben gemaakt op het gebied van de weer- of sterrenkunde.

De werkgroepen: er zijn een aantal werkgroepen waarin men zich gemeenschappelijk bezighoudt met speciale waarnemingen van astronomische of weerkundige objekten. Zie elders in dit blad.

Het lidmaatschap: het landelijk lidmaatschap, waarbij ingesloten is het ontvangen van het maandblad Zenit kost in 1983 slechts *f* 62.50 per jaar of *f* 33,– per halfjaar. In de plaatselijke afdelingen kan men (zonder het tijdschrift) voor minder terecht: veel afdelingen rekenen slechts met jaarcontributies van *f* 15,– tot *f* 25,–.
Opgave voor landelijk lidmaatschap (inclusief Zenit): 'De Koepel', 030-311360.



Voor opgave plaatselijk lidmaatschap en voor informatie over de aktiviteiten van de plaatselijke afdeling kunt u bellen:

Alkmaar, tel. 072-332865
Amsterdam, tel. 020-5963437
Arnhem, tel. 085-436968
Assen, tel. 05920-14798
Breda, tel. 076-226757
Delft, tel. 01736-2859
Den Bosch, tel. 073-410257
Den Haag, tel. 070-644095
Den Helder, tel. 02230-27955
Dordrecht, tel. 078-510144
Eemsmond, tel. 05960-25617
Eindhoven, tel. 040-434811
Friesland, tel. 05150-12615
Het Gooi, tel. 02159-47868
Gouda, tel. 01820-33393
Groningen, tel. 050-116677
Haarlem, tel. 023-240537
Leiden, tel. 071-131205
Nijmegen, tel. 08811-1368
Rotterdam, tel. 010-654678
Spijkenisse, tel. 01880-22071
Texel, tel. 02220-2535
Tilburg, tel. 013-425411
Twente, tel. 053-763852
Utrecht, tel. 08380-33206
Venlo, tel. 077-21490
West-Friesland, tel. 02290-18839
Zaanstreek, tel. 075-282444
Zeeland, tel. 01180-35797
Zuid Drenthe, tel. 05280-67440
Zuid Limburg, tel. 04494-47371
Zutphen e.o., tel. 055-219096
Zwolle, tel. 05200-35071

Enkele afdelingen zijn bij wijze van voorbeeld hieronder nader toegelicht:

Afdeling Rotterdam

Sedert 1931 komen de leden van de afd. Rotterdam bijeen in de Academie Nautisch Onderwijs (oude naam: Zeevaartschool), gelegen vlakbij de Euromast. Destijds begonnen met 13 leden, telt de afdeling nu circa 450 leden en is daarmede, op de afdeling Utrecht na, de grootste van de in totaal 33 afdelingen van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde. De leden der afdeling hebben de beschikking over de 15 cm Zeiss refractor, die opgesteld is in de koepel op de toren van de Zeevaartschool.

Ook de leden van de Jongerenwerkgroep in Rotterdam, bijna 50 in getal, weten de weg naar de Zeevaartschool te vinden. Evenals trouwens het grote publiek op de 'open dagen'.
In 1982 organiseerde de afdeling Rotterdam 7 lezingen over sterrenkundige onderwerpen en 1 over een weerkundig onderwerp, bovendien was er een expositie van teleskopen. In 1983 staan wederom 7 lezingen op het programma. Bovendien komen de jongeren van de afdeling Rotterdam twee keer per maand bijeen en zijn er cursussen voor beginners. De afdeling beschikt naast een bibliotheek voor haar leden ook over een donkere kamer en een werkruimte voor

ADRESSEN

6. Stichting Macro Center Amsterdam, Nieuwe Teertuinen 17, 1013 LV Amsterdam.

   Amateurinstelling die zich tot doel stelt de sterrenkunde en weerkunde te populariseren. Organiseren o.a. excursies en cursussen, bemiddelen bij de aankoop van instrumenten, geven bulletin uit. Nadere informatie bij A.J. van Graas, tel. 020-866032.

7. Stichting dienstverlening vorming en onderwijs Z.O. Drenthe, Batinge-hof 40, 7824 AZ Emmen, tel. 05910-11121

BIJLAGE D1

WEERKUNDE IN HET E.P.E.P.

b. *Onderwerpen*

	ongewijzigd	gewijzigde interpretatie	vervallen	nieuw
vaste stoffen, vloeistoffen en gassen				
- *Luchtdruk*		x[1]		
- Isobaren, drukgradient.				x[2]
- *absolute temperatuurschaal*	x			
- onverzadigde en verzadigde waterdamp, dampspanning, condensatie, dauwpunt, relatieve vochtigheid, relatie tussen relatieve vochtigheid en temperatuur. (kwalitatief).				x[3]
- *fase-overgangen.*	x			
- *massa, dichtheid*	x			
- *wet van Boyle*		x[4]		
- *Wetten van Gay Lussac*		x[4]		
- *Algemene gaswet voor een ideaal gas.*			x	
- *Verklaring van de gaswetten met behulp van de moleculairtheorie.*		x[4]		
- Verticale opbouw atmosfeer.				x[5]
- Energiebalans atmosfeer.				x
- Windsnelheid: grootte en richting.				x
- Adiabatische uitzetting van lucht (kwalitatief).				x
- Wolkenvorming, neerslag.				x[6]
- Kou- en warmtefront.				x[6]
- Drukgebieden.				x[6]
- Corioliseffect (kwalitatief).				x
- Weerkaarten.				x
- Methoden van weersvoorspelling.				x[6][7]
- Broeikaseffect.				x[6]
- Menghoogte bij luchtverontreiniging				x

c. *Toelichting.*

1) In het reguliere programma gaat het om de druk van een afgesloten hoeveelheid gas, hier om de luchtdruk op een bepaalde plaats binnen de aardse atmosfeer.

2) Gradienten van temperatuur en luchtdruk zijn belangrijk voor weersprocessen; bovendien is gradient een belangrijke fysische grootheid en op meer gebieden toepasbaar.

3) Veel aandacht voor vochtige lucht is noodzakelijk voor inzicht in wolken- en neerslagvorming; inzicht in de dampspanningskromme is vereist.

4) In de meteorologie is vooral een kwalitatief begrip van de gaswetten van belang, omdat het om een niet afgesloten systeem gaat.

5) Het betreft de verandering van temperatuur en luchtdruk met de hoogte in een beschrijving van de standaardatmosfeer. Voorbeelden van afwijkingen komen aan de orde (bijvoorbeeld inversie).

6) In deze onderwerpen komen veel onderdelen van dit deel van de leerstoflijst in samenhang aan bod.

7) Bedoeld zijn de synoptische, statistische en numerieke methode.

BIJLAGE D2

1. SAMENVATTING THEMA WEERSVERANDERINGEN (uitgebreid)

1. Inleiding.

De kenmerkende veranderlijkheid van het weer in Nederland is van betekenis voor de mens en voor instanties. Belangen lopen daarbij nogal eens uiteen. Meer gemeenschappelijk is dat men in het algemeen geinteresseerd is in weersvoorspelling. Zo'n weersvoorspelling is echter moeilijk te interpreteren zonder enig inzicht in de faktoren die een rol spelen bij weerbeeld en weersveranderingen. Nu blijken de weersvoorspellingen ook nog vaak niet uit te komen. Dat betekent dat er redenen moeten zijn waarom zo'n voorspelling niet uitkomt.
Aan deze onderwerpen wordt in het thema de meeste aandacht besteed. Daarnaast worden mogelijkheden van weersbeinvloeding belicht.

2. In weer en wind.

2.1 Het meten van weerkundige grootheden dient om het weer te beschrijven en om mede op grond daarvan tot voorspellingen te komen.
Vier grootheden zijn daarbij o.a. van belang:

a. temperatuur.
Deze wordt gemeten met een thermometer waarvan de gevoeligheid afhangt van het doel van de meting. Eenheid is de graad Celcius (°C) of Kelvin (K). Het verband tussen beide is
$T(\text{in K}) = T(\text{in °C}) + 273$.

b. luchtdruk.
Deze wordt gemeten met een barometer. Als eenheden vind je N/m^2 of mbar, waarbij geldt (mbar = 100 N/m^2. Luchtdruk is eigenlijk het totale gewicht van de lucht boven een oppervlak van 1 m^2. In formule gezegd: $p=F/A$ (p = luchtdruk, F= totale drukkracht door het gewicht van de lucht, A= oppervlak).

c. vochtigheid.
Deze wordt gemeten met een hygrometer en uitgedruk in % (de relatieve vochtigheid). De relatieve vochtigheid drukt de verhouding uit tussen de aanwezige hoeveelheid waterdamp en de hoeveelheid waterdamp die maximaal aanwezig kan zijn bij die temperatuur.
In formule:
$$e = \frac{p_d}{p_{d,max}} \times 100\%$$

d. wind.
De windrichting wordt gemeten met een windvaan en uitgedrukt in de richting van waaruit de wind waait. De windsnelheid wordt gemeten met een anemometer en uitgedrukt in m/s (of km/h). Ook wordt de windsnelheid wel in de schaal van Beaufort uitgedrukt (in hele getallen van 0 tot 12)

Bij het doen van deze metingen moet aan bepaalde voorwaarden voldaan zijn. Ook moet de apparatuur geijkt zijn.

2.2 Behalve door zelf te meten kan men ook informatie over het weer verzamelen door gebruik te maken van weerkaarten en satellietfoto's. Daarvoor moet je de codes kennen voor lijnen en symbolen van de weerkaart en moet je uit de bewolking op satellietfoto's grotere weersystemen kunnen onderscheiden, zoals depressies en fronten.

BIJLAGE D2

2.3 Van groot belang voor het weer is de straling van de zon. Deze wordt deels gereflecteerd door wolken en aardoppervlak, deels hierdoor geabsorbeerd en weer als straling uitgezonden. Samen vormen deze processen de energiebalans van de aarde. Bij deze balans spelen allerlei faktoren een rol die er voor zorgen dat de stralingsintensiteit verschilt per deel van het aardoppervlak.
De zonnestraling bepaalt ook de temperatuuropbouw van de atmosfeer. Normaal gesproken neemt de temperatuur in de troposfeer af met de hoogte. In formule uitgedrukt: $T_h = T_o - \gamma h$ waarbij T_h = temperatuur op hoogte h, T_o is temperatuur op het aardoppervlak en γ is de temperatuurdaling per meter. Deze γ is gemiddeld 0,01 K/m maar afwijkingen komen vaak voor. Soms is γ zelfs negatief zodat de temperatuur over een zekere afstand toeneemt met de hoogte. We spreken dan van temperatuurinversie.

2.4 De eerder genoemde relatieve vochtigheid is afhankelijk van de temperatuur. Het blijkt dat bij hogere temperatuur een grotere hoeveelheid waterdamp kan voorkomen zonder dat condensatie optreedt. Een grafiek drukt de relatie tussen de maximale waterdampspanning en temperatuur uit. Uit deze grafiek valt o.a. af te lezen wat het dauwpunt is bij een bepaalde waterdampspanning.

2.5 De aard van de wind is afhankelijk van de luchtdrukgradient $(\Delta p / \Delta x)$ de verandering van de druk per km. Ook de draaiing van de aarde speelt een rol via de zogenaamde Corioliskracht. Aangetoond kan worden dat hierdoor de windrichting meestal evenwijdig is aan de isobaren. Bij het aardoppervlak treedt een kleine wijziging op vanwege de wrijvingskracht.

3. Wolken.

Wolken bestaan uit kleine druppeltjes of ijsdeeltjes. Hiervoor zijn condensatiekernen of vrieskernen nodig in de lucht. De hoogte van de onderzijde van de wolken (wolkenbasis) hangt samen met de relatieve vochtigheid. Voor het bepalen van de wolkenhoogte is de formule van Ferrel van nut: $h_c = 120\ (T - T_d)$ waarbij T de temperatuur op aarde, T_d het dauwpunt en h_c de wolkenhoogte (in m) voorstellen.
Soorten wolken worden onderscheiden op basis van hoogte en uiterlijk. Cumulus, stratus en cirrus komen voor als termen in samenvoeging met elkaar of met de termen alto- of -nimbus.
Waarnemingen aan wolken zijn mogelijk met een wolkenspiegel, wolkenfoto's, een weerballon of uit de weerkaatsing van licht tegen de wolken wanneer het donker is.
Door te kijken naar de hemel of door satellietfoto's te bestuderen kan men van wolken gebruik maken om weersverwachtingen op te stellen.

BIJLAGE D2

4. Neerslag.

Neerslag is afkomstig uit wolken die aan bepaalde voorwaarden voldoen. Twee processen kunnen daarbij voorkomen: het coalescentie- en het Bergeronproces. Het eerste berust op het samenvloeien van druppels, het tweede op de groei van ijsdeeltjes. Het laatste proces komt in N.W.-Europa het meest voor.
De omstandigheden van de lucht onder de wolk zijn van belang voor het bereiken van het aardoppervlak van de neerslag en voor de vorm van de neerslag (sneeuw of regen). Bij regen hangt de druppelgrootte van het wolkentype af. Hagel valt alleen uit cumulonimbus-bewolking. De grootte van regendruppels kan op verschillende manieren worden bepaald, afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid.
Een precieze voorspelling van neerslag (tijd, plaats, hoeveelheid) is niet mogelijk. Wel kunnen uit een aantal verschijnselen aan de hemel en uit weerkaarten of satellietfoto's globale voorspellingen gedaan worden.

5. Fronten en drukgebieden.

Fronten ontstaan op de grens tussen 2 verschillende luchtsoorten. Bij een bewegend front maakt het frontvlak een kleine hoek met het aardoppervlak. Er zijn verschillende soorten fronten. Bij een koufront krimpt de koude lucht onder de warme en stuwt deze laatste omhoog. Dit leidt tot wolken- en neerslag vorming, vooral bij een snel bewegend koufront.
Een warmtefront is al van verre zichtbaar omdat de warme lucht over de koude heenschuift.
In depressies of hoge drukgebieden beweegt de lucht langzaam omhoog of omlaag. Dat is van invloed op wolken (en dus ook neerslag)vorming.
Depressies ontstaan uit luchtbewegingen langs een stationair front en, bij het inhalen van de tweede door de eerste, een occlusiefront.
Op weerkaarten zijn fronten en drukgebieden aangegeven. Deze kaarten zijn mede gebaseerd op satellietfoto's waarop depressies, kou en warmtefronten goed zijn te onderscheiden. Weersveranderingen treden meestal op in samenhang met drukgebieden en frontverplaatsing. Wanneer bekend is waar zich een drukgebied bevindt kan vrij eenvoudig worden voorspeld uit welke richting de wind waait.

6. Weersvoorspelling.

Het is mogelijk langs 3 wegen tot een weersverwachting te komen:
- de synoptische methode is gebaseerd op een combinatie van waarnemingen van weerstations.
- de statistische methode is gebaseerd op statistiek uit waarnemingen van vroeger
- de numerieke methode maakt gebruik van natuurkundige modellen en wiskundige vergelijkingen om de samenhang tussen faktoren na te gaan.

Ondanks geavanceerde methoden en ingewikkelde apparatuur klopt het weerbericht niet altijd. Kleine storingen kunnen namelijk grote gevolgen hebben.
De betrouwbaarheid van weersverwachtingen kan worden beoordeeld volgens een

puntensysteem waarbij rekening wordt gehouden met de nauwkeurigheid van de gedane voorspelling.
Men kan voor de eigen omgeving het weer voorspellen door naar de wolken te kijken en T- en p- veranderingen bij te houden door weerkaarten te bekijken of door het weerbericht te vertalen naar de eigen omstandigheden.

7. Weersbeinvloeding.

In principe zijn er mogelijkheden om op kleine of grote schaal het weer te beinvloeden. Voorbeelden zijn regenvorming, mistbestrijding, vorstbestrijding en vochtigheidbeinvloeding. In de praktijk worden ze niet alle toegepast in ons land. Het weer is van grote invloed op de mate van luchtverontreiniging. Bij bepaalde weersomstandigheden kan de concentratie van luchtverontreiniging groot zijn, wat nare effekten kan hebben op mens, plant en dier. Concentratie wordt vaak uitgedrukt in ppm (parts per million) of mg/m^3, Een belangrijke faktor voor luchtverontreiniging is de menghoogte. Deze geeft de hoogte van de luchtlaag boven het aardoppervlak aan waarin menging van luchtverontreiniging door turbulentie plaats vindt. Uit het temperatuurprofiel van de atmosfeer kan de menghoogte worden bepaald.
Neerslag kan vele andere stoffen dan H_2O bevatten. Tegenwoordig is de zuurgraad van regen hoog vanwege opgelost zwavel- en salpeterzuur. Deze worden gevormd uit zwavel- en stikstofoxiden. Ook ammoniak komt voor in regen. Deze ammoniak neutraliseert in de regen het zuur deels maar draagt in de grond, door reaktie met zuurstof, bij aan de verzuring.
Wereldwijd wordt onderzoek gedaan naar het zogenaamde broeikaseffekt. Dit effekt berust op absorptie van infrarode straling die van het aardoppervlak afkomstig is, door CO_2. De gemeten toename van het CO_2-gehalte zou tot belangrijke temperatuurstijging en andere klimaateffekten kunnen leiden. De werkelijke gevolgen zijn nog niet vastgesteld. Wel lijkt een verdere stijging van de CO_2-concentratie waarschijnlijk door gebruik van fossiele brandstoffen en als gevolg van toenemende ontbossing.

BIJLAGE D2

2. SAMENVATTING THEMA WEERSVERANDERINGEN

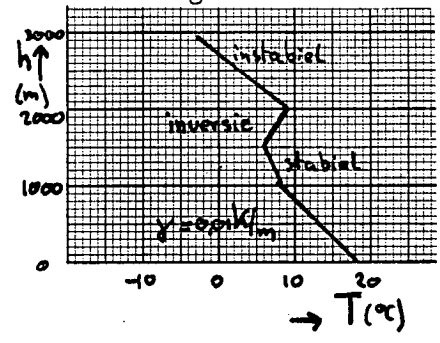
- Waarnemingen aan het weer
  - door middel van weersgrootheden of via satellietfoto's
  - opslag van informatie op weerkaarten

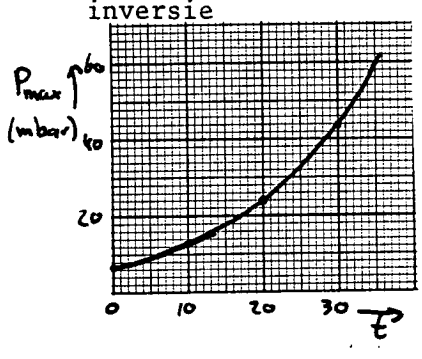
grootheid	definitie	eenheid	meetinstrument	juiste meetomstandigheden
temperatuur (T)	maat voor warmte inhoud $T = t+273$	°C of K	kwikthermometer vloeistofthermometer	thermometerhut, 1,5m hoogte geen direkte zonnestraling geen neerslag goede ventilatie
luchtdruk (p)	$p = F/A$	mbar, N/m^2	aneroide barometer	geen tocht of warmtebronnen trillingsvrije ophanging, zeeniveau
relatieve vochtigheid (e)	$e = Pd/Pd,max \times 100\%$	%	haarhygrometer psychrometer	psychrometer, konstante luchtstroom en bevochtiging
wind	richting: hoek t.o.v. het noorden snelheid verplaatsing lucht per sekonde	m/s, km/h Beaufort	windvaan anemometer (windsnelheidsschijf)	10 m boven de grond op vlak en open terrein ($x \geqslant 10h$)

BIJLAGE D2

- Grondprincipes.
  - Zonnestraling —— absorptie, reflektie en uitstraling van de atmosfeer (stralingsbalans van de aarde). Gevolgen:
    . verschillen tussen plaatsen op aarde
    . verschillen tussen zee en land
    . jaargetijden
    . weersverschillen afhankelijk van bewolking
  - Temperatuuropbouw van de atmosfeer
    $T_h = T_o - \gamma h$

    Gevolgen: stabiliteit, instabiliteit, inversie





  - Waterdamp in lucht — de waterdamp druk in lucht in verhouding tot de maximaal mogelijke waterdampdruk heet de relatieve vochtigheid; deze is ook te bepalen met behulp van het dauwpunt.
  - Wind — afhankelijk luchtdrukgradient en corioliskracht — windrichting is ongeveer evenwijdig aan de isobaren.

- Belangrijke processen.
  - Wolkenvorming
    . soorten: cumulus, stratus, cirrus
    . wolkenbasis te bepalen met $h_c = 120\ (T - T_d)$
    . wolkenvorming door kondensatie, rond kondensatie - of vrieskernen.
    . waarnemingen met wolkenspiegel, wolkenlicht of weerballon.
  - Neerslagvorming
    . vorming door coalescentie - en Bergeronproces
    . soort neerslag en grootte regendruppels afhankelijk van luchttoestand onder de wolken en van het wolkentype
  - Fronten en drukgebieden
    . een front is grensgebied tussen warme en koude lucht
    . koude lucht schuift onder warmere lucht heen: koufront — neerslagvorming
    . warme lucht schuift over koude lucht: warmtefront
    . vertikale luchtbeweging in depressies en hoge drukgebieden geven respektievelijk neerslagvorming en opklaringen.
- Weersvoorspellingen
  - drie methodes:
    . synoptisch
    . statistisch
    . numeriek
  - de betrouwbaarheid is aan te geven met een getal
- Weersbeinvloeding
  - gewild: regen-, mist-, vorstbestrijding en regenvorming
  - ongewild
    . luchtverontreiniging: tot aan de menghoogte
    . zure regen: neerslag heeft tegenwoordig hogere zuurgraad
    . broeikaseffekt: temperatuurstijging en klimaatverandering.

BIJLAGE D3

TOELICHTING BIJ DE SATELLIETFOTO'S

General Introduction

The Satpack series is intended to provide classroom material for use by students of A-level Geography and O-level Meteorology. It may also be suitable for Physical Geographers in Universities. The aim is to show the kind of information which is now available to meteorological analysts from satellite imagery, and to link this with the surface data and upper air ascents which have been available for much longer.

In each pack data from two consecutive days are presented. Analysis of the first day is completed, while that for the second is left for the student. Each pack contains a set of related problems: solutions are provided for instructors.

Each Satpack is self-contained. Many features are common to a number of packs, but the cases have been chosen to emphasize a variety of features, particularly those which are found at different times of year.

This general introduction provides material which relates to all meteorological satellites. Each Satpack includes specific information on the instruments used to produce the images which are to be discussed.

I The satellite and its product

October 1957 saw the launch of Russia's *Sputnik*, and of a new era for scientific observations. The 'grandstand view' from artificial satellites was particularly welcome to meteorologists, and in 1960 the first satellite designed for weather observation started transmission. This was America's TIROS I. Today a number of such platforms are an important complement to the uneven coverage provided by some 12,000 surface and 600 upper air stations round the world.

Orbits

Satellites can travel in a wide variety of orbits, but only two types are in common use for meteorological purposes.

a Sun-synchronous orbits; these are fixed relative to the sun so that the satellite passes over a given site at the same local time throughout the year.

b Geostationary orbits; these are in the equatorial plane, and as the satellite orbits once every 24 hours, travelling eastwards, it remains over a fixed point on the earth's surface, It thus gives round-the-clock coverage, but the view of Britain is always very oblique.

Instrumentation

Each satellite carries a number of radiometers which measure the radiation within particular wavelength bands. Some commonly used bands are shown in Fig.1.

A radiometer measures the radiation at one instant from a particular spot, and an image has to be built up from a series of scan lines, in just the same way as a television picture. The TIROS–N picture, for instance, contains some 4500 lines, each about 1.1 km wide. To produce these lines the radiometer scans from west to east, 360 times per minute. The north-south scanning is provided by the movement of a sun-synchronous satellite, or by the movement of a mirror in a geostationary one.

The smallest area which can be distinguished by the instrument is governed by the optics and by the sampling rate along each scan line. At the sub-satellite point for TIROS–N the 'resolution' is 1.1 km north-south and 1.1 km east-west. At the extremes of the image the resolution becomes considerably worse.

The information from each radiometer is transmitted over a radio link as a series of bits of information, again rather like a television transmission. The data has then to be processed to produce the image which we can use, and to identify its position. The images used in Satpack have been received and processed at the Department of Electrical Engineering and Electronics, University of Dundee.

At this stage the coastal outlines and grids are superimposed as a useful but approximate guide to locations. They are often displaced in certain areas of the image as the perspective depends on the exact location of the satellite. Grid lines are shown at intervals of 5° latitude, 10° longitude. Distances can be measured using the fact that 1° latitude is 111 km.

The satellites may carry other equipment in addition to the radiometers, for example to interrogate up to 200 automatic weather stations and store data from them until it is to be telemetered to the ground.

Radiometer wavelengths

Fig. 1 shows the electromagnetic spectrum with some of the commonly used wave-bands. All wavelengths are shown in micrometers, μm (10^6 μm = 1m).
Note that all radiation at wavelengths below about 4 μm has been emitted from the sun, and reflected from cloud, land or sea. No image can be seen at night, and the brightness may depend on the position of the sun and the satellite relative to the area being studied.

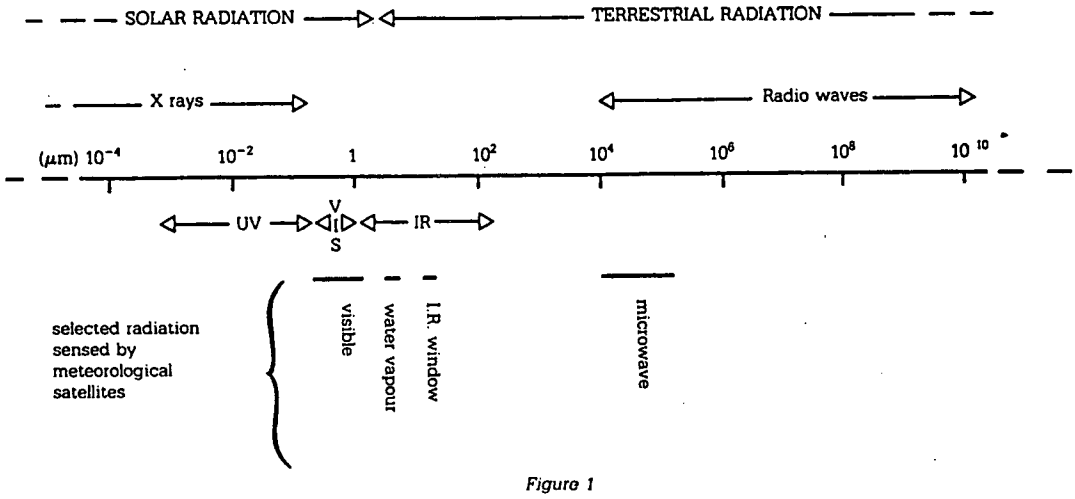


Figure 1

All radiation at wavelengths above 4 μm is emitted from gases in the atmosphere or from cloud, land or sea. It is emitted both by day and night, and the amount depends mainly on the temperature of the emitting substance. It is usual to make the coldest areas look the brightest on the images, so that high clouds appear white on both visible and infra-red images, and the sea looks dark. This makes comparison of the different images much easier.

The most commonly used wavelength bands include the following:

Visible
The visible images show sunlight reflected by surfaces in the satellite's field of view. In fact they measure the avarage reflection over the wavelengths of visible radiation and the near infra-red. The radiation coefficient of a surface is the fraction of the incident radiation which it reflects and scatters back. It is sometimes known as the albedo, and typical values are:

cloud	50 to 65% depending on type and thickness
snow	55 to 90% depending on age
grass	25%
forest	5 to 15%
ocean	2 to 7% depending on sea state.

There is thus a considerable contrast between, say, a layer of thick cloud and a cloudless ocean.

Infra-red
The infra-red images usually represent the amount of radiation emitted in the 'window' region of the spectrum. These wavelengths are used because the cloudless atmosphere is almost completely transparent to them. Also they are close to the wavelengths at which bodies at temperatures in the range 200 to 300 K (−73 to +27°C) emit the maximum radiation. The signal is processed so that the larger the signal the darker the image. The image effectively shows temperature of the highest radiating surface in the atmosphere; this is either cloud top or the earth's surface in a cloudfree area, and the darker the image is, the warmer the surface.

Inspection of a few infra-red images soon shows the contrast across coastlines, with continental surfaces generally darker (i.e. warmer) than the surrounding ocean in summer and lighter (i.e. colder) in winter. Many bright areas on both images correspond, and these show high cloud which has its top in the coldest region of the troposphere and also reflect brightly. Quite often a bright band of cloud on the visible image corresponds to a rather grey area on the infra-red: we then know that this shows an area of middle or low cloud whose top has a temperature mid-way between that of the surface and the highest cloud tops. The range of shades on a given image is known as the 'grey scale'. It can be converted into a temperature scale, with considerable difficulty, but for our analysis of cloud patterns a relative brightness judged by eye tells us enough about the relative temperature.

Water vapour
The water vapour images use information from radiometers measuring at around 6.3μm. At this wavelength water vapour radiates strongly. The amount of radiation received depends on the temperature of the highest moisture in the atmosphere. A bright area shows that the upper troposphere is relatively moist, while a darker one shows that it is dry: in this case the moisture which we see is lower in the atmosphere, and warmer. This usually indicates an area of subsiding air, as in an anticyclone or over a desert.

Water vapour images are not widely published at present, but are routinely available from the satellites.

Other radiometers
Instruments operating at a wide variety of other wavelengths have been used for research, and may later be used operationally. Among them are sensors of radiation from carbon dioxide for measuring temperature profiles in the stratosphere, microwaves for measuring sea-state and of the whole thermal radiation for energy budgetting.

II Deductions from satellite images

A remarkable amount of information about the synoptic situation and about the state of the troposphere can be deduced from a pair of satellite images taken at the same time. In operational meteorology they are always used in close conjunction with the conventional synoptic analysis from the surface observations, and the examples in the Satpacks show typical relationships between features of the images and the surface map. When these have been established the images can be used to locate features such as fronts with considerable accuracy in areas where there are no surface observations.

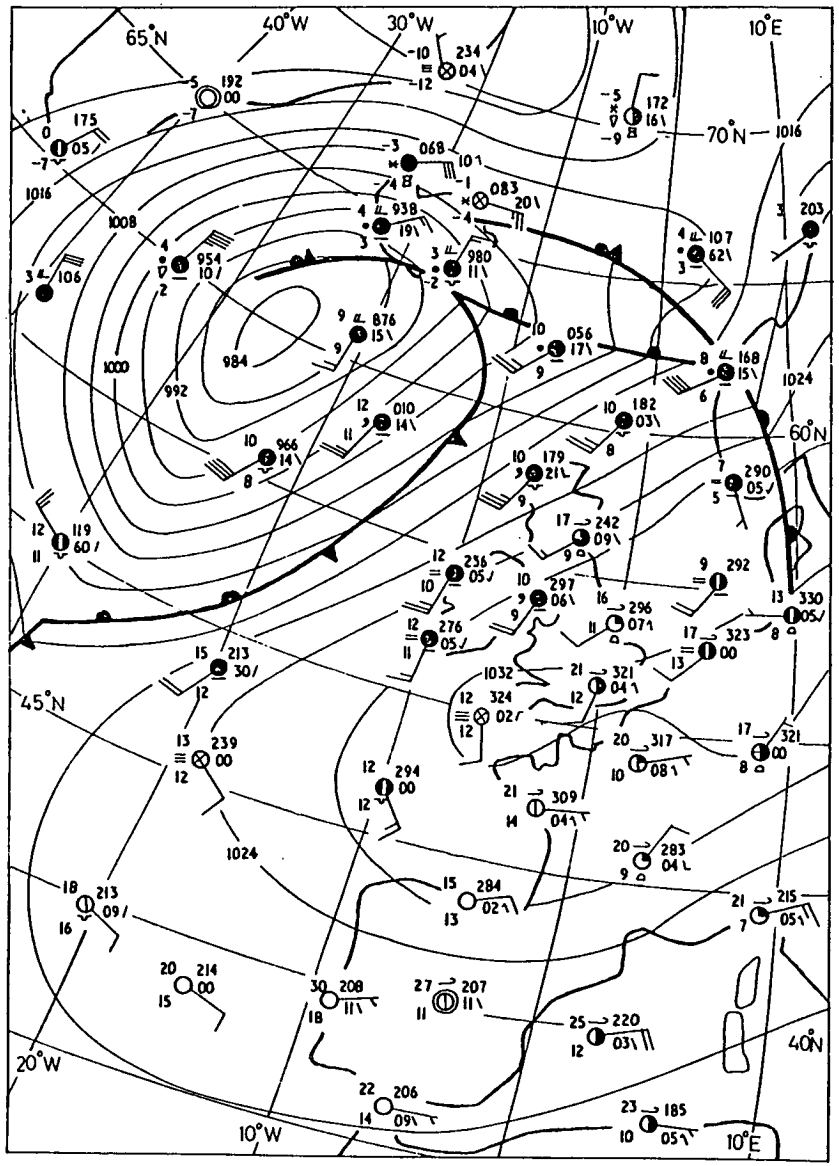
No radiometer can distinguish features smaller than its limits of resolution nor larger than the whole field of view, which is about 3000 km across. Two common and obvious features would not necessarily be expected to show up as clearly as they do. Depressions often show as the centres of spiral patterns; this is because the clouds tend to form in bands, tens of km wide and lined up more or less parallel to the low-tropospheric winds. Secondly, regions of active convection are marked by patterns of speckled white although individual cumulus clouds in fair weather are not resolved: the patterns either show very large cumulonimbus, or smaller cumulus organized into cellular and linear patterns.

In general, cloudy areas can be classified in two ways, by their texture and by their apparent temperature or height.

Layer clouds
Extensive areas of more or less uniform brightness on the visible image show that the cloud has been formed by a large scale process. This may be through ascent close to a low pressure centre, or along the broad band of convergence associated with a front. A cold front is often marked clearly by a cloud mass 100 to 200 km wide, and perhaps 1000 km long.

The approach of a warm front, so often seen in real life as progressively lower cloud covers the sky, has no corresponding pattern in the satellite image: the surface front will normally be found some 700 to 800 km behind the leading edge of the cloud band.

The frontal cloud sheets appear bright (i.e. cold) in the infra-red images. On the other hand, extensive cloud sheets with temperatures not very different from nearby sea or land surfaces are found to be stratus or fog, in each case formed by cooling the lower layer of the atmosphere by contact with a cold surface or by radiation. Occasionally large areas of dust from the Sahara are seen: these are even warmer than stratus, and gradually fade over a few days rather than disappearing between one day's pictures and the next.



4 Surface Analysis 1200Z, 13 May 1979

Weerkaart behorend bij de foto's in het themaboek

A thin layer of cirrostratus is particularly difficult to detect, both from the ground and from satellite images. If it transmits a fraction of both visible and infra-red it will produce the same effect as low level layer cloud and can only be distinguished by the context in which it appears.

A similar difficulty may occur when there is sea ice, perhaps close to Greenland. This is only marginally warmer than the surface of a fog layer in that area.

Convective clouds

Cu and Cb are characteristic of air which is warmed from below and becomes unstable. If a large region of air becomes unstable at one time some regions within it must sink while others ascend; the scale on which these up and down currents organise themselves increases as the depth of the unstable layer increases. The gradual increase in scale and depth of an unstable layer is most clearly seen behind a cold front where a cold north-westerly or northerly airstream flows over increasingly warm sea.

When the unstable layer is deep enough to produce thunderstorms these may be seen individually. They may be 10 to 50 km across, and the anvil may extend to much greater distances.

Clouds with fairly warm tops often form distinctive patterns, and we may link some of these with surface changes. For example, sea breeze circulations are common around coasts or shores of large lakes in summer, and in mid-afternoon these are shown, particularly in the visible image, by a clear band over the coast with a dense line of cloud before the main area of small convective cloud inland. The clear area may extend some way out to sea also.

Mountain and wave clouds

Clouds will also form preferentially over mountains, and these can be hard to distinguish from snow if only one set of images per day is received. Another feature may be a set of parallel lines of cloud at regular intervals: these are wave clouds, formed down-wind of hills in suitable air streams, and the wind in mid-troposphere will be flowing at right angles to the cloud lines.

We have described only the most common and most obvious patterns which can be seen. Close inspection of most sets of images will reveal other features, such as Cb embedded in a sheet of As, or Cu arranged in downwind lines, or swirls in the lee of an isolated island. Application of common sense, and linking satellite observations with surface observation and our knowledge of the synoptic and convective behaviour of the atmosphere will usually give the right answer.

BIJLAGE D4

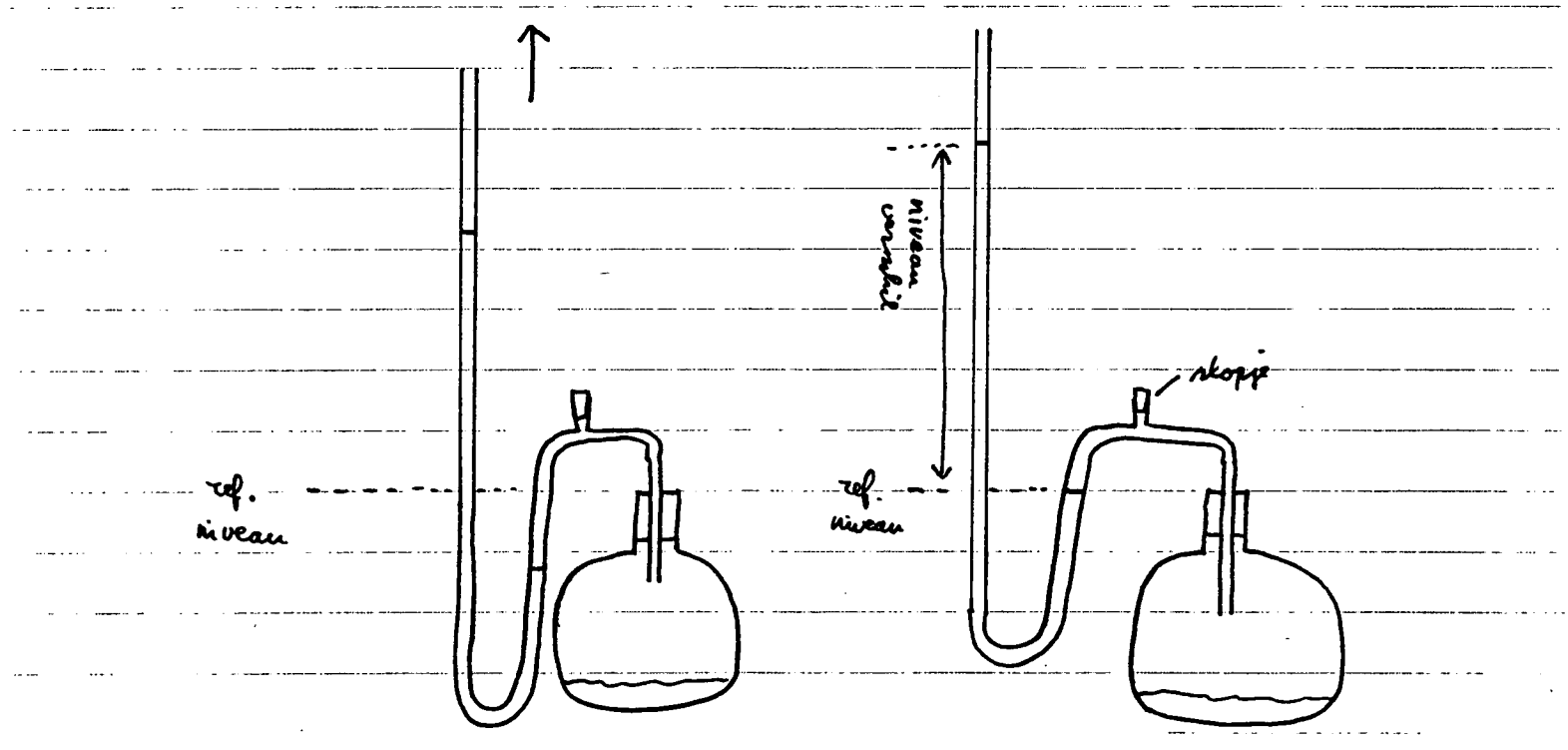
VERZADIGINGSDRUK VAN WATER.

Korte beschrijving:

In deze proef wordt de verzadigingsdruk van water als functie van de temperatuur gemeten. We doen dit door bij verschillende temperaturen zowel de druk van droge lucht als de druk van verzadigde lucht te meten. Het verschil tussen deze twee drukken is de verzadigingsdruk.

Opstelling:

De proef wordt gedaan met twee bolkolven in een aquariumbak met water. In de ene bolkolf zit een beetje water zodat de lucht in de kolf verzadigd is. In de andere bolkolf zit met silica-gel gedroogde lucht. De bolkolven worden au bain marie op de gewenste temperatuur gebracht (dompelaar, ijs). De temperatuur in de bolkolf wordt gemeten met een thermometer, de druk met een open water monometer (zie figuur).



Figuur. Door het optrekken van de slang wordt het water in de rechter poot van de U op het referentie niveau gebracht.

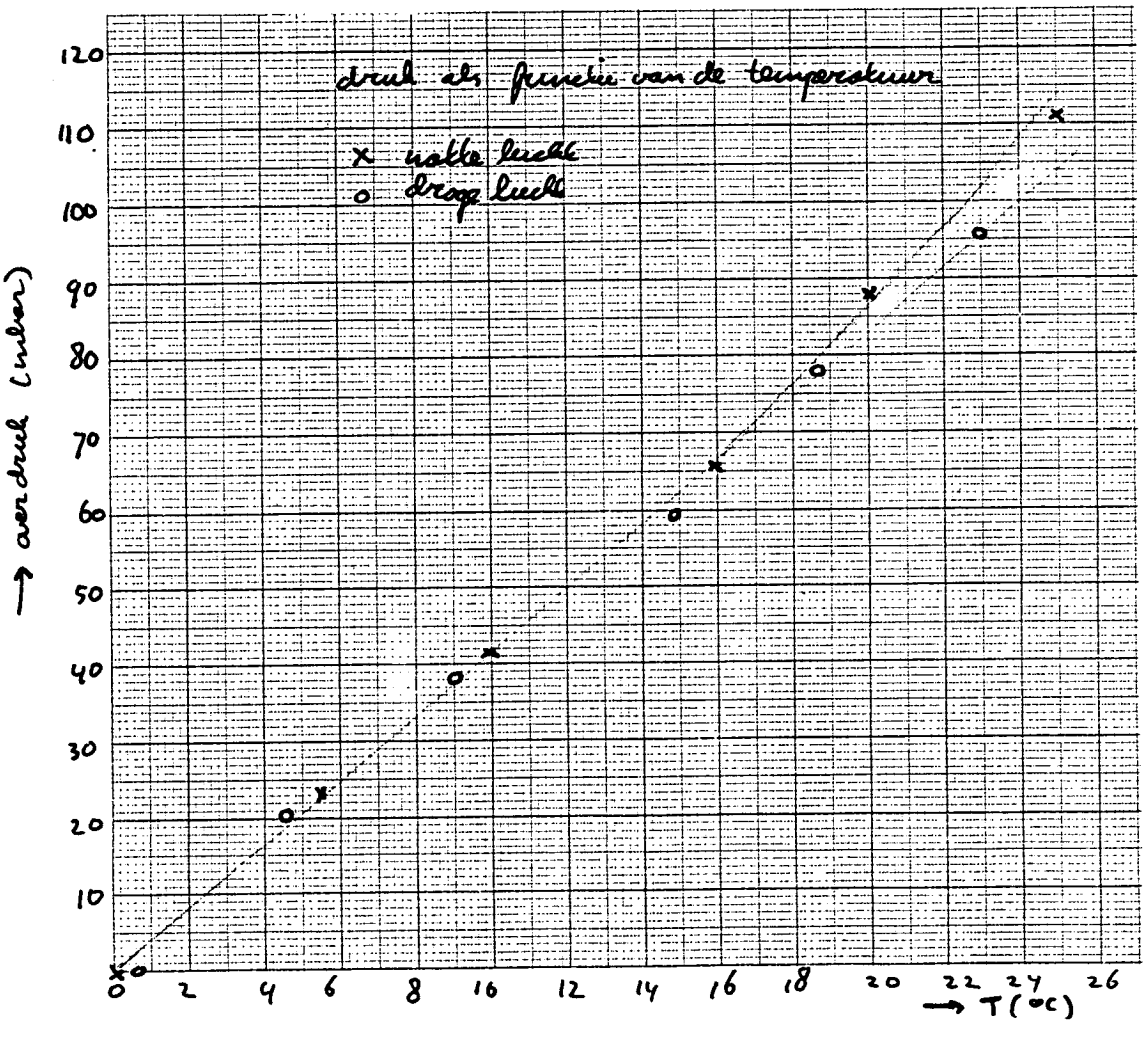
Deze manometer bestaat uit een met water gevulde slang in U-vorm. Door de slang op en neer te bewegen kan het waterniveau in de op de bolkolf aangesloten poot van de U op een constant referentie niveau worden gehouden. Zo blijft het gasvolume in de bolkolf constant. Door een stopje in de slang

BIJLAGE D4

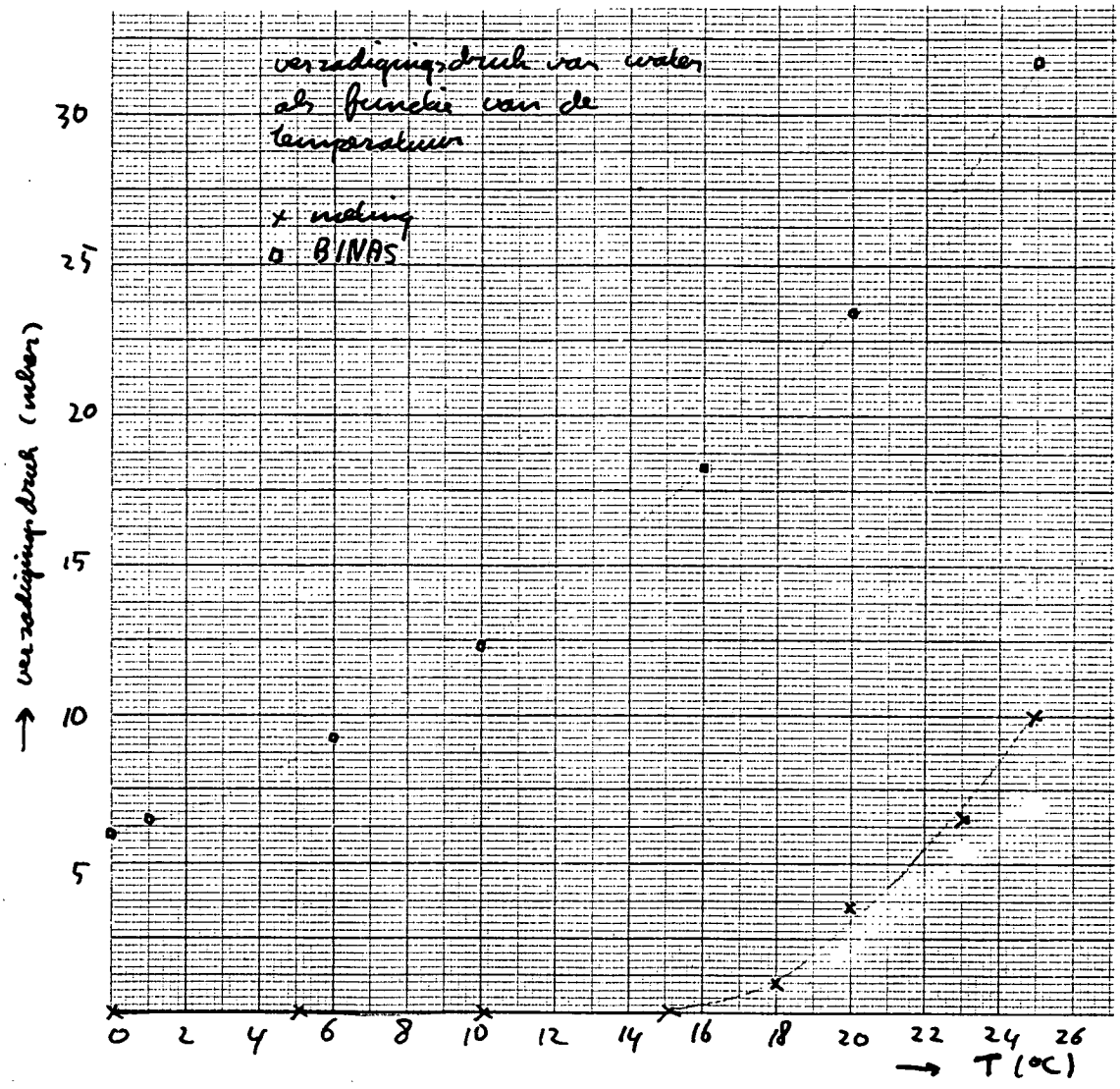
kan het niveau-verschil worden bijgeregeld, bijvoorbeeld 0 cm verschil als de lucht in de bolkolf 0 °C is.

Resultaten:

Zie grafieken. De gemeten verzadigingsdruk van water valt o.a. te laag uit, omdat geen rekening is gehouden met de verzadigingsdruk die water heeft bij 0 °C. Bovendien is de bolkolf met droge lucht niet helemaal droog, de bolkolf staat immers in verbinding met de water-manometer.



BIJLAGE D4



Opmerking:

Deze proef kost veel tijd omdat het opwarmen van de aquariumbak veel tijd kost. Het duurt bovendien lang voordat de lucht in de bolkolf de temperatuur van het water in de aquariumbak heeft aangenomen.
Tip: van te voren ruime hoeveelheid ijs klaar hebben staan
twee dompelaars gebruiken
water in aquariumbak roeren met magnetische roerder.

BIJLAGE D5

ENKELE VOORBEELDVRAAGSTUKKEN.

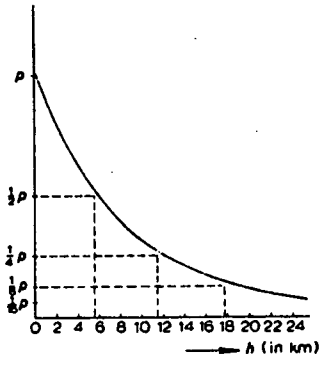
Bij de selektie is niet gekeken naar volledigheid met betrekking tot overdekking van het thema. Vooral is namelijk geput uit bestaande opgaven: bijvoorbeeld van het thema "Kringlopen", van proefschoolleraren, uit een bundel opgaven van de NVON over weerkunde e.d.
Vooral de hoofdstukken 3 t/m 7 komen er wat bekaaid af. In een volgende versie van deze AVOL hopen we meer opgaven toegespitst op dit thema te kunnen opnemen.

☐ Als je in zee hebt gezwommen en dan op het strand gaat liggen zonder je af te drogen, welke factoren hebben dan invloed op de snelheid waarmee je huid warmte verliest?

☐ Een hoeveelheid lucht van 20° C wordt gemengd met een even grote hoeveelheid lucht van 0 °C. Zowel de warme als de koude lucht is met waterdamp verzadigd. Na de menging is de temperatuur 10 °C.
a. Toon aan dat het mengsel oververzadigd is met waterdamp.
b. De "overtollige" waterdamp kan condenseren tot wolken of mist. Geef een of meer voorbeelden van dit verschijnsel: condensatie bij menging van warme en koude lucht.

☐ Hoeveel wolkendruppeltjes met straal 0,01 millimeter zouden zich moeten verenigen om een regendruppel te vormen met een straal van 1 millimeter? (Het volume van een bol met straal R is $\frac{4}{3} \cdot \pi R^3$).

☐ De grafiek geeft het verband aan tussen de luchtdruk en de hoogte boven zeeniveau.



a. Op welke hoogte is de luchtdruk twee maal zo klein als op zeeniveau?
b. Breng het verband tussen druk en hoogte onder woorden.

☐ Een kamer wordt gelucht op een koude winterdag met lucht van 0 °C en een relatieve vochtigheid van 80%. Daarna worden de ramen en deuren gesloten en de lucht wordt verwarmd tot 20 °C.
Hoe groot is nu de relatieve vochtigheid van de lucht?

☐ De bewegingen van de lucht in de troposfeer worden voor een belangrijk deel veroorzaakt doordat de aarde de lucht verwarmt.
Bij de beantwoording van de volgende vraag hoef je geen rekening te houden met de beweging van de aarde om zijn as.
We vergelijken een gebied aan de evenaar met een even groot gebied aan de polen.
In welk gebied heerst - gemiddeld - de hoogste temperatuur?
Hoe is dit temperatuurverschil te verklaren als je bedenkt hoe de zon de aarde bestraalt?
Teken een figuur waarin blijkt op welke manier de lucht langs het oppervlak van de aarde stroomt ten gevolge van dit temperatuurverschil.

BIJLAGE D5

☐ De zon zendt voortdurend energie in de vorm van straling - naar de aarde. Hoe is te verklaren dat de aarde ondanks deze konstante energietoevoer toch een gelijkblijvende - gemiddeld over een jaar bijvoorbeeld - temperatuur heeft.

☐ Brildragers merken 's winters vaak dat hun bril beslaat bij het binnen stappen van een huis of een gebouw.
Hoe kun je dit beslaan verklaren?

☐ Tijdens het schoonmaken van hun brilleglazen zie je mensen wel tegen het glas uitademen waarbij het glas beslaat.
Hoe kun je dit beslaan verklaren.

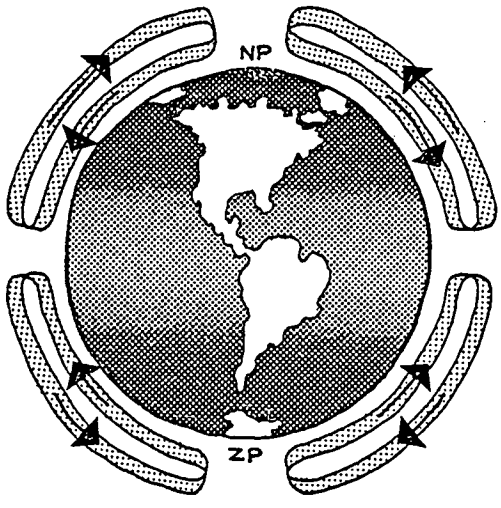
☐ 's Zomers treedt onder bepaalde omstandigheden thermiek, d.i. opstijgen van warme lucht, op.
Bij welke weersomstandigheden en op wat voor plaatsen kun je thermiek verwachten?
Hoe komt dat dit opstijgen van warme lucht er niet toe leidt dat de temperatuur van de hogere luchtlagen snel toeneemt?

☐ Wanneer je 's winters in de kamer voor een raam staat en er tegen blaast, beslaat het raam.
Verklaar het beslaan van het raam.
Van welke faktoren hangt het af hoe lang het raam beslagen blijft?

☐ Als je 's winters buiten loopt kun je adempluimen maken.
Leg uit hoe zo'n adempluim kan ontstaan.
Leg uit dat de adempluim maar even zichtbaar blijft.

☐ In een kamer is de temperatuur van de lucht 18 °C en de relatieve vochtigheid 70%.
Tot welke temperatuur moeten de ramen van deze kamer afkoelen voordat ze gaan beslaan?

☐ Hoe en wanneer ontstaat een landwind?



☐ In de figuur hiernaast is schematisch de luchtcirculatie in de troposfeer getekend. De hoogte van de troposfeer is hier veel te groot getekend in verhouding tot de straal van de aardbol (6400 km). In werkelijkheid is de troposfeer maar een dunne "schil" om de aarde.
Hoe dun zou je de troposfeer hier eigenlijk moeten tekenen?

☐ 's winters komt het wel voor dat neervallende regen bij het neerkomen op de grond, op auto's, fietsen e.d. wordt omgezet in ijs; we noemen dit ijzelen. Men noemt ijzel ook wel onderkoelde regen.
Hoe zou je dit verschijnsel willen verklaren?

☐ 's Winters kunnen de wegen glad worden doordat een nat-wegdek door opvriezing glad wordt maar ook door ijzelvorming.
Wat is - natuurkundig beschouwd - de oorzaak van deze twee oorzaken van gladheid?

BIJLAGE D5

☐ Met vochtig weer - bijvoorbeeld 's morgens vroeg - kun je bij het kamperen zien dat zich op de buitenkant van de "gastank" van het kooktoestel, vochtdruppels vormen, wanneer er op het toestel wordt gekookt.
- Uit welke stof bestaan die vochtdruppels en hoe denk je dat dit verschijnsel moet worden verkaard?
- Hoe kun je - ruwweg - nagaan hoelang de tank "nog bruikbaar" is?

☐ Hoewel de zon voortdurend energie naar de aarde en de atmosfeer zendt, heerst er een zeker "evenwicht" wat betreft de temperatuurverdeling aan het aardoppervlak.
Er is sprake van een energiebalans:
- Geef in je eigen woorden weer waar deze energiebalans het gevolg van is.
- Welke oorzaken kunnen deze energiebalans eventueel verstoren?
- Welke gevolgen kunnen verstoringen van de energiebalans tot gevolg hebben?

☐ Hoe komt het dat de hoek tussen de isobaren en de windrichting boven land groter is dan boven zee?

☐ Wat is de funktie van kondensatiekernen bij de vorming van wolkendruppeltjes?

☐ Hoeveel wolkendruppeltjes met een gemiddelde straal van 10 µm zijn nodig voor de vorming van één regendruppel van 1 mm diameter.

☐ Gemiddeld valt er per jaar ca. 1000 mm neerslag op de gehele aarde. Dit water ontstaat in de vorm van wolkendruppels met een gemiddelde straal van 10 µm, die elk minstens één condensatiekern bevatten.
Hoeveel van die kernen vallen zo per sekonde terug op de aarde?

☐ Welke faktoren bepalen de hoeveelheid zonnestraling die de aarde bereikt?

☐ Wat versta je onder het "broeikaseffekt"? Wat heeft dat met een broeikas te maken?

☐ Waardoor worden 's nachts boven vers gevallen sneeuw vaak extreem lage luchttemperaturen gemeten?

Lange vragen.

I Wolkenvorming op een windloze zonnige zomerdag.

In een boekje vinden we de volgende tekst: "Als een luchtmassa opstijgt en in ijlere lagen van de dampkring komt (het gaat om hoeveelheden met een afmeting van een honderd meter) koelt die luchtmassa door de uitzetting af, en wel 1° per 100 m ("adiabatisch verval"). Het kan nu zijn dat de dampkring in de hoogte nog kouder is dan de opgestegen luchtbel, die dus nog altijd lichter is dan haar omgeving en blijft stijgen; de dampkring is labiel (fig. 1a).
Maar het kan ook zijn dat op enige hoogte de dampkring minder koud is dan de opgestegen luchtbel: die is nu zwaarder dan haar omgeving en stijgt niet verder: de dampkring is daar stabiel (fig. 1b). In bijzonder sterke mate is dit het geval als de temperatuur in een bepaalde laag met de hoogte toeneemt: we spreken dan van een inversie (fig. 1c)."

BIJLAGE D5

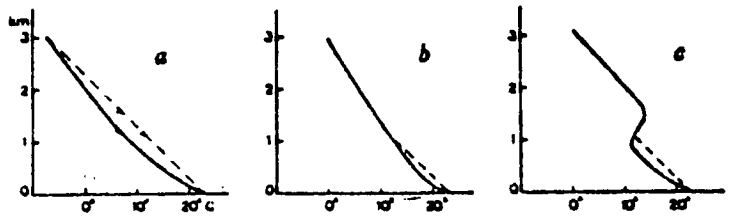


Fig. 1. Het afnemen van de temperatuur in de hogere luchtlagen (volluitgetrokken lijnen).
a. Labiele toestand. — b. Stabiele toestand. — c. Inversie.
Gestippeld: de temperatuur van opstijgende droge lucht.

A. Leg uit wat in grafieken van fig. 1 het verschil is tussen de getrokken en de gestippelde lijnen.
b. In de tekst hierboven staat dat uitzettende lucht 1° per 100 meter afkoelt. Controleer dit in grafiek 1a. Leg uit hoe je dit controleert.
c. Leg uit waarom de opstijgende luchtbel in de dampkringsituatie van fig. 1b niet hoger komt dan 1 km.

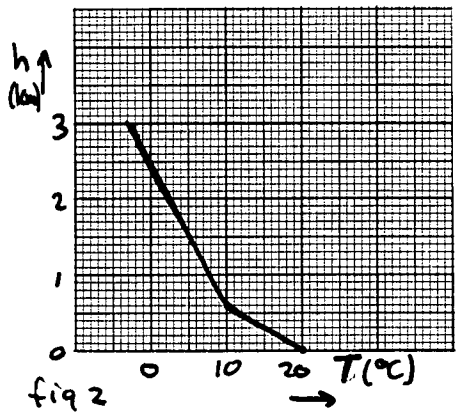


fig 2

d. Op welke hoogte is de stijgkracht van de opstijgende luchtbel het grootst in de situatie van fig. 1a?
e. Op een bepaalde dag is de temperatuurverdeling in de atmosfeer zoals getekend in fig. 2.
Er stijgt een luchtbel op vanaf de grond. De lucht is droog. Bepaal uit de grafiek tot hoe hoog deze luchtbel zal stijgen.
f. De volgende dag is de temperatuursverdeling in de atmosfeer, zoals getekend in fig. 3.
De opstijgende luchtbel bevat die dat waterdamp. Het dauwpunt van de lucht in de opstijgende luchtbel ligt bij 10 °C. Boven die temperatuur gedraagd de lucht zich als droge lucht.
Bepaal uit de grafiek hoe hoog de luchtbel zal opstijgen voordat er zich wolken beginnen te vormen in de luchtbel.
g. Als de wolkvorming begint koelt de opstijgende lucht minder snel af, namelijk slechts 0,55 °C per 100 m.
Leg uit hoe dit komt.
h. Bepaal nu in grafiek 3 tot hoe hoog de opstijgende luchtbel uiteindelijk zal stijgen en hoe hoog de gevormde wolken zijn.

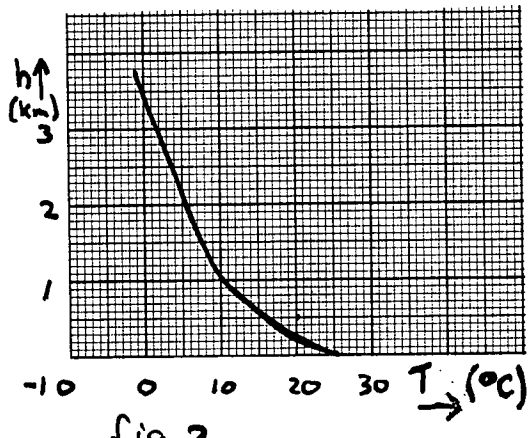


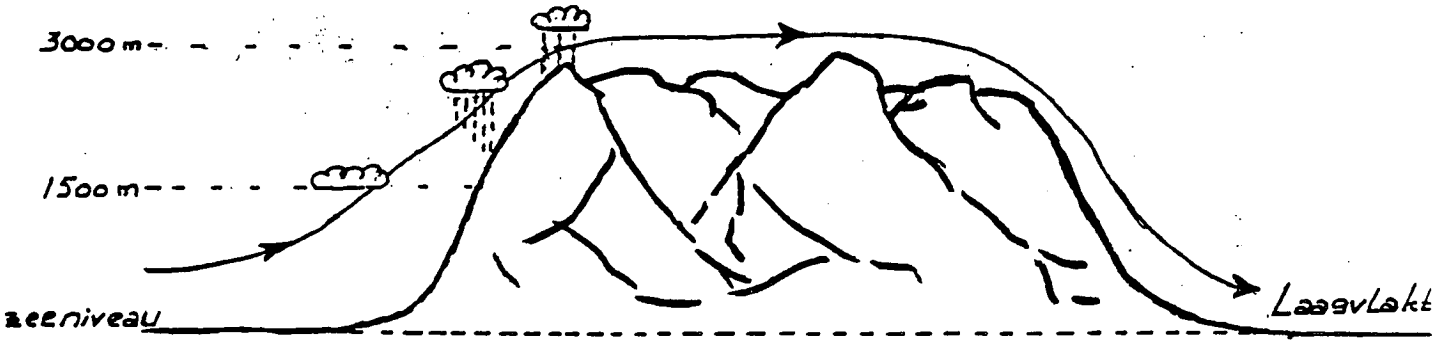
fig. 3

BIJLAGE D5

II Regenval in berggebieden.

a. 1. Wat verstaat men onder een stabiele atmosfeer. Leg je antwoord uit aan de hand van een schets.
2. Verklaar waarom in een inversie de atmosfeer stabiel is.

We kijken nu vervolgens naar lucht van 15 °C die van zee over land naar een bergketen stroomt. Bij het naderen van het gebergte wordt deze lucht gedwongen op te stijgen (zie fig.).



b. Verklaar waarom de lucht tijdens het opstijgen afkoelt.

Op 1500 m hoogte raakt de lucht verzadigd en zet de wolkenvorming in. Op nog grotere hoogte valt neerslag uit de gevormde bewolking.

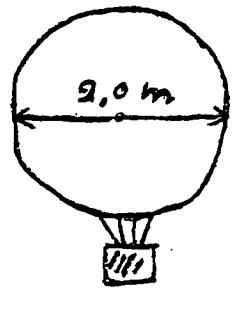
c. 1. Welke twee krachten werken er op een regendruppel die uit een wolk valt?
2. Leg uit waarom een regendruppel met constante snelheid valt.

Tijdens de passage van het gebergte regent de bewolking grotendeels uit. Aan de andere kant van het gebergte daalt de lucht weer naar de laagvlakte en eventueel nog aanwezige bewolking in de luchtstroom lost op.

d. Verklaar waarom de bewolking dan oplost.

III Oplaten van een weerballon.

Bij het KNMI (De Bilt) wordt enkele malen per dag een weerballon opgelaten. Dit is een ronde ballon, gevuld met 0,75 kg helium. Aan de ballon hangt een kaartje met enkele meters en een radiozender.
Vóór het loslaten is de diameter (2 x r) van de ballon 2,0 m. De druk aan de grond (die we p1 noemen) bedraagt $2{,}00 \times 10^5$ N/m^2, de temperatuur 10 °C.



a) Hoe groot is de druk in de ballon?

b) 1. Bereken V1 = het volume van de ballon (met volume van bol = $4/3 . \pi \times r^3$)
2. Bereken de dichtheid van het helium; deze is kleiner dan die van de lucht, zodat de ballon op kan stijgen.

De ballon wordt losgelaten, als je de ballon nakijkt, lijkt hij steeds even groot te blijven: hij wordt dus steeds groter.

c) Verklaar, waarom hij groter wordt.

BIJLAGE D5

d) Hoe groot is het volume V2 van het gas in de ballon daarboven?
(De temperatuur is nog steeds 10 °C.)
Gebruik daarbij dat er een verband bestaat tussen druk en volume:
p1.V1 = p2.V2.

Op ongeveer 25 km hoogte knapt de ballon.

e) Zoek informatie op om er achter te komen hoe hoog de druk op 25 km is.

f) Bereken nu het volume van de ballon toen hij knapte (neem aan dat de temperatuur nog steeds 10 °C is).

g) Is de aanname over de temperatuur juist?

h) Is het volume van de ballon op 25 km hoogte in werkelijkheid groter of kleiner dan je bij f) hebt berekend? Licht je antwoord toe.

IV Weerkaart bekijken.

De weerkaart van de figuur stelt een lagedrukgebeid voor waarvan de kern boven Ierland ligt. Op de kaart is ook de ligging van Arnhem aangegeven.

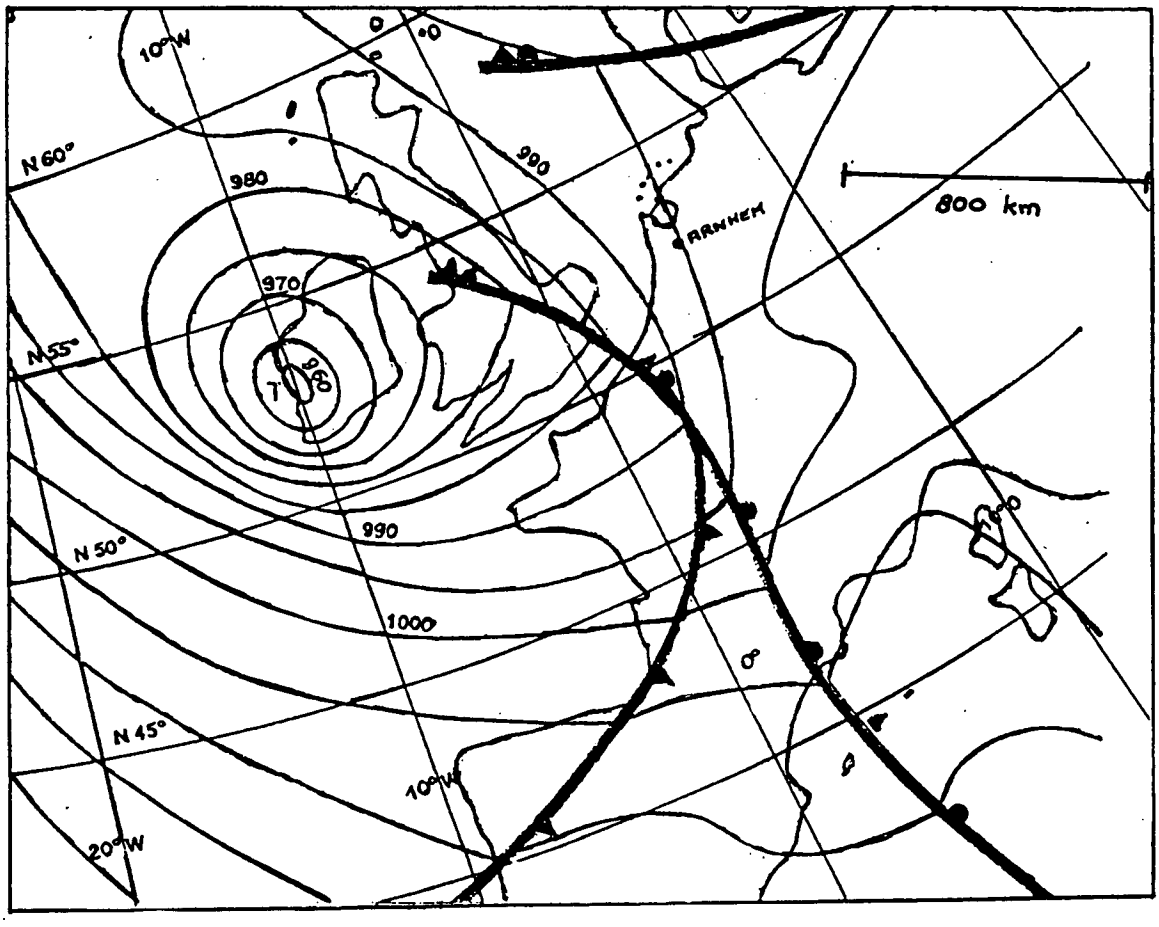
a) Bepaal, uit de weerkaart, de luchtdruk in Arnhem.

b) Teken de windrichting die je verwacht in de omgeving van Arnhem.
Verklaar je antwoord.

c) Bepaald de grootst mogelijke drukgradient in de omgeving van Arnhem.
Leg uit hoe je die drukgradient berekend hebt.

d) Welke invloed heeft de wrijving tussen de wind en het aardoppervlak op de grootte en op de richting van de windsnelheid?

e) Wat verwacht je voor weersveranderingen de komende 24 uur voor Nederland?
Licht je verwachting toe.



BIJLAGE D5

V

Een "nat- en droog thermometer" is een instrument om de relatieve vochtigheid van lucht te bepalen. Hij bestaat uit twee identieke thermometers, waarvan bij de een om het kwikreservoir een nat stukje katoen is gewonden. De temperatuur van de natte thermometer is lager dan van de droge. Dit komt omdat de langsstromende lucht waterdamp uit het katoen opneemt, waarvoor warmte nodig is die onttrokken wordt aan het kwik. In een ruimte wijst de droge thermometer 21 °C aan, de natte 14 °C.

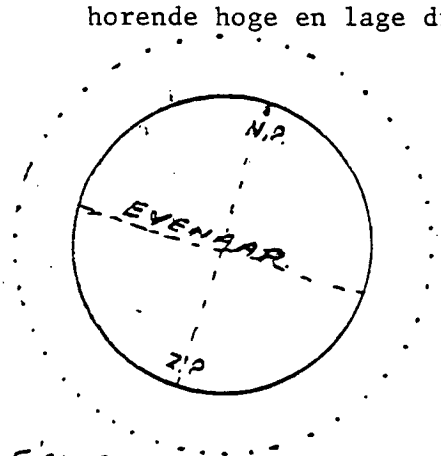
a) Bepaal met behulp van de tabel de relatieve vochtigheid.
b) Hoe groot is bij deze vochtigheid de druk van de waterdamp?
c) Waarom neemt in de tabel in de horizontale rij getallen bij 25 °C de relatieve vochtigheid naar rechts af?

temp. droge therm. °C	Relatieve vochtigheid (%) Verschil tussen temp. van natte en droge thermometer (°C)																
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°
-10	67	35															
-9	69	39	9														
-8	71	43	15														
-7	73	48	20														
-6	74	49	25														
-5	76	52	29	7													
-4	77	55	33	12													
-3	78	57	37	17													
-2	79	60	40	22													
-1	81	62	43	26	8												
0	81	64	46	29	13												
1	83	66	49	33	17												
2	84	68	52	37	22	7											
3	84	70	55	40	26	12											
4	85	71	57	43	29	16											
5	86	72	58	45	33	20	7										
6	86	73	60	48	35	24	11										
7	87	74	62	50	38	26	15										
8	87	75	63	51	40	29	19	8									
9	88	76	64	53	42	32	22	12									
10	88	77	66	55	44	34	24	15	6								
11	89	78	67	56	46	36	27	18	9								
12	89	78	68	58	48	39	29	21	12								
13	89	79	69	59	50	41	32	23	15	7							
14	90	79	70	60	51	42	34	26	18	10							
15	90	80	71	61	53	44	36	27	20	13	6						
16	90	81	71	63	54	46	38	30	23	15	8						
17	90	81	72	64	55	47	40	32	25	18	11						
18																	
19	91	82	74	65	58	50	43	36	29	22	16	10					
20	91	83	74	66	59	51	44	37	31	24	18	12	6				
21	91	83	75	67	60	53	46	39	32	26	20	14	9				
22	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22	17	11	6			
23	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30	24	19	13	8			
24	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26	20	15	10	5		
25	92	84	77	70	63	57	50	44	39	33	28	22	17	12	8		
26	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29	24	19	14	10	5	
27	92	85	78	71	65	58	52	47	41	36	31	26	21	16	12	7	
28	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32	27	22	18	13	8	5
29	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33	28	24	19	15	11	7
30	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	35	30	25	21	17	13	9

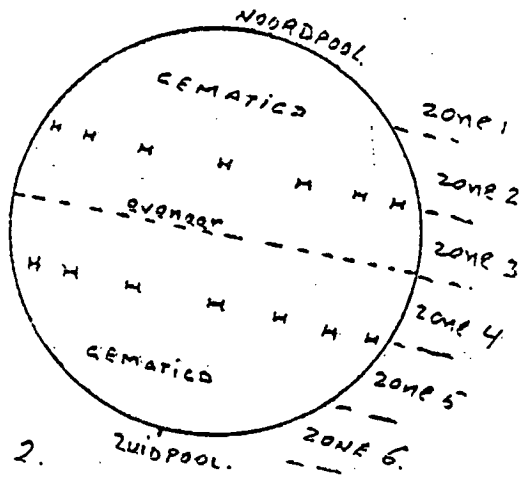
VI

Door verschillen in zonnehoogte (maximum hoogte in graden van de zon boven de horizon) ontstaan grote verschillen in temperatuur tussen evenaar en polen. Deze temperatuurverschillen veroorzaken een luchtcirculatie in Noord-Zuid richting over de aarde en bijbehorende hoge en lage drukgebieden.

a) Teken in figuur 1, in de extra dik getekende doorsnede van de atmosfeer, de luchtcirculaties die zouden ontstaan als de aarde niet zou draaien. Verklaar waardoor die circulatie in stand blijft. Geef ook de bijbehorende hoge en lage drukgebieden aan.



FIGUUR 1.



FIGUUR 2.

b) In werkelijkheid is het beeld ingewikkelder door de draaiing van de aarde. Door het corriolis effekt buigt de wind af. In de subtropen ontstaat het subtropisch hoog en op gematigde breedte (Nederland bijv.) komen veel depressies voor met meestal dezelfde trekrichting.
Teken in de tweede figuur de overheersende windrichtingen die in de zes zones voorkomen.

c) Avonturiers en andere vreemde personen varen soms voor de lol de wereld rond in een zeilboot. Veel van hen varen iets ten noorden of ten zuiden van de evenaar, want daar is het warmer. Bekijk figuur 2 goed. Zou zo iemand van Europa naar Amerika, dan over de Stille Oceaan naar Azie en vervolgens rond Afrika (eventueel door het Suez kanaal) en weer terug varen of juist andersom? Waarom vaart hij niet precies op de evenaar? Verklaar je antwoord zo duidelijk mogelijk.

VII Mist of geen mist?

Het is de afgelopen dagen helder herfstweer geweest. De temperatuur verliep zoals de hieronder getekende grafiek aangeeft. Een aantal nachten is er mist geweest die pas halverwege de morgen optrok.
Nu is het 14.00 uur. De luchttemperatuur is weer 14 °C en de luchtvochtigheid is 60 %. Jij moet voorspellen of, en zo ja hoe laat ongeveer, er mist kan ontstaan.

BIJLAGE D5

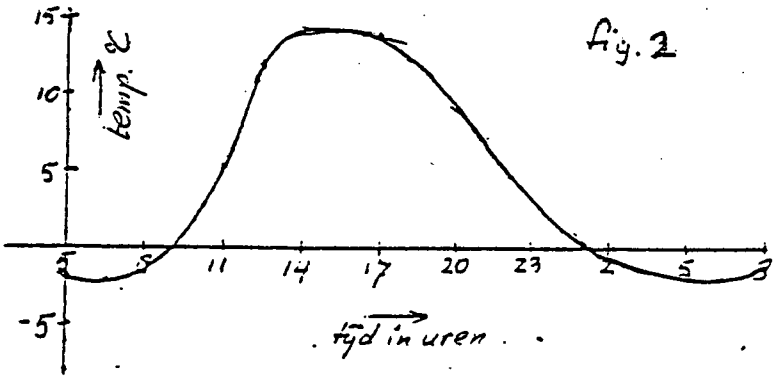


fig. 2

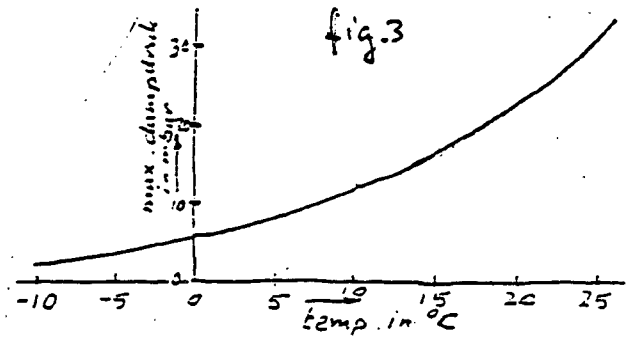


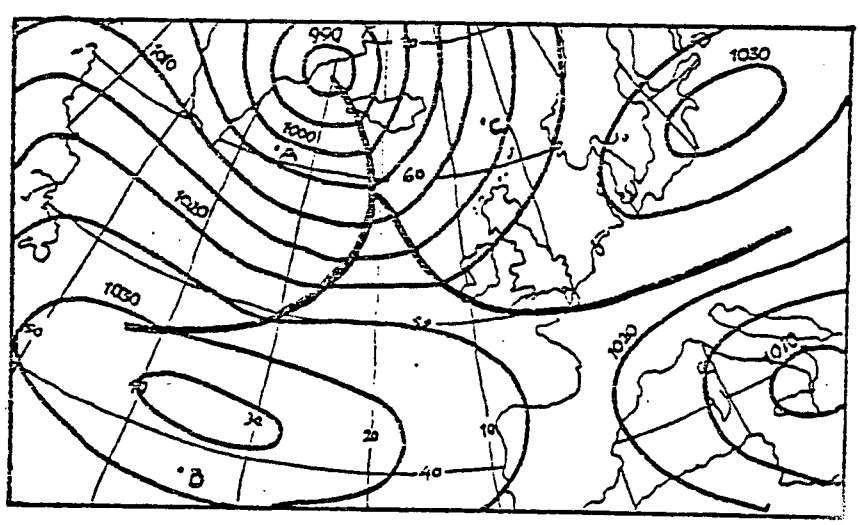
fig. 3

a) Bepaal met behulp van fig. 3 hoe groot de waterdampdruk in de lucht nu is.
b) Bepaal bij welke temperatuur en hoe laat er mist zou kunnen ontstaan, als het temperatuurverloop blijft zoals in fig. 2 is aangegeven.
c) Er verschijnen echter hoge wolken uit het westen aan de lucht en binnen vier uur zal de lucht helemaal dichttrekken. Hoge wolken zijn een belangrijk teken voor de meteoroloog. Wat is er in dit geval op komst en hoe verwacht je dat de wind, die nu nog uit het zuiden waait, van richting zal veranderen?
d) Wolken verhinderen de warmte uitstraling door de aarde. Geef in fig. 2 op de voorgaande bladzijde aan hoe de temperatuur vermoedelijk zal verlopen tussen 14 en 6 uur de volgende ochtend, nu de lucht bewolkt raakt. Voorspel welke invloed dit heeft op het wel of niet ontstaan van mist en zo ja, hoe laat dan?

VIII

Geef in het kaartje hiernaast aan:
- de hogedruk gebieden
- de lagedruk gebieden
- de ruggen

Geef met een pijl de windrichting in A, B en C aan.
In welk van deze punten is de windsnelheid het grootst? Hoe groot ongeveer?

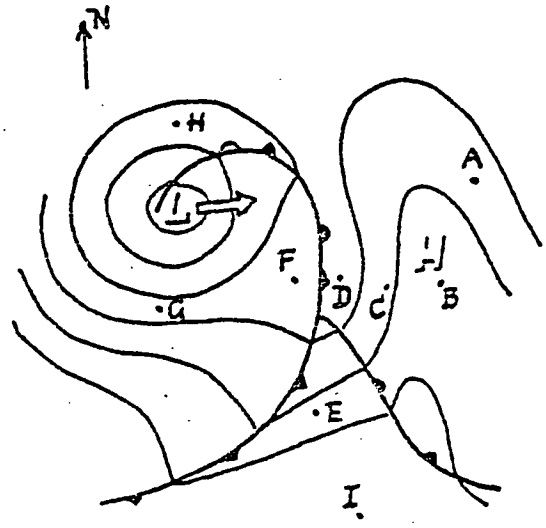


Afstand tussen twee breedtegraden: 111 km.

BIJLAGE D5

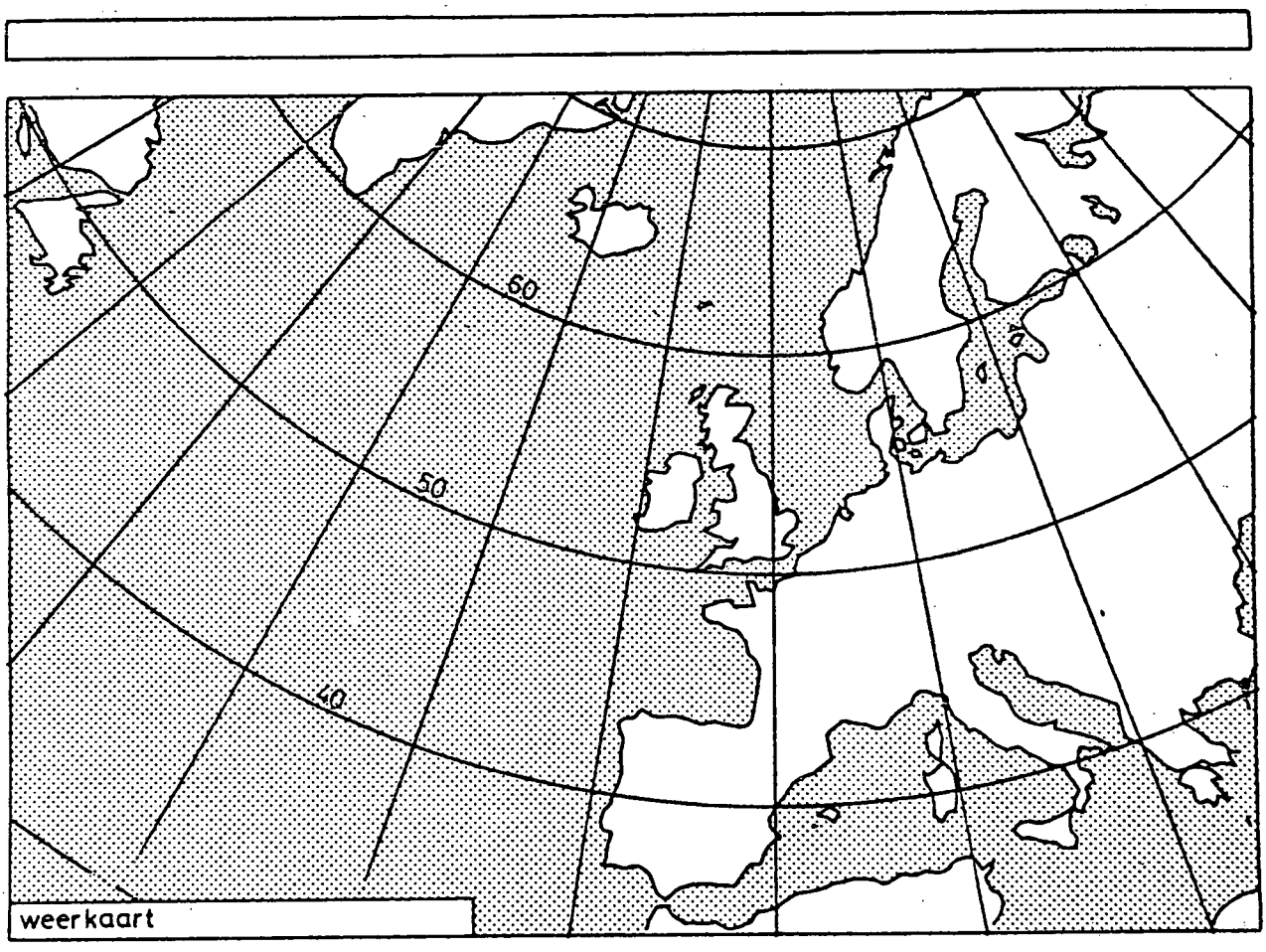
IX

Een geidealiseerde depressie op het noordelijk halfrond is geschetst in bijgaande figuur.
Geef voor de punten A tot en met H. aan hoe de volgende grootheden zullen veranderen:
- de luchtdruk
- de windrichting
- de windsterkte
- de bewolking



X

Blanco weerkaart.



BIJLAGE D6

VOORBEELD VAN EEN DOELSTELLINGENLIJST (S.G. Oost-Betuwe)

Na bestudering van het thema weersveranderingen moet je:

van hoofdstuk 2:
1. de definitie kunnen geven van temperatuur, druk en vochtigheid;
2. de eenheden van deze grootheden kunnen geven en kunnen omrekenen;
3. de grootheden kunnen meten onder de juiste omstandigheden;
4. de kracht kunnen uitrekenen die de lucht op een oppervlak uitoefent;
5. gegevens over temperatuur, luchtdruk, windsnelheid, windrichting en bewolkingsgraad uit een weerkaart kunnen bepalen;
6. de relatie kunnen geven tussen windrichting en isobaren bij een hogedruk- en een lagedrukgebied.
7. definitie kunnen geven van een isobaar, albedo;
8. 2 soorten satellieten kunnen benoemen en het verschil ertussen kunnen opschrijven;
9. uit een satellietfoto gegevens kunnen halen over bewolking, temperatuur.

van hoofdstuk 3:
1. de omstandigheden kennen die nodig zijn voor het ontstaan van wolken;
2. weten welke factoren invloed hebben op de hoogte van wolken en wat voor invloed ze hebben;
3. een eenvoudige wolkindeling kennen;
4. van een foto een bewolking kunnen benoemen;
5. de relatie kennen tussen wolkvormen en weersverwachting;
6. op twee manieren de wolkhoogte kunnen meten;
7. met de formule van Ferrell kunnen rekenen;
8. de wolksnelheid kunnen meten;
9. de bewolkingsgraad kunnen schatten.

van hoofdstuk 4:
1. twee processen van neerslagvorming kunnen beschrijven;
2. soorten neerslag kunnen geven en onderscheiden;
3. op drie manieren de grootte van druppels kunnen bepalen;
4. op grond van een wolkvorm een neerslagverwachting kunnen geven.

van hoofdstuk 5:
1. definitie kunnen geven van een front, een frontvlak, een hogedrukgebied en een depressie;
2. soorten fronten kunnen omschrijven en de bijbehorende bewolking;
3. kunnen verklaren, dat in hogedrukgebieden de bewolking afneemt;
4. kunnen verklaren dat in een depressie wolken ontstaan;
5. de vorming van een frontale depressie kunnen beschrijven;
6. de verschijnselen beschrijven die horen bij een naderende depressie.

van hoofdstuk 6:
1. drie manieren kunnen noemen en omschrijven om tot een weersvoorspelling te komen ;
2. een methode kunnen geven en toepassen om een weersverwachting te beoordelen;
3. een weersverwachting kunnen uitspreken op grond van bewolking, temperatuur-veranderingen en drukveranderingen;
4. met een weerkaart veranderingen in temperatuur, druk en neerslag kunnen voorspellen;
5. met een weerkaart windsnelheid en windrichting kunnen voorspellen.

WW KARAKTER VAN HET WEER TIJDENS DE WAARNEMING EN/OF IN HET AFGELOPEN UUR

00-49 Geen neerslag op het waarnemingsstation tijdens de waarneming

Uiterlijk van de hemel in het afgelopen uur

	Codecijfer
Ontwikkeling van de bewolking in het afgelopen uur niet waargenomen of niet waarneembaar	00
Bewolking in het algemeen afgenomen wat betreft de hoeveelheid en/of de dichtheid en/of de verticale ontwikkeling	01
Uiterlijk van de hemel over het algemeen onveranderd	02
Bewolking in het algemeen toegenomen wat betreft de hoeveelheid en/of de dichtheid en/of de verticale ontwikkeling	03

Heiigheid, zand, stof of rook

Zicht verminderd door rook (b.v. door bos- of heidebrand) industriestof of vulcanische as	04
Heiigheid, zichtvermindering hoofdzakelijk t.g.v. stof, rook, zand e.d.	05
Stof in de lucht, niet veroorzaakt door wind op of nabij het station tijdens de waarneming	06
Hoog verwaaiend stuifwater of stof of zand in de lucht, veroorzaakt door wind op of nabij het station tijdens de waarneming, maar geen goed ontwikkelde stof- of zandhoosjes en geen stof- of zandstorm binnen de gezichtskring	07
Goed ontwikkelde stof- of zandhoosjes, waargenomen op of nabij het station tijdens de waarneming of in het afgelopen uur, maar geen stof- of zandstorm	08
Stof- of zandstorm tijdens de waarneming binnen de gezichtskring of op het station in het afgelopen uur	09

Nevel, zicht t.g.v. waterdruppeltjes verminderd, doch groter dan 0.5 zm		10
Mist (of ijsmist) op het station, niet hoger reikend dan omstreeks 2 meter op land of 10 meter op zee.	geen gesloten laag	11
	min of meer gesloten laag	12
Bliksem, lichten of weerlicht, donder niet hoorbaar, geen neerslag op het station		13
Neerslag binnen de gezichtskring, welke het aardoppervlak niet bereikt		14
Neerslag binnen de gezichtskring, welke het aardoppervlak bereikt, doch op grote afstand (d.i. naar schatting meer dan 3 zm) van het station		15
Neerslag binnen de gezichtskring, welke het aardoppervlak nabij, doch niet op het station, bereikt		16
Onweer tijdens de waarneming, maar geen neerslag op het station		17
Zware windstoot(en)	Op het station of binnen de gezichtskring, in het afgelopen uur of tijdens de waarneming.	18
Water- of windhoos(zan)		19

Neerslag, mist (of ijsmist) of onweer op het station in het afgelopen uur maar niet tijdens de waarneming

Motregen (niet met ijzel) of motsneeuw	niet in de vorm van buien	20
Regen (niet met ijzel)		21
Sneeuw		22
Regen en sneeuw of ijsregen (bevroren regen)		23
Motregen (met ijzel) of regen (met ijzel)		24
Regenbui(en)		25
Sneeuwbui(en) of bui(en) met regen en sneeuw		26
Bui(en) met losse hagel of hagel, eventueel vergezeld van regen		27
Mist (of ijsmist)		28
Onweer (met of zonder neerslag)		29

Stofstorm, zandstorm of driftsneeuw

Lichte of matige stof- of zandstorm	is afgenomen in het afgelopen uur	30
	zonder merkbare verandering in het afgelopen uur	31
	is begonnen of toegenomen in het afgelopen uur	32
Zware stof- of zandstorm	is afgenomen in het afgelopen uur	33
	zonder merkbare verandering in het afgelopen uur	34
	is begonnen of toegenomen in het afgelopen uur	35
Lichte of matige lage driftsneeuw	het zicht op ooghoogte is niet merkbaar verminderd	36
Zware lage driftsneeuw		37
Lichte of matige hoge driftsneeuw	het zicht op ooghoogte is wel merkbaar verminderd	38
Zware hoge driftsneeuw		39

Mist (of ijsmist) tijdens de waarneming

Mist binnen de gezichtskring tijdens de waarneming (niet op het station, ook niet in het afgelopen uur): de bovenkant van deze mist bevindt zich op een grotere hoogte dan de waarnemer		40
Mistbanken		41
Mist, hemel zichtbaar	is in het afgelopen uur dunner geworden	42
Mist, hemel niet zichtbaar		43
Mist, hemel zichtbaar	geen merkbare verandering in het afgelopen uur	44
Mist, hemel niet zichtbaar		45
Mist, hemel zichtbaar	is opgekomen of dikker geworden in het afgelopen uur	46
Mist, hemel niet zichtbaar		47
Mist met afzetting van rijp of ruige rijp, hemel zichtbaar		48
Mist met afzetting van rijp of ruige rijp, hemel niet zichtbaar		49

50-99 Neerslag op het waarnemingsstation tijdens de waarneming

Niet-buiige neerslag

		Codecijfer
Motregen, van tijd tot tijd	licht tijdens de waarneming	50
Motregen, onafgebroken		51
Motregen, van tijd tot tijd	matig tijdens de waarneming	52
Motregen, onafgebroken		53
Motregen, van tijd tot tijd	dicht tijdens de waarneming	54
Motregen, onafgebroken		55
Motregen (met ijzel) licht		56
Motregen (met ijzel) matig of dicht		57
Motregen en regen, licht		58
Motregen en regen, matig of zwaar		59
Regen, van tijd tot tijd	licht tijdens de waarneming	60
Regen, onafgebroken		61
Regen, van tijd tot tijd	matig tijdens de waarneming	62
Regen, onafgebroken		63
Regen, van tijd tot tijd	zwaar tijdens de waarneming	64
Regen, onafgebroken		65
Regen (met ijzel) licht		66
Regen (met ijzel) matig of zwaar		67
Regen of motregen en sneeuw, licht		68
Regen of motregen en sneeuw, matig of zwaar		69
Sneeuw, van tijd tot tijd	licht tijdens de waarneming	70
Sneeuw, onafgebroken		71
Sneeuw, van tijd tot tijd	matig tijdens de waarneming	72
Sneeuw, onafgebroken		73
Sneeuw, van tijd tot tijd	zwaar tijdens de waarneming	74
Sneeuw, onafgebroken		75
IJsnaalden, ijspiazatjes (met of zonder mist)		76
Motsneeuw (met of zonder mist)		77
Poolsneeuw (met of zonder mist)		78
IJsregen (bevroren regen)		79

Buiige neerslag

Regenbui, licht		80
Regenbui, matig of zwaar		81
Wolkbreuk		82
Bui met regen en sneeuw, licht		83
Bui met regen en sneeuw, matig of zwaar		84
Sneeuwbui, licht		85
Sneeuwbui, matig of zwaar		86
Bui met losse hagel, eventueel met regen of met regen en sneeuw	licht	87
	matig of zwaar	88
Bui met hagel, eventueel met regen of met regen en sneeuw, doch zonder donder	licht	89
	matig of zwaar	90

Onweer

Lichte regen tijdens de waarneming	Onweer in het afgelopen uur maar niet tijdens de waarneming	91
Matige of zware regen tijdens de waarneming		92
Sneeuw, regen en sneeuw, losse hagel of hagel tijdens de waarneming, licht		93
Sneeuw, regen en sneeuw, losse hagel of hagel tijdens de waarneming, matig of zwaar		94
Onweer, licht of matig, zonder hagel of losse hagel maar met regen en/of sneeuw tijdens de waarneming	Onweer tijdens de waarneming	95
Onweer, licht of matig, met hagel of losse hagel tijdens de waarneming		96
Onweer, zwaar, zonder hagel of losse hagel, maar met regen en/of sneeuw tijdens de waarneming		97
Onweer gepaard met stof- of zandstorm tijdens de waarneming		98
Onweer, zwaar, met hagel of losse hagel tijdens de waarneming		99

TOELICHTINGEN

De ww-cijfers hebben alleen dan betrekking op het afgelopen uur, wanneer dit in de code met name wordt genoemd.

Het hoogste van toepassing zijnde ww-codecijfer dient te worden gekozen. Het ww-codecijfer 17 heeft echter voorrang boven alle ww-codecijfers 20–49

Onafgebroken neerslag: heeft minstens het afgelopen uur tot en met het tijdstip van waarneming voortgeduurd.

Neerslag van tijd tot tijd: op het tijdstip van waarneming waargenomen, doch aangevangen of onderbroken tijdens het afgelopen uur.

ww-codecijfer 40: het geringste zicht op de plaats van waarneming moet meer dan 0.5 zeemijl zijn.

ww-codecijfers 41 t/m 49: het zicht mag niet meer dan 0.5 zeemijl zijn.

De mistcijfers alleen te bezigen wanneer de zichtvermindering wordt veroorzaakt door in de ruimte zwevende waterdruppeltjes of ijskristallen.

BIJLAGE 12

WINDKRACHT EN -RICHTING

.4 WIND - THE AIR IN MOTION

The atmosphere is very rarely at rest. The motion of the air is what we call wind. We can have very localized effects like the flurry of wind at the street corner, or the sea breeze which is caused by the strong heating over land in late spring and early summer. Yet the wind can also be the air in motion in the large wind systems, anti-cyclones or polar front storms moving from the west to the east. Exceptionally strong winds occur in tropical cyclones, hurricanes and in tornadoes, where the wind speed exceeds 100 m/sec. Actually, no one knows for sure how strong the wind is in a tornado as most wind gauges break down in these violent conditions. Even regular mid-latitude storms can occasionally cause hurricane-speed winds posing serious threats to shipping and other human activities. Trees are blown down, bringing power and telephone lines with them, blizzards isolate villages, roofs are blown off buildings and scaffolding falls apart. Damage like this can run into vast amounts of money every year.

Winds can also be cold or warm. Northerly winds frequently bring colder air from northern latitudes, while southerly winds carry warm, tropical air. The winds and the organized wind systems are also important in understanding how the ever increasing, obtrusive air pollutants are transported in the atmosphere. Knowledge of winds has always been of great interest to seafarers and is now important with regard to modern air transportation; by avoiding strong head winds and making use of tail winds, a pilot can save both time and fuel. During the era of the sailing ships, the winds were not only part of the weather, but also the energy source for the vessels themselves. No wonder then that one of the most widely used wind-speed scales was developed by a sailor, the British Admiral Beaufort, during the nineteenth century. This scale does not in fact refer to speed, but to force – the effect of the wind on the sailing properties of a ship. (See pp. 252–253)

Pressure forces

Let us consider the following simple example (Fig. 7) where we have two points on the surface separated from each other by a difference in pressure. There exists a pressure difference between them of 10 mb. This pressure difference tends to move the air from the higher pressure to the point of the lower pressure. (By analogy, we need water pressure to get the water through a water pipe system to the taps or faucets. This is often achieved by building a tank inside the roof or a water tower with the water reservoir elevated. The pressure is then created by the earth's gravity acting on the water.) We can view the pressure difference in Fig. 7 in the same way. Where we have higher pressure the air tends to 'flow down the slope' to the lower pressure area. The pressure force between the two points increases with increasing pressure difference. Also, if the points are moved closer together, with the same pressure difference, the force also increases. The 'slope' increases. Normal pressure differences in the atmosphere are about 10 mb over distances of the order 500–1000 km.

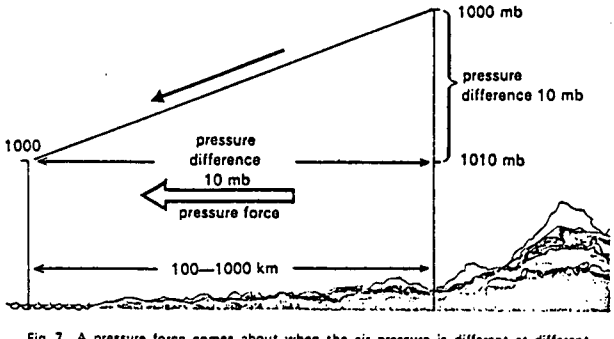


Fig. 7 A pressure force comes about when the air pressure is different at different locations. This means that there is more air where the pressure is high, and this excess air seeks its way to where there is less air, i.e. the pressure is lower.

Wind speed and wind direction

To describe the wind we usually talk about the wind speed (though we really describe its strength or force) and the direction from which it is blowing. For example, a westerly wind means that the wind is blowing out of the west towards the east. The old Beaufort scale, even if it is still used in many countries over the world, has given way to other, metric, units like metre per second (m/sec.), knots (nautical miles per hour) or kilometres per hour (km/h). In the U.S.A., miles per hour is the commonly used unit. Quite often, we use names for different wind speeds, like 'breeze', 'fresh wind' or 'gale'.

Vertical wind

The winds described above are horizontal winds, blowing parallel to the earth's surface. But air can also move vertically and so we get a vertical wind, which can be directed either upwards or downwards. Up and down winds can sometimes become as strong as the horizontal winds. This is frequently the case in thunderstorm clouds. Normally the vertical wind is rather weak – much weaker than the horizontal. The vertical velocity in a large storm in the middle latitudes is of the order of 5–10 cm/sec. in the middle troposphere. This is in marked contrast to the horizontal winds in the same area, which can be of the order of 30–40 m/sec. Such a vertical wind is, however, strong enough to give rise to widespread areas of precipitation.

Why does the wind blow?

What keeps the atmosphere in restless motion? What causes the wind to blow? Since the wind is merely air in motion, there must be one or more forces acting upon the air, in the same way as an engine is needed to drive an automobile forward. In Chapter 2 we saw an example of a force capable of accelerating air vertically. For horizontal motion, the 'motive force' is the *pressure force*.

The effect of the earth's rotation

If pressure was the only force affecting it, the air would move straight from the point of higher pressure to the point of lower pressure. If we draw lines for equal pressure on a map (these lines are called *isobars*, from *iso* meaning 'equal' and *bar* meaning 'weight') the wind would blow straight across the isobars (Fig. 8).

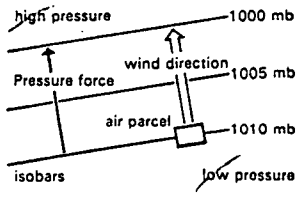


Fig. 8 If the pressure force was the only force acting on the air it would move directly from the high pressure to the low pressure, i.e. perpendicular to the isobars.

However, this is not actually what we observe, except, may be, close to and over the equator. What we see instead is the wind blowing parallel to, or almost parallel to, the isobars. The cause for this behaviour is to be found in the *rotation of the earth*, which changes the way in which we see the air moving in a very fundamental way. The impact of this is tremendous and the climate of the earth would have been very different if the earth had not rotated or had rotated with a different speed.

In order to clarify the picture and illustrate what is happening, we can try a simple experiment, using a turntable. Rotate the turntable so it moves counter-clockwise, the same way in which the earth rotates. Take a pencil or a piece of chalk and starting from the middle draw a straight line out to the edge. Because of the rotation a curved line is produced on the turntable which is deflected towards the right. In the same way, if we draw the line from the edge towards the middle, the line will again curve to the right. Although a straight line was drawn, for a person 'living' on the turntable and moving along with its motion (if one can imagine that), the line is curved to the right (see Fig. 9). The wind in the atmosphere moves relative to fixed lines in space, but we observe it standing on a rotating object, the earth. Suppose that

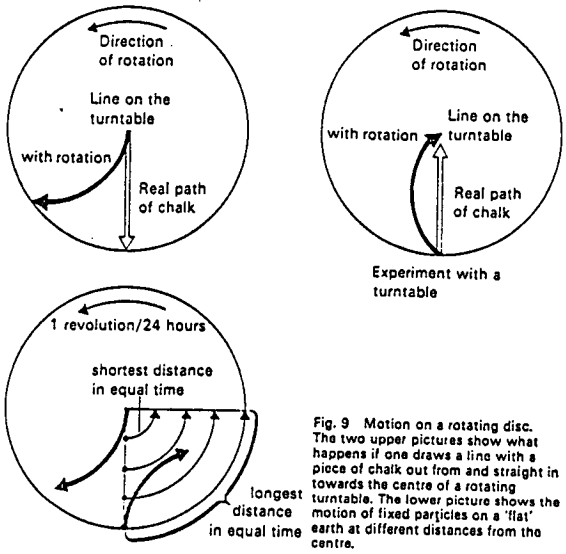


Fig. 9 Motion on a rotating disc. The two upper pictures show what happens if one draws a line with a piece of chalk out from and straight in towards the centre of a rotating turntable. The lower picture shows the motion of fixed particles on a 'flat' earth at different distances from the centre.

the earth is a flat disc. Places at different distances from the centre will move at different speeds when the earth is rotating. The disc rotates with one revolution every twenty-four hours, one revolution for all points. But during this time the places will have travelled different distances. Those closer to the edge of the disc will travel longer distances, resulting in higher speeds. To obtain a visual image of what happens in space, we can imagine a particle moving towards the middle, which will then have a greater speed in the direction of the rotation than the points it is passing over. This higher speed does not vanish simply because the particle is moving towards the middle, but will give it an apparant motion to the right. In a similar way a particle starting from the middle and moving towards the edge will have a lower speed than the points it is passing over and equally gain an apparent deflection towards the

right. This effect is called the *Coriolis effect* or the *Coriolis force*, named after the Frenchman Coriolis who discovered it.

The earth is not a disc but a sphere. On a disc the speed with which a point is moving changes uniformly when going from the middle towards the edge; on earth this change occurs according to the latitude. The figure shows that at the equator the speed of a fixed point on earth is about 1670 km/h. At 30°N it is 1440 km/h, having decreased by 230 km/h from the equator to 30°N. At 60°N the velocity is down to 830 km/h and the difference between 60 and 30°N is then 610 km/h. Between 60°N and the pole at 90°N the velocity decreases to zero, a difference of 830 km/h. The effect of the rotation of the earth thus increases the nearer towards the pole we come. On the other hand, at the equator the change vanishes since two points a short way away from the equator on each side will have the same speed. *The deflecting 'force' towards the right on the northern hemisphere increases towards the north. It is greatest at the pole and zero at the equator.*

We are now in the position to imagine what happens when an air parcel starts to move towards lower pressure under the influence of a pressure force. As the air begins to move the Coriolis 'force' starts to act on it, acting at right angles to the motion and to the right, an effect which increases with wind speed. After a relatively short time the air will move in a direction *parallel* to the isobars, i.e. *perpendicular* to the pressure force, because by then

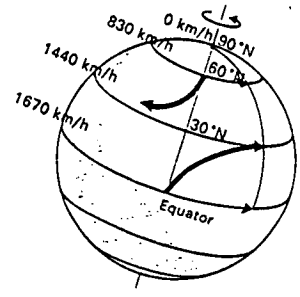


Fig. 10 The influence of the earth's rotation on the motion of the air.

we have a balance between the pressure force and the Coriolis 'force' which have become equal in strength and opposite in direction. The pressure force acts to the left of the wind direction and the Coriolis 'force' to the right. Such a wind, where the pressure force is balanced by the Coriolis 'force', is called *geostrophic wind* (geo meaning 'earth' and strophe meaning 'turn, twist') in meteorology. The Coriolis 'force' is proportional to the wind speed itself, meaning that the stronger the wind the stronger the Coriolis 'force', and the stronger the pressure force needed to balance the Coriolis 'force'. This can also be expressed as: *The stronger the pressure force, the closer the isobars, and the stronger the wind.* In fact, it is simple to derive a formula which will relate the wind speed to pressure force and Coriolis 'force'. For example, if we have a pressure difference of 10 mb over 1000 km at 45°N the wind is approximately 10 m/sec. or 20 knots.

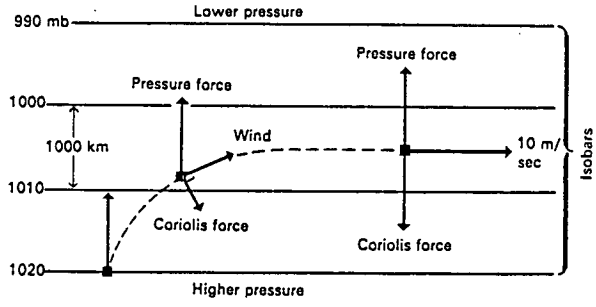


Fig. 11 A volume of air at rest will be affected by a pressure force so that it will tend to move towards lower pressure. When it picks up speed, however, it will be deflected towards the right because of the effect of the earth's rotation – the so called Coriolis effect. Finally a balance is reached between the pressure force and the Coriolis force and the air moves parallel along the isobars as is shown to the right in the figure.

(For the mathematically inclined we give the equation for the geostrophic wind as follows:

$$V_g = \text{geostrophic wind speed} = \frac{1}{fg} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

where

g is the density of air. At the earth's surface about 1·3 kg/m³

Δp is the pressure difference between two points

Δs is the distance between these points measured perpendicular to the isobars on a map. $\left(\frac{\Delta p}{\Delta s}\right.$ is thus the pressure gradient$\left.\right)$

f is the Coriolis factor which expresses the earth's angular velocity at a certain latitude. At 45°N $f = 0{\cdot}0001\ s^{-1}$.

With the aid of this formula the geostrophic wind can be calculated from weather maps. Generally isobars are drawn for the fixed interval of 4 mb. That means that Δp is always 4 mb or 400 Pascal. By measuring the distance between the isobars we can then compute the *pressure gradient* $\frac{\Delta p}{\Delta s}$ and thus V_g.)

We have also mentioned above that the Coriolis effect varies with latitude, becoming greater to the north. This means that a greater pressure difference is needed to balance the same wind speed.

The *real* wind in the atmosphere is often close to the geostrophic wind especially in the free atmosphere where the air is not influenced by the roughness of the earth's surface. The wind speed is, however, also influenced by the air moving in circular tracks, introducing a further 'centrifugal force', which is proportional to the square of the wind speed. Wind resulting from a balance between a pressure force, the Coriolis 'force' and a centrifugal force is called cyclostrophic.

Friction and turbulence

Close to the ground the air is affected by yet another force. At the earth's actual surface the wind velocity becomes zero (simply because the surface is not moving). In fact there is a gradual decrease of the wind when we approach the surface from above, for instance in an aircraft. The air is exposed to a *frictional force* which slows down the motion and 'backs' its direction, i.e. moves it anticlockwise. How high up does this frictional force affect the air? Well, that depends very much on the 'roughness' of the earth's

BIJLAGE 12

surface. Houses, trees, rocks, hills and boulders force the air to move either over or around them. The effect is to create irregular eddies of moving air which cause mixing of the air in the lowest part of the atmosphere. This irregular mixing is called *turbulence*.

Most people have probably noticed that the wind rarely blows steadily, but that it changes its speed jerkily and irregularly. This is an expression of the turbulence of the air motion; particularly rapid changes are referred to as *gusts*. The wind speed we normally talk about and the one which is usually discussed by the weather forecaster is the mean wind speed, the mean usually being taken over ten minutes. The intensity of the turbulence or the gustiness depends a great deal on the roughness of the surface. It is greater over cities and mountains than over level plains or over the sea. The turbulence also depends on whether it is night or day.

As we saw in Chapter 2 the temperature in the air can decrease with height in three different ways giving stable, unstable and neutral stratification. During the day when the surface is heated

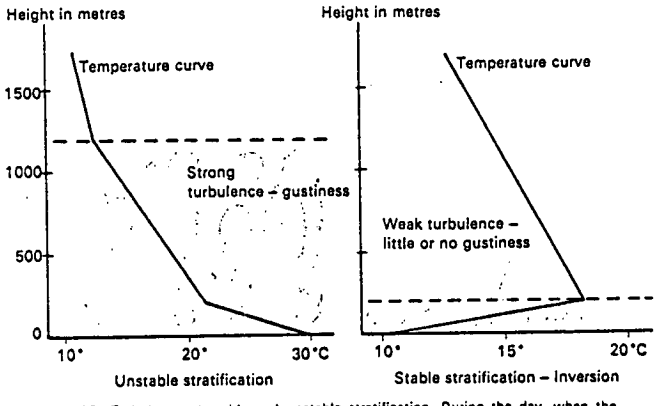


Fig. 12 Turbulence at stable and unstable stratification. During the day, when the earth's surface gets strongly heated by solar radiation, the vertical mixing of the air becomes very strong; large whirling eddies carry air up and down and the wind gets gusty. During the night or winter, inversions often form close to the ground. The vertical stability is large and the irregular turbulent motions are suppressed. The gustiness decreases or vanishes completely.

by the sun unstable stratification occurs near the surface and the roughness of the surface has a greater impact when forcing the air upwards. The air is more efficiently mixed and the turbulence increases. During the night the surface is cooled by long-wave radiation making lower layers of air more dense, and as the temperature increases with height (known as 'inversion') gives rise to stable conditions. Air parcels which accelerate upwards due to the roughness of the surface are slowed down by the stable stratification, so that the turbulence is suppressed or ceases to exist. The intensity of the turbulence also depends on the wind speed itself. The stronger the wind passing over an uneven surface the stronger the turbulence will be.

Strong wind in unstable atmospheric conditions can give rise to very strong gusts. If we have a mean wind of 15 m/sec. the gustiness under suitable conditions can amount to an additional 15–20 m/sec., i.e. the total wind speed in a heavy gust can amount to 30–35 m/sec. It is the heavy gusts which usually cause the most damage, and this kind of wind is especially tricky for sailors, since the gusts often come without much warning.

The turbulent layer close to the ground varies considerably in thickness. During the day when the turbulence is strong this layer can be 1–2 km thick, shrinking to about 50 m or less during the night when we have strong long-wave radiational cooling at the surface. It is especially important to study turbulence in order to understand how air pollution is diffused. Turbulence leads to mixing of the air, causing smoke from a chimney to be diffused both horizontally and vertically in addition to being transported downwind in the general air movement.

Turbulence and aviation

Turbulence does not only occur at the surface, but also occasionally in the free atmosphere. At altitudes between 5000–12,000 m a kind of turbulence called *Clear Air Turbulence* (*CAT*) sometimes occurs. This is a phenomenon well known to pilots and you may have encountered it yourself on a flight in a modern jet liner. Most of the time it only causes slight vibrations in the fuselage of the aircraft, but in exceptional cases the turbulence can get so violent that damage is caused to both aircraft and passengers.

Some crashes have also been attributed to clear air turbulence. When running into CAT, pilots usually try to alter their cruising level as soon as possible to avoid the CAT. To warn and forecast for CAT is one of the responsibilities of the aviation meteorologist. Very severe turbulence can also occur in connection with thunderclouds, so-called 'air pockets'. It is the very strong vertical velocities in the thunderclouds which act as turbulence. The up- and down-droughts can amount to 10–40 m/sec.; an aircraft can be lifted several hundreds of metres in only a couple of seconds and thrown down again just as quickly. These effects are worst at high flying speeds. Pilots try to avoid thunderclouds as far as possible and most aircraft are equipped with weather radar which can identify thunderclouds which are usually regions of severe turbulence. CAT is trickier since it occurs in clear air, as its name suggests and no satisfactory in-flight warning system exists for it.

Generally the turbulence decreases very rapidly above 1 km where the air is not affected by the frictional slow-down at the surface. Close to the ground, where we are, the friction, however, has a marked effect on the wind speed and the wind direction. The result is that the wind is weaker than it otherwise would have been from a pure balance between the Coriolis 'force' and the pressure force. The frictional force always acts in the opposite direction to the wind causing a slow-down in the wind speed. When the wind speed decreases the pressure force becomes stronger than the Coriolis 'force' causing the wind to turn towards lower pressure, instead of being parallel to the isobars (see Fig. 13).

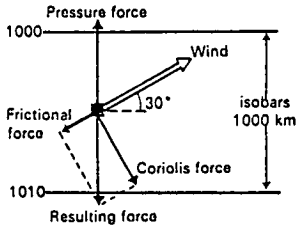


Fig. 13 Friction always acts as a retarding force on the wind. Air must stream towards lower pressure to counteract the frictional slow-down of the motion. A new equilibrium is established in which the friction force and the Coriolis force are balanced by the pressure force. The wind gets weaker as compared to frictionless flow and the angle between the wind direction and the isobars varies around 30°.

A balance is formed between three forces – pressure force, the Coriolis 'force' and the frictional force.

To sum up, the effect of the surface friction is that the wind speed gets smaller, the drop varying between 10–40% of the speed in the free atmosphere. The wind blows at an angle of some 10–45° over the isobars towards the low pressure area. The higher of these values is usually associated with stable stratification and the smaller value with unstable air.

'Backs to the wind' rule

Figure 13 shows that if we stand with the wind to our backs we have lower pressure to the left and higher pressure to the right. This is a well known saying which enables one to find out where the 'low' is, and is known as Buys Ballot's law.

BIJLAGE 13

De taal van wolken

De samenhang tussen wolkenvorm en de wijze van ontstaan

'.....en later op de dag meer bewolking' luidt – zeker deze zomer – vaak de mededeling van het KNMI. Wat hebben we aan zo'n mededeling? De veranderingen die zich in het wolkenpatroon voltrekken hebben uiteraard voorspellende waarde, want de wijze waaarop wolken ontstaan hangt nauw samen met de fysische en dynamische processen die zich in de atmosfeer – immers de plaats waar het weer 'gemaakt' wordt – afspelen. De voorspeltermijn van een weersverwachting, afgeleid uit een bepaald wolkentype beslaat meestal niet meer dan enkele uren. Daarom wordt in meteorologische instituten niet in de eerste plaats naar wolken gekeken om een weersverwachting op te stellen.
De indeling van wolken naar de verschillende verschijningsvormen is tamelijk ingewikkeld, maar men kan zich tot enkele grondtypen beperken voor de beoordeling van de voorspellende elementen aan de wolkenhemel. Rond 1800 wisten Lamarck (een Franse bioloog) en Howard (een Engelse scheikundige) als eersten de grondtypen te onderscheiden. Vooral de indeling van Howard blonk uit door eenvoud en dient nog steeds als basis voor de huidige (verder gespecialiseerde) naamgeving.

[illegible] Howard [illegible] mit reinem Sinn
Uns neuer Lehren herrlichsten Gewinn
Was sich nicht halten, nicht erreichen lässt
Er fasst es an, er hält zuerst es fest;
Bestimmt das Unbestimmte, schränkt es ein
Benennt es treffend! – Sey die Ehre dein! –
Wie Streife steigt, sich ballt, zerflattert, fällt
Erinnre dankbar Deiner sich die Welt.

Goethe (1820)

In de grote vormenrijkdom die de natuur ons toont, heeft de mens al sinds eeuwen getracht een systeem te ontdekken. De ordening van de materie vond het eerst plaats op het gebied van de levende natuur. De naam van Carl Linnaeus, die in 1735 zijn 'Systema Naturae' publiceerde, is onverbrekelijk hiermee verbonden.
De natuur geeft op het eerste gezicht een chaotische indruk. Dit geldt ook voor de wolkenhemel. Hierin trachtten omstreeks 1800 twee onderzoekers geheel onafhankelijk van elkaar een systeem te vinden. Zij publiceerden hun bevindingen vrijwel gelijktijdig: de Franse bioloog *J. B. Lamarck* in 1802 en de Engelse scheikundige *L. Howard* in 1803. Lamarck liet zijn systeem afdrukken in zijn 'Annuaire météorologique pour l'an X' (1802), maar zijn poging bleef vrijwel onopgemerkt, ook in Frankrijk. Hij onderscheidde de volgende vormen: nuages en balayures (wolken in vegen), nuages en barres (wolken in strepen), nuages pommelés (schapewolken), nuages groupés (wolken in groepen), nuages en voile (sluiervormige wolken) en nuages attroupés (opeengehoopte wolken). Hoe kwam het dat de indeling van Lamarck geen weerklank vond? Na een jaar zou blijken dat hij vrijwel identiek was aan die van Howard, terwijl we met zekerheid kunnen beweren dat de publikatie van Lamarck aan Howard onbekend is gebleven. In de eerste plaats was het 'Annuaire météorologique' een weinig bekende en weinig verbreide publikatie, ook in Frankrijk. Belangrijker nog was het ontbreken van afbeeldingen bij de publikatie van Lamarck, en het ontbreken van Latijnse, internationaal toegankelijke namen.
Howard vatte zijn onderzoek in 1802 samen onder de titel 'On the modifications of clouds' en maakte het openbaar tijdens de derde zitting van het jaar 1802 van de 'Askesian Society' te Londen. Het verscheen in druk in 1803, vergezeld van figuren (schetsen van wolken) en een naamlijst in het Latijn. Het laatste was ongetwijfeld een belangrijk gegeven voor het bekend worden van nieuwe

vervolg op pagina 3

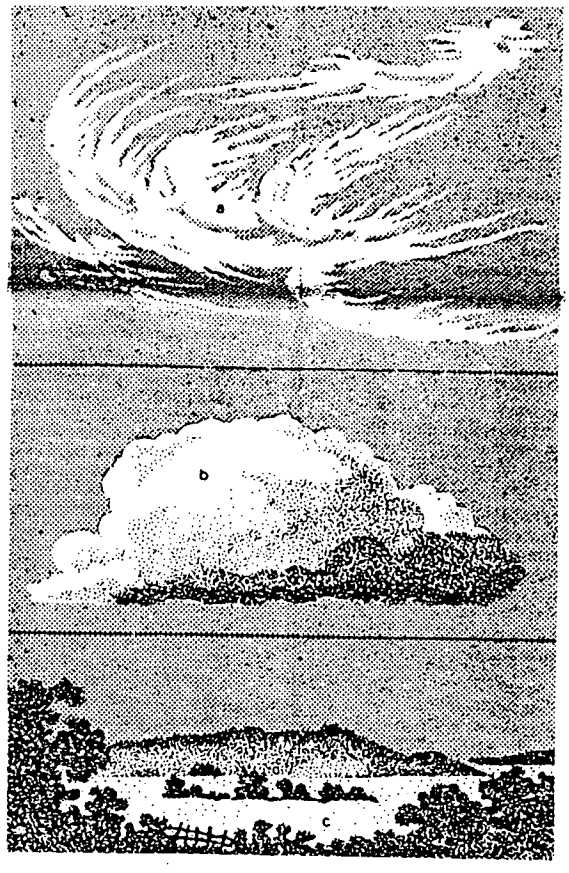


Fig. 1. a) cirrus, b) cumulus, c) stratus (naar L. Howard, 1803)

BIJLAGE 13

vervolg van pagina 1

De taal van wolken

zaken in de toenmalige wetenschappelijke wereld. Howard en zijn classificatie van de wolken zijn echter vooral bekend geworden door de dichter en natuuronderzoeker Goethe. Deze raakte omstreeks 1820 bekend met de publikatie van Howard, waarna hij spoedig in correspondentie trad 'mit dem Manne, der Wolken unterschied'. Hij probeerde diens ideeën door eigen waarnemingen, tekeningen en zelfs enkele aan Howard opgedragen gedichten te verbreiden. In Goethes werk 'Zur Naturwissenschaft überhaupt' (Stuttgart en Tübingen, 1817 – 1823) is in deel 2 op bladzijde 7 tot 19 een autobiografie van Howard opgenomen.

Luke Howard werd geboren op 28 november 1772. Na zijn schooltijd volgde hij een opleiding tot chemisch laborant (apotheker). In 1796 trad hij in handelsrelatie met William Allan waarna hij naar Plaistow (Essex) trok om daar het toezicht te houden op een chemisch laboratorium. In die plaats kreeg hij bezoek van A. Pictet, die zijn meteorologisch [illegible] ramen omgeven kabinet waar geen enkele verandering in het atmosferisch gebeuren een opmerkzaam waarnemer kon ontgaan. In 1805 verhuisde hij naar Stratford, en vandaar in 1812 naar Tottenham waar hij de rest van zijn leven verbleef. Ook vertoefde hij vaak op zijn landgoed 'Ackworth' in Yorkshire. Hij stierf op 21 maart 1864, 92 jaar oud.

De door Howard voorgestelde indeling vormt de grondslag voor de indeling van wolken die thans nog in gebruik is. Vier van de vijf voornaamste vormen van Lamarck vinden we terug in Howards indeling. Howard onderscheidde drie fundamentele vormen:

Cirrus: nubes cirrata, tenuissima, quae undique crescat (fig. 1a)
Cumulus: nubes cumulata, densa, sursum crescens (fig. 1b)
Stratus: nubes strata, aquae mode expansa, deorsum crescens (fig. 1c)

Wij geven hier de letterlijke vertaling van deze drie benamingen met tussen haakjes de Nederlandse naam voor deze wolken:

Cirrus = haarlok, toefje (vederwolk, windveer)
Cumulus = stapel (stapelwolk)
Stratus = laag, deken (laagwolk)

Naast deze drie fundamentele vormen onderscheidde Howard nog vier afgeleide vormen:

Cirro-cumulus: nubilae densiores subrotundae et quasi in agmine appositae (fig 2a)
Cirro-stratus: nubes extenuata subconcava vel undulata. Nubeculae huius modi appositae (fig. 2b)
Cumulo-stratus: nubes densa, basim planam undique supercrescens, vel cuius moles longinqua videtur, partim plana, partim [illegible]
Cumulo-cirro-stratus vel nimbus: nubes vel nubium congerius pluviamm effundens

Aangezien de letterlijke vertaling van de namen van deze vier afgeleide vormen niet verhelderend werkt, geven wij hier de omschrijving plus de Nederlandse benaming:

Cirro-cumulus: uiterst fijne wolkenplukjes,
Cirro cumulus: uiterst fijne wolkenplukjes, meestal in banken, hoog in de atmosfeer (kleinste of fijnste schapewolk)
Cirro-stratus: ijle, enigszins doorzichtige wolkensluier op grote hoogte (melklucht)
Cumulo-stratus: donkere gegolfde wolkenlaag op geringe hoogte (grove schapewolk of lage golfwolk)
Cumulo-cirro-stratus (nimbus): sterk verticaal ontwikkelde wolk met cirruspluim (buienwolk, onweerswolk). Nimbus betekent regenbrengende wolk, een andere betekenis van nimbus is stralenkrans

Sinds Howard zijn twee van de vier afgeleide vormen van naam veranderd, cumulo-stratus werd stratocumulus (Kämtz, 1840) en cumulo-cirro-stratus werd cumulonimbus (regenbrengende stapelwolk of regenwolk), een voorstel van Weilbach. In de loop van de 19e eeuw is door anderen de indeling van Howard verder verbeterd. De Fransman *Renou* verdeelde de wolken in twee groepen: afzonderlijke vormen of bollen en uitgespreide

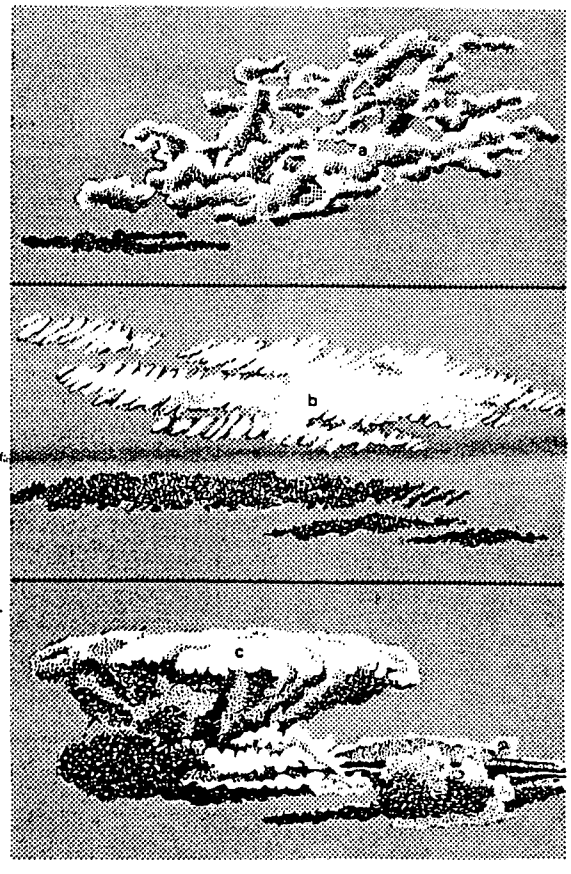


Fig. 2. a) cirro-cumulus, b) cirro-stratus, c) cumulo-stratus (naar L. Howard, 1803)

vormen of sluiers. *Hildebrandsson* koppelde de fundamentele vormen aan een bepaalde hoogte, wat weer de invoering van nieuwe elementen noodzakelijk maakte. Hierin voorzag Renou met altocumulus (schapewolk) en altostratus (blauwgrijze wolkenlaag). Door aan de wolkenvormen een hoogte toe te kennen wilde men hieruit de windrichting op de verschillende hoogten in de atmosfeer bepalen. In de loop van de vorige eeuw werden ook andere indelingen van de wolken voorgesteld, onder andere door *Poëy*, die de toestand van de omgeving en de omstandigheden waaronder de wolkenvorming plaatsvindt, van groot belang achtte. Hij onderscheidde ijswolken, sneeuwwolken en waterwolken. Dit is een indeling op *fysische* basis in tegenstelling tot die van Howard welke op de *vormen* is gebaseerd. Aan de indeling van Hildebrandsson ligt de *hoogte* van de wolken ten grondslag.

Hildebrandsson, Riggenbach en *Teisserenc de Bort* stelden in 1896 de eerste wolkenatlas samen. De atlas was nog vrij onnauwkeurig en bevatte ook fouten. Een internationale commissie, een voorloper van de W.M.O. (World Meteorological Organization), voor de bestudering van wolken werd in 1921 gevormd. Zij kwam tot de publikatie van een internationale wolkenatlas in 1932; waaraan later nog een aanhangsel over tropische wolken werd toegevoegd. Reeds in deze atlas werd aan de hoogten waarop de wolken voorkwamen – een leidraad voor de atlas van 1896 – minder waarde toegekend en werd er al meer rekening gehouden met de oorsprong.

Door de latere toevoegingen is het aantal fundamentele en afgeleide vormen, dat bij Howard zeven bedroeg, in de internationale wolkenatlas uitgegroeid tot tien, de *tien* wolkengeslachten. Deze geslachten zijn gegroepeerd tot *vier families* volgens het niveau waarop men soortgelijke wolken ontmoet:

I hoge wolken (hoger dan 6000 m): cirrus, cirrostratus, cirrocumulus
II middelbare wolken (van 2000 tot 6000 m): altostratus, altocumulus
III lage wolken (lager dan 2000 m): nimbostratus, stratus, stratocumulus
IV verticaal ontwikkelde wolken (van 500 m tot 10 000 m en hoger): cumulus, cumulonimbus

Van de tien wolkengeslachten zijn er drie die weer worden verdeeld in *ondergeslachten:*
translucidus (= doorzichtig, doorschijnend, dun)
opacus (= ondoorschijnend, dicht, dik)
praecipitans (= regen gevend)
De geslachten waarop deze toevoeging van toepassing is, zijn: altostratus, altocumulus en stratocumulus.
Wolkengeslachten worden verdeeld in *soorten,* en soorten op hun beurt weer in *variëteiten.* Ten slotte kan er nog een *toevallige bijzonderheid* aan worden toegevoegd, zoals perlucidus (= met gaten), capillatus (= met een kapje) of tuba (met een trechtervormige uitstulping). De laatste toevoeging wijst op de aanwezigheid van een windhoos. Bij dit systeem van naamgeving dringt zich een verge-

Drs. B. Zwart studeerde biologie aan de Universiteit van Amsterdam en combineerde plantenfysiologie met meteorologie en klimatologie. Na het beëindigen van zijn studie in 1958 was hij gedurende vier jaren als leraar werkzaam bij het VWO. In 1962 trad hij in dienst van het KNMI waar hij zich voornamelijk met weersverwachtingen heeft beziggehouden, eerst op de korte, later op de middellange termijn. Hij is auteur van 'Informatie in woord en beeld over het weer' (Moussault, 1970) en één van de auteurs van het boek van de maand 'De twaalf maanden van het jaar' (Het Spectrum, 1976) waarvan hij het weerkundige gedeelte verzorgde. Tevens is hij redacteur van het tijdschrift 'Zenit'.

vervolg op pagina 5

vervolg van pagina 3

De taal van wolken

lijking met het systeem van Linnaeus onweerstaanbaar op. Wolken lenen zich dan ook goed voor het opstellen van een *determineertabel*. Zo'n tabel is o.a. te vinden in 'Informatie in woord en beeld over het weer' (Mousault, 1970).

Al eerder heeft men beseft dat een nauwe koppeling van de wolkengeslachten aan de hoogte waarop zij voorkomen zijn bezwaren heeft. Zo geldt voor elke klimaatgordel een andere hoogte-indeling. Cirruswolken kunnen boven de poolgebieden al gevormd worden op een hoogte van 3000 m en lager, tijdens zeer lage temperaturen zelfs aan het aardoppervlak (poolsneeuw). Cumuluswolken zijn in de poolstreken dikwijls 'slecht' gevormd, met weinig verticale ontwikkeling en een eenvoudige lichte koepelvorm aan de bovenzijde. In de tropen bevindt cirrus zich meestal veel hoger dan 6 km en het onderscheid tussen altocumulus en bepaalde vormen van tropische cirrus is daar heel moeilijk.

Een ander probleem is dat wolken dikwijls niet afzonderlijk voorkomen maar in elkaar overgaan. Dit is met name het geval bij frontale bewolking zoals het cirrostratus-altostratus-nimbostratuspakket van een warmtefront. Dit wolkenpakket begint met het verschijnen van ijle vederwolken en eindigt met langdurige regenval uit een donkere egaal grijze hemel. In het vervolg van dit artikel zal worden ingegaan op een indeling van de wolkengeslachten gebaseerd op het mechanisme van hun ontstaan. Allereerst zal in meer algemene zin iets gezegd worden over de fysische achtergronden van het ontstaan van wolken in de aardse atmosfeer.

Waterdamp maakt wolkenvorming mogelijk

Zonder wolken zou de aarde een doodse planeet zijn. De hemelkoepel zou niet alleen elke dag ongeveer een zelfde aanblik vertonen, maar ook zou door het ontbreken van een kringloop van waterdamp er geen plantengroei zijn. Hoewel de hoeveelheid waterdamp in de aardse atmosfeer niet groot is, maximaal 1 tot 5‰, is er in de meeste gevallen toch condensatie (watervorming) of verrijping (ijsvorming) mogelijk. Er komen dan waterdruppeltjes of ijskristalletjes in de atmosfeer, die bij voldoend hoge concentratie als *wolken* zichtbaar worden.

Het is een wijd verbreid misverstand te denken dat een wolk uit water*damp* zou bestaan. Natuurlijk bevat de ruimte, die de wolk inneemt, wel waterdamp. Deze gasvormige toestand van water is echter even doorzichtig als de overige bestanddelen van het gasmengsel lucht. Ook een heldere, wolkeloze atmosfeer, bevat altijd waterdamp. Zelfs al bevat de lucht een maximum-hoeveelheid aan waterdamp dan nog blijft hij volkomen doorzichtig. Pas als er water*druppeltjes* of ijskristalletjes worden gevormd, neemt de doorzichtigheid van de lucht ten gevolge van de lichtverstrooiing door deze deeltjes af. Door hun grootte verstrooien deze deeltjes het zonlicht op andere wijze dan de luchtmoleculen. De laatste verstrooien violet en blauw licht het meest effectief met als resultaat een blauwe hemel. De grotere druppels of ijskristallen daarentegen verstrooien alle golflengten van het licht ongeveer in gelijke mate.

Wolken zijn dus in principe wit, doordat ze uit dergelijke grotere deeltjes bestaan. Dikke wolken zijn zwart aan de onderzijde. Het licht is op zijn weg door de wolk geheel verstrooid. Bij het ontstaan van druppeltjes wordt de blauwe kleur van de hemel enigszins witachtig, vooral bij de horizon. Neemt de grootte van de gevormde druppeltjes en hun aantal toe, dan neemt de doorzichtigheid van de lucht verder af: het wordt *nevelig*. Bij een voortgang van dit proces kan het zicht tot minder van 1000 m teruglopen. Dit verschijnsel heet *mist*. Bij mist heeft de lucht zijn doorzichtigheid vrijwel geheel verloren. Bevat lucht veel kleine deeltjes, dan zien we eveneens de doorzichtigheid afnemen. Bij de horizon ontstaat een blauwachtig grijs waas. Dit verschijnsel heet *heiigheid*. Bij 'droge' lucht, dit is lucht met een laag gehalte aan waterdamp, zijn het voor het overgrote deel stofdeeltjes, die de heiigheid veroorzaken. Dit verschijnsel treedt dikwijls op in de zomer bij warm weer en zuidoostenwind.

Condensatie en verrijping

De vraag is nu: wanneer gaat de doorzichtige gasfase van water over in ondoorzichtige waterdruppeltjes of ijskristalletjes. Of beter: wanneer komt het verschijnsel van condensatie of verrijping (sublimatie, met betrekking tot de overgang van de gasvormige fase van water (waterdamp) in de vaste toestand (ijs) zal hier de in het verleden door S. W. Visser voorgestelde term 'verrijping' worden gebezigd) tot stand, of nog anders: onder welke omstandigheden beginnen de vrij bewegende watermoleculen samen te komen tot water of ijs (zie kader).

De toestand waarin waterdamp zich in de lucht bevindt kunnen we vergelijken met die van een oplossing van een vaste stof in een vloeistof, bijvoorbeeld zout in water. In een bepaalde hoeveelheid water is de hoeveelheid zout die men erin kan oplossen, beperkt: bij verdere toediening van zout gaat dit niet meer in oplossing. Het water is met zout *verzadigd*. De hoeveelheid zout die men kan oplossen hangt samen met de temperatuur, hoe hoger de temperatuur hoe meer er van een stof in oplossing kan gaan. Dit houdt in dat, als men de temperatuur van een verzadigde oplossing verlaagt noodzakelijk vaste stof uit de toestand van oplossing moet treden. Er vindt dan *kristallisatie* plaats. Hetzelfde kan gezegd worden van waterdamp in de atmosfeer. Er kan slechts een bepaalde hoeveelheid (afhankelijk van de temperatuur) water in het luchtmengsel in 'oplossing' gaan. Evenals bij een vloeistof kunnen we ook hier spreken van verzadiging. Daalt de temperatuur dan moet er water uit de 'oplossing' treden: al naar gelang de temperatuur gebeurt dit in de vorm van druppeltjes (condensatie) of ijskristalletjes (verrijping), en treedt wolkenvorming op. De temperatuur waarbij een 'oplossing' van waterdamp in lucht door afkoeling verzadigd raakt, heet het *dauwpunt* (Td). Door afkoeling beneden het dauwpunt moet er water in de vloeibare of vaste vorm verschijnen.

De hoofdbron van de waterdamp in de atmosfeer wordt gevormd door de oceanen, speciaal in gebieden met hoge temperatuur van het oppervlaktewater (25 tot 30 °C). Grote meren, moerassen en bossen zijn eveneens bronnen voor waterdamp in de atmosfeer. Het heeft zin de afkoelingsmechanismen die in de atmosfeer een rol spelen bij de vorming van wolken te onderscheiden in: afkoeling nabij het aardoppervlak en afkoeling op enige hoogte. Dit omdat de mechanismen, die hierbij een rol spelen zo verschillend zijn.

Wolken aan het aardoppervlak

Het wezenlijke punt bij deze wolken is dat op geringe hoogte de temperatuur van de lucht

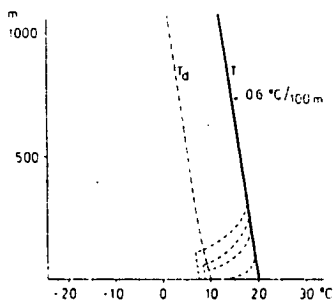


Fig. 3. Tijdens het (nachtelijk) afkoelingsproces kan de temperatuur (T) het dauwpunt (T_d) bereiken, waarna mistvorming optreedt.

wordt bepaald door de oppervlakte eronder. Hierdoor kan de atmosfeer sterk worden afgekoeld waarbij het tot wolkenvorming komt (*mist*). Dit gebeurt onder meer tijdens heldere nachten, waarbij de door het aardoppervlak uitgestraalde warmte door het ontbreken van een wolkendek voor het grootste deel naar de wereldruimte verdwijnt.

De warmte wordt slechts voor een klein deel door de lucht zelf opgenomen. Het aardoppervlak koelt dus 's nachts af en daarmee de aangrenzende luchtlaag. Tijdens de afkoeling van deze luchtlaag kan het dauwpunt worden bereikt (fig. 3), zodat zich druppeltjes vormen, mistdruppeltjes: er verschijnt dan een wolk bij het aardoppervlak. Naar de wijze van ontstaan heet deze mistvorm *stralingsmist*. Weilandmist en misthanken zijn voorbeelden van deze mistvorm.

Een andere vorm van afkoeling aan het aardoppervlak waardoor het dauwpunt wordt bereikt, vinden we als warmte en vochtige lucht strijkt over een veel kouder oppervlak, zoals een sneeuwdek, of koud zeewater. We spreken dan van *mengingsmist*. Mist kan ook met de wind naar elders drijven: *advectieve* mist. Niet met waterdamp verzadigde luchtlagen geraken soms verzadigd na menging. Er ontstaat *mengingsbewolking*. Mengingsbewolking kunnen we waarnemen in het overgangsgebied van twee luchtmassa's: *mist* en *strattus*.

In sommige gevallen kan een mistlaag worden opgetild van het aardoppervlak. Men heeft dan wel enig zicht aan de grond, maar de bovenzijde van torens en hoge schoorstenen is daarbij niet te zien. Deze bewolking heet *strattus*.

Wolken in de vrije atmosfeer

In de vrije atmosfeer is wolkenvorming door uitstraling van ondergeschikt belang. Hier speelt een geheel ander mechanisme, dat van de verticale bewegingen, de belangrijkste rol. Stijgende luchtbewegingen blijken aanleiding

vervolg op pagina 7

Condensatiekernen en vrieskernen

Voor het op gang komen van het condensatie- of verrijpingsproces is meer nodig dan een temperatuurdaling tot het dauwpunt. Essentieel is de aanwezigheid van verontreinigende deeltjes, onzichtbaar voor het blote oog. Van de allerkleinsten zitten er gemiddeld enkele tienduizenden in één kubieke centimeter lucht. Deze deeltjes bevinden zich *van nature* reeds in de atmosfeer: opgewaaid stof (meestal kleideeltjes), stuifmeelkorrels en micro-organismen of delen ervan, ze heten *condensatiekernen*. Zij geven aanleiding tot het ontstaan van uiterst kleine druppeltjes, waarvan de meeste kleiner zijn dan één honderdste millimeter. Enkele druppeltjes zijn groter, die vormen zich vooral rond de hygroscopische (wateraantrekkende) kernen.

Relatief veel van deze grote wolkendruppeltjes vinden we in stapelwolken boven zee. Behalve de condensatiekernen die zich van nature in de atmosfeer bevinden bevat de lucht ook een grote hoeveelheid *kunstmatige* condensatiekernen, vooral boven grote steden en industriegebieden.

Aangezien de atmosfeer van nature reeds voldoende condensatiekernen bevat, zijn zij niet van invloed op de mate van wolkenvorming. Een uitzondering hierop vormen de hygroscopische condensatiekernen, die extra mistvorming teweeg kunnen brengen. Toch is aangetoond dat industriegebieden en grote steden minder zonneschijn en meer regen ontvangen dan hun landelijke omgeving. Er zou daar toch meer bewolking zijn. Dit kan ook worden toegeschreven aan het gegeven, dat stedelijke agglomeraties en industriegebiedenrelatief warme gebieden vormen en daardoor de stijgende bewegingen van de lucht bevorderen.

In de bovenste lagen van troposfeer is het zó koud (−20 tot −60° C) dat we niet kunnen veronderstellen dat de wolken daar nog uit druppeltjes bestaan. Bij laboratoriumproeven blijkt echter dat *zuiver* water in rust beneden 0° C niet bevriest: dit gebeurt pas beneden −40° C. Maar wolken met een hogere temperatuur blijken toch ijsdeeltjes te bevatten.

In de atmosfeer komt het bevriezingsproces doorgaans al op gang bij temperaturen lager dan −10° C onder invloed van *vrieskernen*. Vrieskernen zijn een bijzonder soort condensatiekernen, vaak met kristallijne structuur. De natuurlijke vrieskernen worden in hoofdzaak door kleimineralen gevormd. De waterdamp kan ook direct op een vrieskern neerslaan tot ijs (sublimeren of verrijpen). Wolken met veel ijsdeeltjes verraden zich door hun helderheid; zij weerkaatsen het zonlicht beter dan druppeltjeswolken. Dit is niet alleen van de grond af goed te zien, maar ook van buiten de aarde: op satellietfoto's onderscheiden ijswolken zich van waterwolken door hun witheid.

BIJLAGE 13

vervolg van pagina 5

De taal van wolken

te geven tot afkoeling, dus wolkenvorming, dalende luchtbewegingen tot verwarming, dus oplossen van wolken. De wolken die bij dit mechanisme gevormd worden, vertonen een grote verscheidenheid in vorm en grootte. Dit hangt samen met de *snelheid* en de *schaal* waarop de verticale bewegingen plaatsvinden. Een typisch voorbeeld van wolken veroorzaakt door *heftige* verticale bewegingen op *kleine* schaal zijn *stapelwolken*. De schaal waarop het verschijnsel plaatsheeft, ligt in de orde van grootte van enkele honderden vierkante meters tot vele vierkante kilometers.

Stapelwolken

In het algemeen zijn kleinschalige verticale bewegingen in een luchtlaag een gevolg van de temperatuuropbouw van de atmosfeer. Is de temperatuur van een laag aan de bovenzijde lager dan aan de onderkant, dan verschijnen er verticale luchtstromen zodra dit temperatuurverschil een zeker bedrag overschrijdt. Dit proces, het opstijgen van warme lucht'bellen' en het dalen van koude, heet *convectie* (fig. 4). Het kan in alle luchtlagen plaatsvinden. Het meest bekend is het van de laag die aan het aardoppervlak grenst. De verwarming van de onderzijde van de luchtlaag vindt dan plaats door het aardoppervlak, dat bijvoorbeeld bij zonneschijn aanzienlijk wordt verwarmd.

Een ongelijkmatige verwarming van het aardoppervlak doet voorkeursplaatsen voor het opstijgen van warme luchtbellen ontstaan. Zulke voorkeursplaatsen zijn bijvoorbeeld steden, zandvlakten, akkerland, heidevelden (fig. 5).

De warme lucht stijgt als een (onzichtbare) ballon omhoog. Zweefvliegers ervaren dit als *thermiek*. Bij het stijgen koelt de warme 'bel' af omdat hij geleidelijk uitzet. De luchtdruk neemt naar boven toe af. Zolang het dauwpunt nog niet is bereikt bedraagt deze afkoeling één graad C per 100 m stijging (fig 6). De omgeving van de 'bel' wordt elke 100 m gemiddeld slechts 0,6 graad C kouder. Aan de opstijging (convectie) komt dus vroeg of laat een einde. Wordt echter intussen het dauwpunt bereikt, dan koelt door de vrijkomende condensatiewarmte de stijgende lucht per 100 m stijging veel minder af, in sommige gevallen zelfs minder dan de omgeving zelf. De luchtbel blijft dan steeds warmer dan zijn omgeving. Dit leidt tot een extra versnelde stijging, waardoor de inmiddels gevormde wolk (stapelwolk of cumulus) een grote hoogte kan bereiken.

in plaats van te vallen weer *omhoog* worden gevoerd en hierbij steeds aangroeien. In een buienwolk (*cumulonimbus*) waarin deze grote stijgsnelheden voorkomen kunnen ze aangroeien tot grote hagelstenen. Dergelijke reusachtige buienwolken bereiken gemakkelijk het niveau van de tropopauze (fig. 8). De kleinste ijskristalletjes worden daar meegevoerd door krachtige winden, die op deze hoogte waaien. De 'kop' van de wolk wordt dikwijls naar één zijde uitgerekt en krijgt een typische vorm (aambeeldvorm of incus).

De laag waarin convectie optreedt, reikt niet altijd tot de tropopauze. Vaak 'stoot' de wolk al eerder zijn 'hoofd' tegen inversielagen. Ook komt het wel voor dat de atmosfeer op enige hoogte zó weinig waterdamp bevat dat de eerder in de luchtbel gevormde wolkendruppeltjes weer verdampen. We zien de buienwolk dan aan zijn top weer oplossen.

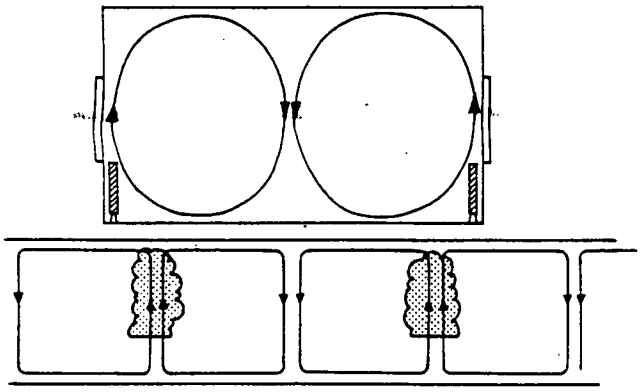


Fig. 4. Cellulaire convectie; boven, in een vertrek; onder, in een luchtlaag. In een relatief dunne luchtlaag is de convectie meestal bandvormig.

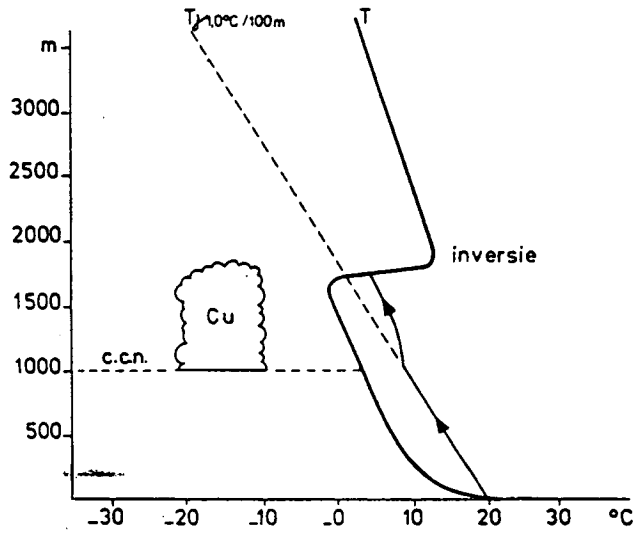


Fig. 6. Vorming van stapelwolken onder een inversielaag. De dikke lijn (T) geeft de loop van de temperatuur aan, de dunne lijn (T_d) de afkoeling van een luchtbel, die opstijgt vanaf het aardoppervlak. c.c.n. = convectieve condensatie niveau.

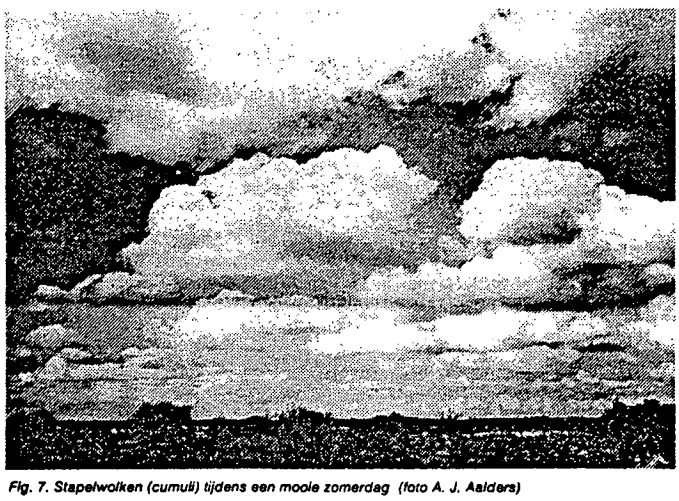


Fig. 7. Stapelwolken (cumuli) tijdens een mooie zomerdag (foto A. J. Aalders)

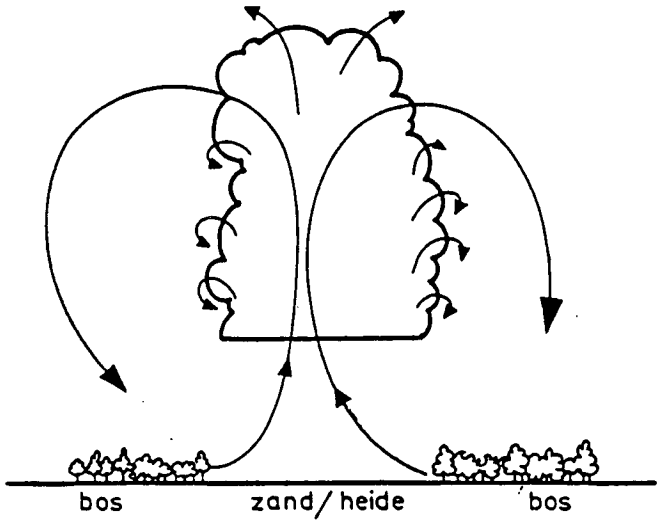


Fig. 5. Thermiekbellen worden gekroond door stapelwolken.

Hoe 'droger' de lucht bij zijn vertrek vanaf het aardoppervlak, dus hoe kleiner zijn gehalte aan waterdamp, hoe hoger het niveau waarop condensatie zal beginnen. We noemen dit niveau het *convectieve condensatieniveau* (c.c.n.); dit is het basisniveau van alle stapelwolken, die zich op een bepaalde dag vormen. Van dag tot dag kan de hoogte van dit basisniveau variëren (fig. 7).

Het stijgproces komt pas tot stilstand als de temperatuur in de atmosfeer in een bepaalde laag sterk met de hoogte toeneemt *(inversies)*. In het uiterste geval is dit de tropopauze (op ongeveer 10 km hoogte).

Buienwolken

In gevallen waarin de luchttemperatuur met de hoogte zeer snel afneemt, komt een zeer sterke convectie tot stand met stijgsnelheden van tientallen meters per seconde. Dit heeft tot gevolg dat de gevormde wolkenelementen

Convectie hoeft niet noodzakelijk bij het aardoppervlak te beginnen. Soms begint zij pas op enige hoogte, boven een stabiele luchtlaag, dit is een laag waarin verticale bewegingen worden onderdrukt. Wanneer zich dan in deze stabiele laag door uitstraling mist heeft gevormd, zien we het (overigens zeldzame) verschijnsel van onweer boven mist. In dit geval treedt dus convectie op boven een grondinversie, maar convectie kan ook optreden boven hoger gelegen inversielagen. Meestal zijn deze lagen niet dik en verloopt de convectie volgens een geordend patroon (georganiseerde convectie). De wolken die zich hierdoor ontwikkelen zijn meestal niet zo indrukwekkend. Op deze wijze ontstaan schaapjeswolken: grove schaapjes of *stratocumulus*, 'gewone' schaapjes of *altocumulus* (fig. 9) en fijne schaapjes of

vervolg op pagina 9

vervolg van pagina 7

De taal van wolken

cirrocumulus. Een enkele maal is boven een inversielaag het temperatuurverval zo groot dat er toch geforceerde convectie optreedt. Er ontstaan dan kleine stapelwolken op vrij grote hoogte (kantelenwolk of *altocumulus castellanus*, fig. 10).

Aaneengesloten wolkenlagen

Evenals bij stapelwolken zijn de verticale bewegingen de drijvende kracht achter deze wolken. Het verschil ligt echter in de schaal en de wijze waarop de verticale bewegingen ontstaan.

De oppervlakte waarop de stijgende bewegingen plaatsvinden is van de orde van 10^5 tot 10^6 km², de verticale snelheden zijn daarentegen gering, enkele centimeters per seconde. Temperatuurverschillen in de verticale richting zijn hier niet de directe oorzaak van de verticale luchtbewegingen maar convergerende en divergerende horizontale stromingen. Deze zijn het duidelijkst in de zogeheten *straalstroom*, een uiterst snelle luchtstroming met beperkte doorsnede, die op een gemiddelde hoogte van ongeveer 10 km boven de gematigde breedten rondom de polen raast (fig. 11). In gebieden waar de stroming *divergeert* vindt in de onderliggende luchtlagen een langzame *stijgbeweging* plaats en waar hij *convergeert* een langzame *daalbeweging* (fig. 11 en fig. 12).

De stijgbeweging is gering, maar het proces gaat zó lang door dat de totale stijging, en dus de totale temperatuurdaling die hiervan het gevolg is, toch tot het dauwpunt voert. In een honderden meters dikke laag van de atmosfeer treedt nu condensatie en/of verrijping op, zodat een dik pakket wolken ontstaat. Tot dit type wolken behoort onder meer het stelsel melklucht – karnemelklucht: *cirrostratus – altostratus* en egaal grijze lucht – regenlucht: *altostratus – nimbostratus*.

Deze bewolking kenmerkt zich door zijn grote uitgestrektheid in horizontale richting. Wij vinden haar aan de voorzijde van depressies (fig. 13).

Wolken door geforceerde stijging

De wisselwerking tussen gebergten en winden kan eveneens aanleiding geven tot verticale bewegingen, en dus tot wolkenvorming. Dit vindt op grote schaal plaats als een luchtstroom dwars op een gebergteketen staat. Dit leidt tot een zekere ophoping van lucht vóór de gebergteketen zoals water voor een stuw, waarna de lucht zich over de bergkam stort. Aan de loefzijde van het gebergte vindt dus de stijgende luchtbeweging plaats. Naar de aard van het proces spreken we van een *geforceerde* opstijging. Ook hier kan dit proces aanleiding geven tot condensatie (wolkenvorming). De mate waarin de aanstromende lucht met waterdamp is verzadigd bepaalt of er wolkenvorming optreedt en zo ja, de hoogte waarop het wolkendek begint. Bevat de lucht weinig waterdamp en is het gebergte laag, dan zal wolkenvorming vaak uitblijven. Overigens kan bij de aanstroom van (bijna) met waterdamp verzadigde lucht wolkenvorming reeds plaatsvinden bij betrekkelijk lage verhevenheden in het aardoppervlak zoals de Ardennen.

Bij hooggebergten is de stijging van de lucht zo groot dat het bijna altijd tot wolkenvorming komt. Deze toestand vinden we bijvoorbeeld aan de westkant van Noorwegen bij westenwind, en bij het Alpenmassief zowel aan de noordkant als aan de zuidzijde (resp. bij noorden- en zuidenwinden).

Wolken door golfbewegingen

Door het stromen *over* een gebergte komt de luchtstroming in een golvende beweging (fig. 14). De luchtdeeltjes doorlopen dan afwisselend gebieden met een stijgende en een dalende beweging. Stroken met wolken wisselen hierdoor af met heldere stroken. Deze wolken vormen golfpatronen, ze zijn een bekend verschijnsel in bergachtige streken, maar zijn soms in ons land te zien (fig. 15). Men ziet ze in hoofdzaak op hoog en op middelbaar niveau (*cirrocumulus lenticularis, altocumulus lenticularis*), maar ook wel op geringere hoogte (*stratocumulus lenticularis*). Het golfpatroon aan de lijzijde van de gebergtekam zet zich voort tot op zeer grote hoogte en kan in sommige gevallen zelfs aanleiding geven tot wolkenvorming in de

vervolg op pagina 11

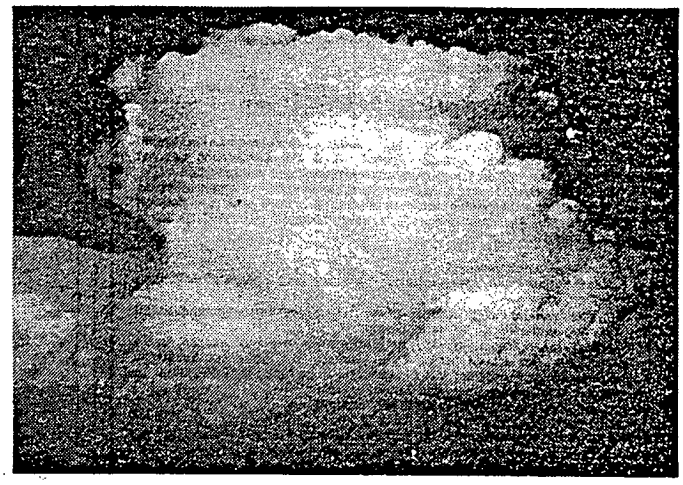


Fig. 8. Onweerswolken (cumulonimbus). (foto A. J. Aalders)

Fig. 9. Schapewolken (altocumulus) (foto A. J. Aalders)

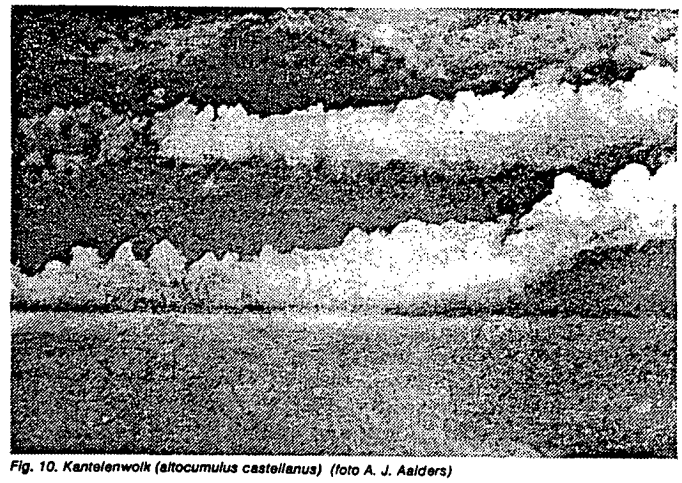


Fig. 10. Kantelenwolk (altocumulus castellanus) (foto A. J. Aalders)

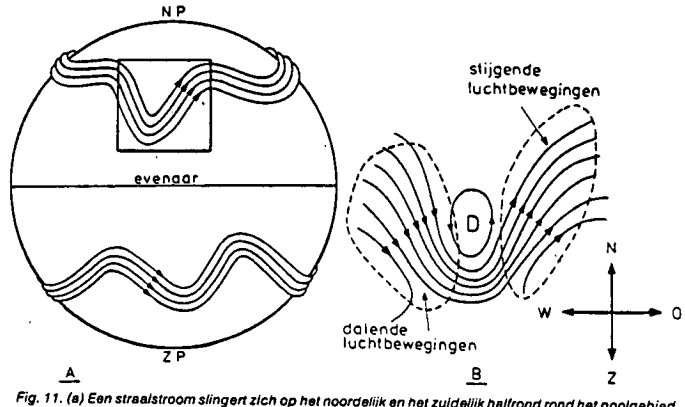


Fig. 11. (a) Een straalstroom slingert zich op het noordelijk en het zuidelijk halfrond rond het poolgebied. (b) Plaatsen met een dalende en een stijgende luchtbeweging in de golven van de straalstroom. Onder de gesloten lijn bevindt zich aan het aardoppervlak de kern van een depressie; de stijgende luchtbewegingen markeren de frontale zone.

BIJLAGE 13

vervolg van pagina 9

De taal van wolken

stratosfeer: *parelmoerwolken.* Wegens hun ijlheid zijn parelmoerwolken slechts zichtbaar in de schemering. Zij worden onder meer in Scandinavië waargenomen als de straalstroom dwars op het Noorse bergmassief staat.

De vorming van wolken is zoals gezegd, vrijwel beperkt tot de onderste 10 km dikke laag van de atmosfeer. Dit hangt samen met de loop van de temperatuurkromme in de dampkring. Er is evenwel nog één beperkt gebied in de atmosfeer waar wolkenvorming kan plaatsvinden. Dit is een betrekkelijk dunne laag op een hoogte van omstreeks 80 km. De wolken, die zich daar vormen zijn zeer ijl, zodat we ze uitsluitend gedurende een deel van de *nacht* (enkele uren na de avondschemering en vóór de ochtendschemering) kunnen zien. Ze lichten dan op tegen een donkere hemel, vandaar hun naam: *lichtende* (= zonlicht weerkaatsende) *nachtwolken.* Ook hier hangt de wolkenvorming samen met opwaartse stromingen, die zowel voor de afkoeling als voor het transport van waterdamp zorgen.

Wolken door luchtwervelingen

Ten slotte kan ook de wrijving, die stromende lucht ondervindt, aanleiding geven tot verti-

Fig. 13. 'Pluizige' bewolking (cirrus) (foto A. J. Aalders)

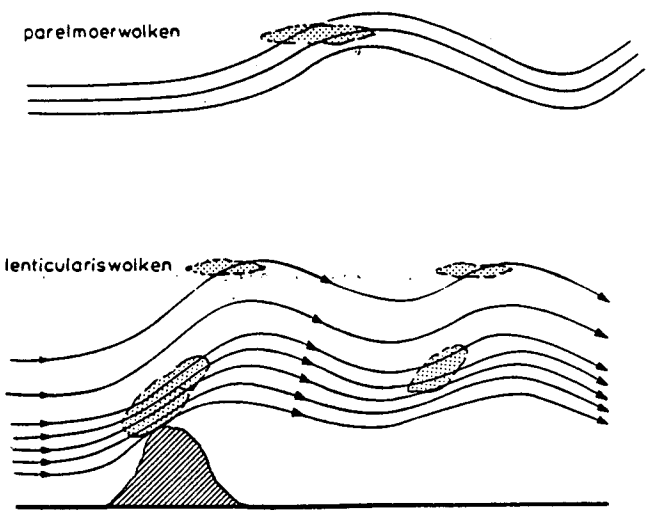


Fig. 14. Luchtstroming over een bergkam met bijbehorende wolkenvormen

cale bewegingen en wolkenvorming. Hieraan liggen wervels (turbulenties) ten grondslag, die in combinatie met abrupte temperatuursprongen in de atmosfeer voor de wolken zorgen. In de atmosfeer treden dikwijls lagen op waarin de temperatuurdaling kleiner is dan 0,5 °C per 100 m, èn lagen waarin de temperatuur met de hoogte niet verandert *(isotherme lagen).* Er komen ook lagen voor waarin het met de hoogte warmer wordt *(inversielagen).* Is zo'n inversielaag dichtbij het aardoppervlak gelegen, dan kan er zonder verwarming toch sprake zijn van verticale luchtbewegingen, namelijk door wind. Wervels ontstaan door de wrijving van de stromende lucht met de ondergrond. De lucht wordt door deze wervels omhoog gevoerd tot de inversie waarbij in vele gevallen het dauwpunt wordt bereikt. Deze *turbulentie-*

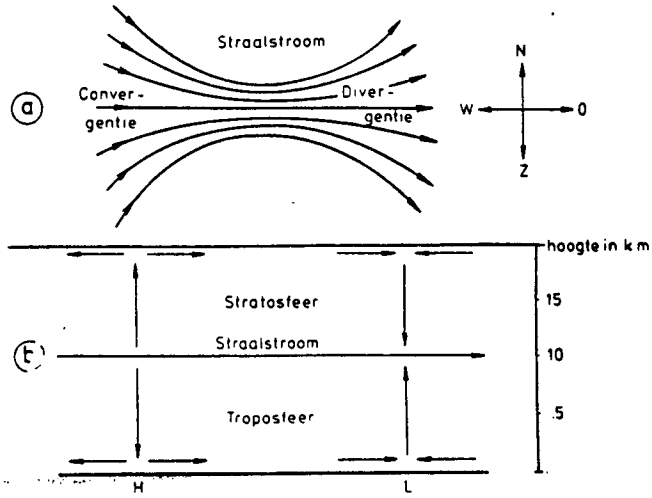


Fig. 12. (a) Schema van de stroomlijnen in een gedeelte van de straalstroom; (b) de daarmee gepaard gaande circulatie in de troposfeer en de stratosfeer.

wolken zijn zeer hardnekkig en kunnen ook 's nachts ontstaan *(turbulentiestratus).*

Onderling kunnen luchtlagen ook wrijving ondervinden. Die treedt vooral op indien er lagen met een groot verschil in temperatuur of stroomsnelheid aan elkaar grenzen.

De wervels die zich dan in de grenslaag vormen worden soms zichtbaar door wolkenvorming. In het niveau van de straalstroom (omstreeks 9 km hoogte) zien we dan langgerekte draderige of vezelige structuren verschijnen: (*straalstroomcirrus*). Ook in een lager niveau treedt wel bewolking in de straalstroom op, een dichter soort bewolking met een bandstructuur: *straalstroomaltocumulus.*

Kunstmatige wolken

Kunstmatige wolken kunnen bestaan uit stofdeeltjes, waterdruppeltjes of ijskristalletjes, of gekleurde gassen zoals stikstofdioxyde (NO_2). Verticale bewegingen in de atmosfeer zijn hier niet noodzakelijk, de wolken kunnen eenvoudig zichtbaar worden doordat er deeltjes *(stofwolken, rookwolken)* of waterdamp *(condensatiesporen van vliegtuigen, koeltorenpluimen)* in een bepaalde luchtlaag worden gebracht, die daardoor oververzadigd raakt. Bij de vliegtuigsporen is het overigens beter te spreken van *kristallisatie-* of *verrijpingssporen* omdat door de zeer lage temperatuur op

vervolg op pagina 13

Fig. 15. Lensvormige wolken (altocumulus lenticularis)

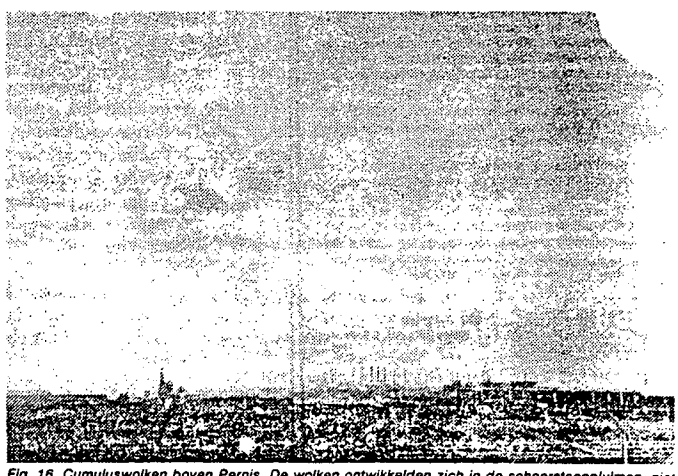


Fig. 16. Cumuluswolken boven Pernis. De wolken ontwikkelden zich in de schoorsteenpluimen, niet alleen als gevolg van verwarming maar ook vanwege het inbrengen van waterdamp in de atmosfeer. Foto genomen voor de periode van de zeer hoge schoorstenen.

vervolg van pagina 11

De taal van wolken

vlieghoogte (omstreeks −60 °C) de waterdamp in de uitlaatgassen direct overgaat in ijs. De vliegtuigsporen zien er na enige tijd uit als *cirruswolken*. Een zeer bijzondere kunstmatige wolk is de *zwarte cirrus*. Deze wolken ontstaan bij branden waarbij veel roetdeeltjes in de atmosfeer worden gebracht. De hitte van de brand veroorzaakt hevige verticale bewegingen waarmee de roetdeeltjes tot vele kilometers hoogte kunnen stijgen, terwijl zich daarbij in een droge atmosfeer geen stapelwolken vormen. Ziet men deze roetwolken elders overdrijven, dan hebben zij de structuur van cirruswolken.

Bevat de atmosfeer wel voldoende waterdamp dan ontstaat boven de brandhaard een stapelwolk.

Boven industriegebieden (hoogovens, olieraffinaderijen) zien we eveneens dikwijls kunstmatige wolken van het *cumulustype*, soms aan een overigens onbewolkte hemel (fig. 16). Deze wolken, die een bekende verschijning zijn boven het IJmond- en het Botlekgebied, kunnen veroorzaakt worden door plaatselijke verhitting, door het inbrengen van waterdamp of wateraantrekkende (hygroscopische) deeltjes in de atmosfeer. In een industriegebied vindt dit alles vaak tegelijkertijd plaats.

Samenvattend komen we tot de volgende indeling (zie ook fig. 17):

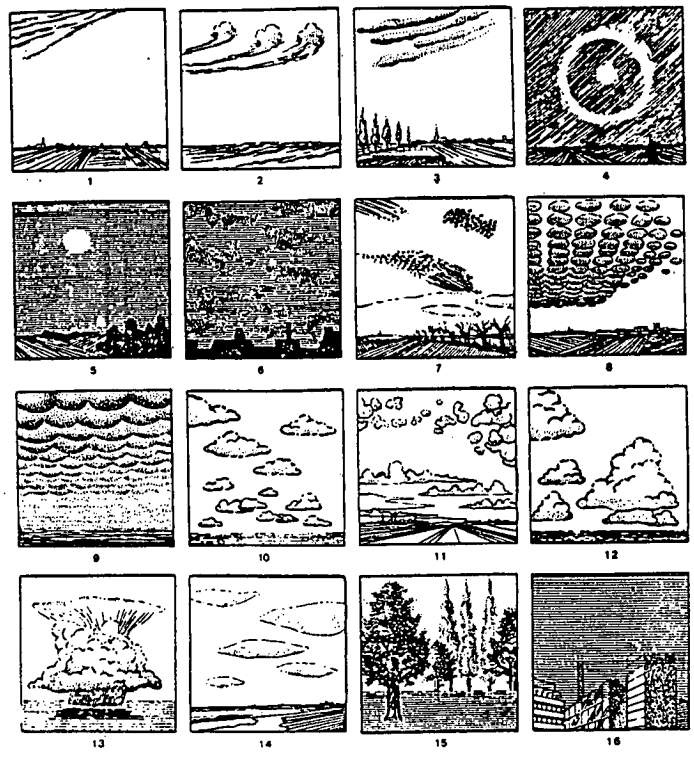
Wolken ontstaan door zwakke opwaartse bewegingen op zeer grote schaal: *cirrostratus, altostratus, nimbostratus.*
Wolken ontstaan door georganiseerde convectie in dunne lagen: *cirrocumulus, altocumulus, stratocumulus.*
Wolken ontstaan door georganiseerde convectie in dikke lagen: *cumulus.*
Wolken ontstaan door zeer sterke convectie: *altocumulus castellanus, cumulonimbus.*
Wolken ontstaan door golfbewegingen in de atmosfeer: *cirrus lenticularis, altocumulus lenticularis, stratocumulus lenticularis.*
Wolken ontstaan door afkoeling van de onderste luchtlagen: *mist, stratus.*
Wolken ontstaan door menging van luchtlagen: *mist, stratus, stratocumulus.*
Wolken ontstaan door wrijving van een luchtstroom met het aardoppervlak: *stratus fractus, cumulus fractus.*
Wolken ontstaan door turbulenties in de straalstroom: *cirrus, altocumulus.*
Wolken ontstaan door gedwongen opstijging van lucht: *cumulus, cumulonimbus.*

In bergachtige streken kan men vele soorten lensvormige wolken onderscheiden. Ook in onze streken komen ze soms voor en wel bij sterke zuidoostenwinden op middelbaar niveau, waarbij warmtefronten over de Alpen of de Karpaten naar ons land worden gevoerd.

Ordening van wolken

Wolken zijn niet willekeurig over de atmosfeer verspreid. Als de aarde van enige afstand wordt geobserveerd zien we gebieden met en zonder bewolking. De verdeling van deze gebieden hangt vooral samen met het patroon van de grootschalige verticale bewegingen in de atmosfeer en, in mindere mate met de hoeveelheid waterdamp. In de buurt van de evenaar zien we een smalle wolkenband, die de gehele aarde omspant. Die band hangt samen met *opwaartse* bewegingen, die het gehele jaar door optreden. Plaatselijk zijn daar de krachtige stijg- en daalbewegingen op kleine schaal belangrijk. Zij geven aanleiding tot de ontwikkeling van afzonderlijke *buienwolken* en *buiencomplexen*. In bepaalde gebieden boven de tropische zeeën ontwikkelen die buiencomplexen zich soms tot tropische orkanen, waarin de buienwolken zich rangschikken in spiraalbanden. De toppen van de buienwolken vloeien daarbij ineen tot een reusachtige kap van cirruswolken, in het midden waarvan een opening, het 'oog'.

Ten noorden en ten zuiden van de tropische wolkenband liggen brede zones met langzame *daal*bewegingen in de atmosfeer. Daar ontbreekt ofwel de bewolking geheel of zien we, vooral boven de oceanen, uitgestrekte gebieden met bewolking die een structuur vertoont als van wattenproppen. Dit is stratocumulusbewolking, die zich in een voor convectie gevoelige luchtlaag nabij het aardoppervlak heeft ontwikkeld maar die door dalende luchtbewegingen op enige hoogte zich niet verder in verticale richting kan uitbreiden. De stratocumulus-proppen zijn gerangschikt in de vorm van cellen, die min of meer zeshoekig zijn. Men spreekt van een *gesloten cellen*-structuur. De grootte van deze cellen hangt samen met de dikte van de luchtlaag waarin convectie kan plaatsvinden.



1 STRAALSTROOMCIRRUS
2
3 STRAALSTROOM ALTOCUMULUS
4 CIRROSTRATUS
5 ALTOSTRATUS
6 NIMBOSTRATUS
7 CIRROCUMULUS
8 ALTOCUMULUS
9 STRATOCUMULUS
10 CUMULUS HUMILIS
11 ALTOCUMULUS CASTELLANUS
12 CUMULUS CONGESTUS
13 CUMULONIMBUS
14 ALTOCUMULUS LENTICULARIS
15 GRONDMIST
16 STRATUS

Fig. 17. Schematisch overzicht van wolkenvormen.

Verder poolwaarts gaande ontmoeten we een gordel waarin heldere en bewolkte gebieden elkaar afwisselen. Gemiddeld is de luchtbeweging hier weer stijgend. De straalstroom bepaalt waar zich bewolking ontwikkelt (langzame stijgbewegingen) en waar bewolking oplost (langzame daalbewegingen). Waar langzame stijgbewegingen beginnen, ontstaat een structuurloze plek van dichte sterk licht-reflecterende wolken (*cirrus* en *cirrostratus*) die zich later kan vervormen tot een wolken*spiraal* (vortex). De ontwikkeling van de spiraal is het gevolg van de vorming van een lagedrukgebied of depressie onder het gebied met langzame stijgbewegingen (pompmechanisme).

De straalstroom kan ook buiten gebieden met depressies bewolking bevatten. Deze wolken, *straalstroomcirrus* en *straalstroomaltocumulus*, zijn vaak langs de stroomlijnen gerangschikt en ook van de grond af als zodanig herkenbaar. De wolken markeren dikwijls de loop van de straalstromen op het noordelijk en zuidelijk halfrond.

Achter depressies ontwikkelen zich stapelwolken, die veelal in zones of lijnen zijn gerangschikt. De onderlinge afstand tussen deze buienlijnen of -straten hangt samen met de dikte van de convectielaag en met de windsnelheid in die laag. Buienstraten zien we in de winter vooral boven zee en in de zomer vooral boven land. Bij onstabiele opbouw van de atmosfeer tot grote hoogte rangschikken de buienwolken zich boven zee, dus boven een oppervlak met een egale temperatuur, tot een cellenstructuur. Deze cellen, ook wel cellen van Bénard geheten, zijn *open cellen*, de wolken bevinden zich aan de rand. In open cellen vinden we in het centrum dalende luchtbewegingen, en stijgende aan de rand, in de eerder genoemde gesloten cellen zijn de luchtbewegingen juist andersom gericht.

Van dag tot dag verandert het wolkenpatroon boven de aarde aanzienlijk. Dit is niet alleen goed te constateren bij het bekijken van satellietfoto's die met één etmaal verschil zijn genomen, maar ook door simpelweg dagelijks de wolkenhemel in ogenschouw te nemen.

Weersvoorspelling op basis van wolken

In meteorologische instituten wordt niet in de eerste plaats naar wolken gekeken om de weersverwachting op te stellen. In sommige gevallen kan men de ontwikkeling van bepaalde wolkenvormen gebruiken voor een verwachting die de gehele dag beslaat, en bij grote uitzondering kan uit hun verschijnen het weersverloop voor enkele dagen ruwweg worden afgeleid. Voor het laatste is echter enige basiskennis van de meteorologie en de toevoeging van een aantal andere factoren (luchtdruk en luchtdrukverandering, windrichting, windsterkte en de veranderingen hierin) noodzakelijk. De wolken laten de weersvoorspeller op een termijn van meer dan één dag doorgaans in de steek. Maar niet alleen de wolken, ook de andere methoden in gebruik voor het opstellen van weersverwachtingen met een geldigheidstermijn van 24 tot 36 uur zijn ongeschikt om het weer op lange termijn mee te voorspellen. Men maakt voor de termijn van enkele dagen gebruik van modelvoorstellingen waarmee de toekomstige veranderingen in het stromingspatroon van de atmosfeer worden berekend. Deze werkwijze is weer ongeschikt voor weersverwachtingen op korte termijn. De basisgegevens waarvan het rekenschema moet uitgaan, komen van het gehele noordelijk halfrond en het verzamelen ervan kost tijd. Er gaan meestal enkele uren mee verloren. Ook de berekening, distributie en interpretatie van het toekomstige stromingspatroon kost tijd zodat het resultaat pas zo'n zes tot acht uur na het tijdstip van de waarnemingen ter beschikking komt. Voeg daarbij de ruwheid van het berekende patroon dan is het duidelijk dat kleine, dikwijls plaatselijke, bijzonderheden in het weerbeeld, die juist op korte termijn van grote betekenis zijn, niet snel genoeg of in het geheel niet worden aangegeven.

Verder moet men in het oog houden dat *elke* weersverwachting, ook die welke uit een wolkentype is afgeleid, in zijn terminologie een kansaanduiding moet bevatten.

Omdat de toestand van de atmosfeer op een

vervolg op pagina 15

BIJLAGE 13

vervolg van pagina 13

De taal van wolken

bepaald ogenblik slechts voor een (klein) deel bekend is en op het rekenmodel slechts een (ruwe) benadering van de algemene circulatie, kunnen weersverwachtingen gemiddeld nooit voor honderd procent uitkomen tenzij men in de terminologie zo'n brede marge hanteert, dat ook de minst waarschijnlijke weersontwikkeling nog wordt gehonoreerd. Deze werkwijze wordt niet gevolgd zodat de gebruiker genoegen moet nemen met een gemiddeld trefferpercentage dat beneden honderd procent ligt. De weersverwachting komt meer of minder goed uit al naargelang de gecompliceerdheid van de uitgangstoestand. Dit geldt voor alle verwachtingstermijnen.

WOLKENTYPE		PROCESSEN IN DE ATMOSFEER	WEERSVERWACHTING
latijnse benaming	Nederlandse benaming		
cirrus	vezelwolk, vederwolk, windveer, kommawolk	straalstroom boven of dichtbij waarnemer; vertikale bewegingen op grote hoogte belangrijk; grote horizontale windsnelheden	*korte* termijn: indien verdichting plaatsvindt alsmede een kruising van de drijfrichting met die van een wolkensoort op een lager niveau: kans op regen neemt toe, kans op meer wind *lange* termijn: onstandvastig weer; perioden met slecht en vrij goed weer wisselen af; meestal veel wind
	straalstroomcirrus; cirruswolken in bandvorm, soms met dwarse ribbels	straalstroom boven waarnemer; verder als boven, met daarbij turbulentieverschijnselen	*korte* termijn: als boven *lange* termijn: als boven
cirrostratus	melklucht; zon geeft nog schaduw; dikwijls kring om de zon	op grote hoogte langzame opwaartse bewegingen op grote schaal	kans op regen neemt toe, vooral bij geleidelijke verdichting van de bewolking; kans op meer wind
altostratus	blauwgrijs wolkendek; zon als lichtvlek, geeft geen schaduw meer; geen kring	als boven	kans op regen neemt toe, vooral indien cirrostratus vooraf ging; kans op meer wind
nimbostratus	egaal grauwgrijze regenwolk	als boven, maar met inzaaien van ijskristallen uit bovenliggende cirrus of cirrostratus	(vrij) langdurige regen
altocumulus	schapewolk	georganiseerde convectie in een dunne laag op vrij grote hoogte	*in banken overdrijvend:* vrij standvastig weer *toenemend of dikker wordend:* kans op regen neemt toe
altocumulus castellanus	kanteelwolk, torentjeswolk	sterke convectie vanuit een vrij hoog liggend niveau (bovenlucht 'onstabiel')	die dag grote kans op onweer
stratocumulus	grove of grauwe schapewolk, grove golfwolk	temperatuurinversie op geringe hoogte	hardnekkige bewolking, vooral bij veel wind; kans op regen klein
stratus	egaal grauwgrijze wolk	temperatuurinversie dichtbij het aardoppervlak; weinig wind in de onderste luchtlaag	*winter:* kans op zon klein *zomer:* kans op zon neemt in de loop van de dag toe; kans op regen klein
–	mist	temperatuurinversie in de luchtlaag grenzend aan het aardoppervlak	als boven, maar met iets grotere kans op zon in de winter in de zomer verdwijnt mist meestal enkele uren na zonsopgang waarna er in de loop van de dag stapelwolken ontstaan
stratus fractus	slechtweerwolken, wolkenflarden bij continue regen	condensatieverschijnsel onder een nimbostratus	kans op beëindiging van langdurige (intensieve) regenval wordt groter
cumulus fractus	stormflarden, 'verwaaide' stapelwolken bij sterke wind	turbulentieverschijnselen tot op grote hoogte boven het aardoppervlak	sterke wind blijft nog enige tijd staan; kans op regen klein
cumulus mediocris	kleine stapelwolk, mooiweerwolk	georganiseerde convectie in luchtlaag vanaf het aardoppervlak	lossen meestal tegen de avond op: heldere nacht indien in rijen waargenomen of zich later in rijen rangschikkend: kans op regen klein; zie verder bij cumulus congestus.
cumulus congestus	sterk opbollende stapelwolk, 'bloemkoolwolk'	sterke convectie in dikke luchtlaag vanaf het aardoppervlak	kans op regen (bui) neemt toe vooral indien zij zich ontwikkelen uit cumulus mediocris
cumulonimbus	onweerswolk, buienwolk	sterke convectie in een luchtlaag die vrijwel de gehele (12 km dikke) troposfeer omvat	kans op regen of hagel (bui) en onweer groot; kans op windstoten groot
altocumulus lenticularis	lensvormige wolk, amandelwolk	in bergachtige streken: krachtige luchtstroming op grote hoogte dwars op de bergkam	in bergachtige streken: onstandvastig weer; perioden met goed en slecht weer wisselen af; aan de lijzijde: kans op föhn groot

De schrijver dankt dr. G. P. Können voor zijn waardevolle suggesties bij het tot stand komen van dit artikel, ir. J. A. Wisse voor het kritisch lezen van het manuscript en de heer G. Jansen voor de zorg besteed aan het tekenwerk.

Literatuur

J. Coulomb et J. Loisel, *La physique des nuages*. Paris, 1940. Nederlandstalige uitgave *'De samenstelling der wolken'* bij Het Kompas, Antwerpen en L. J. Veen, Amsterdam, 1947.
L. A. Conrads, De stad, object van meteorologisch onderzoek. In *'Milieubalans van Nederland'* (onder red. van J. J. Mulckhuyse), pag. 35-46. Van Gorcum & Comp., Assen/Amsterdam en Intermediair, Amsterdam/Brussel, 1972.
L. Howard, *On the modification of clouds*. J. Taitor, London, 1803. Een facsimileherdruk uitgebracht door G. Hellmann, Berlin, 1894.
K.N.M.I., *Wolkenatlas*. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1966.
C. Lemcke, Cellen van Bénard. *Zenit 4* (1977) nr. 2, pag. 82-86.
F. H. Ludlam and R. S. Scorer, *Clouds of the world*. Stackpool Books, Harrisburg, 1972.
F. H. Schmidt, *Inleiding tot de meteorologie*, 4de verbeterde druk, Aulaboeken 117. Het Spectrum, Utrecht, 1974.
———, Meteorologische aspecten van de luchtverontreiniging. In *'Milieubalans van Nederland'* (onder red. van J. J. Mulckhuyse), pag. 25-34. Van Gorcum & Comp., Assen/Amsterdam en Intermediair, Amsterdam/Brussel, 1972.
———, Het ontstaan van wolken en neerslag. *Natuur en techniek* 44 (1976) no. 12, pag. 864-879.
—, De atmosfeer. *Natuur en techniek* 43 (1975) no. 10, pag. 676-697.
B. Zwart, *Wolken in de atmosfeer*. Stichting 'De Koepel', Utrecht, 1976.
———, *Informatie in woord en beeld over het weer*. Moussault, Amsterdam, 1970.

BIJLAGE 14

WARMTEFRONT

Element	Bij de nadering	Tijdens de passage	Aan de achterkant
Druk	Gestadig dalend	Daling opgehouden of langzamer dalend	Weinig verandering of langzaam dalend
Wind	Krimpend en toenemend	Ruimend en afnemend	Richting gelijkblijvend
Temperatuur	Gelijkblijvend of langzaam stijgend	Stijging	Weinig verandering
Dauwpunt	Stijgend tijdens neerslag	Stijging	Gelijkblijvend
Relatieve vochtigh.	Stijgend tijdens neerslag	Mogelijk verder stijgend indien nog niet verzadigd	Weinig verandering. Mogelijk verzadigd
Bewolking	Ci, Cs, As, Ns, in opeenvolging; Fs, Fc beneden As en Ns	Lage Ns en Fs	St of Sc kan hardnekkig aanwezig blijven; misschien enige Ci
Weer	Voortdurende regen (of sneeuw)	Neerslag stopt vrijwel of geheel	Redelijk, of motregen of onderbroken lichte regen
Zicht	Goed behalve in regen (of sneeuw)	Slecht, vaak nevel of mist	Gewoonlijk matig of slecht; nevel of mist kan voortduren

KOUFRONT

Element	Bij de nadering	Tijdens de passage	Aan de achterkant
Druk	Dalend	Plotselinge stijging	Stijging gaat langzamer verder
Wind	Krimpend en toenemend, buiig wordend	Plotseling ruimend, misschien een windstoot	Na windstoot een weinig krimpend, dan tamelijk gelijkblijvend of verder ruimend bij latere windstoten
Temperatuur	Gelijkblijvend, maar dalend in prefrontale regen	Plotselinge daling	Weinig verandering. Wel veranderlijk in buien
Dauwpunt	Weinig verandering	Plotselinge daling	Weinig verandering
Relatieve vochtigh.	Kan stijgen in pre-frontale neerslag	Blijft hoog tijdens neerslag	Daalt snel wanneer de regen (of sneeuw) ophoudt; veranderlijk in buien
Bewolking	St of Sc, Ac, As daarna Cb	Cb met Fs, Fc of zeer lage Ns	Wolkenbasis snel stijgend, gevolgd door een korte periode met As, Ac en later door Cu of Cb
Weer	Gewoonlijk enige regen, misschien onweer	Zware regen (of sneeuw misschien onweer en hagel	Zware regen (of sneeuw gedurende een gewoonlijk korte periode, maar soms meer hardnekkig; daarna opklaringen maar gevolgd door verdere buien ('wisselend bewolkt met buien')
Zicht	Matig of slecht misschien mist	Tijdelijk slechter wordend gevolgd door snelle verbetering	Zeer goed (behalve in buien)

BIJLAGE 15

De foto's van Antarctica bij dit artikel zijn afkomstig van Cock van Vliet, medewerker van het KNMI. Van Vliet heeft in 1966/1967 veertien maanden met een groep van in totaal 12 Belgische en 6 Nederlandse onderzoekers op Antarctica doorgebracht in het kader van een gezamenlijke Belgisch-Nederlandse expeditie die ruim drie jaar (1964–1967) heeft geduurd. Het project, een voortzetting van het onderzoek dat in het kader van het Internationaal Geofysisch Jaar (1957) ook in het zuidpoolgebied is uitgevoerd, is in 1967 wegens geldgebrek beëindigd. Van Vliet heeft tot 1974 meteorologische en oceanografische waarnemingen gedaan aan boord van weerschepen. Thans is hij binnen het KNMI belast met informatieverstrekking over oceanografie.

MODELLENONDERZOEK VAN IJSKAP EN -PLAAT

Relatie opwarming door CO_2 en stijging zeespiegel niet eenduidig

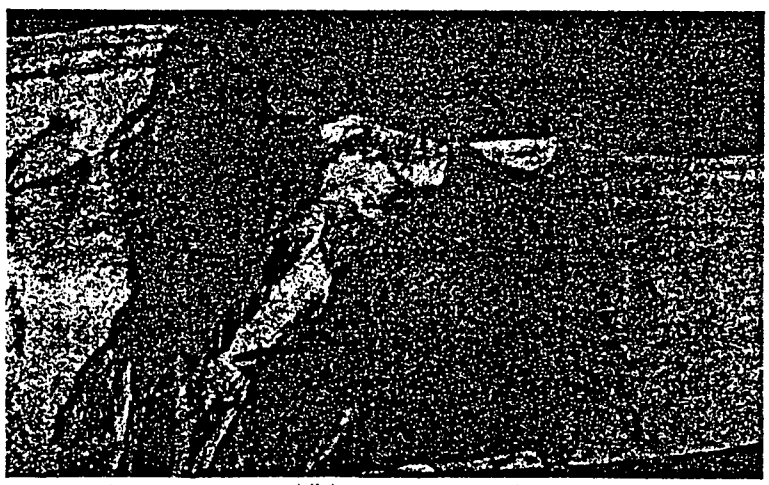
Hans de Witte

Terecht maken geleerden, milieubeschermers en zelfs sommige politici zich ernstig ongerust over steeds meer CO_2 in de dampkring en de gevolgen daarvan, zoals de voorspelde verhoging van de zeespiegel met vele meters. Een dergelijke stijging heeft buitengewoon ernstige gevolgen. Maar de kans bestaat dat we tijdig worden gewaarschuwd door allereerst een duidelijke daling van die zeespiegel.

Een graadje of zo gemiddelde temperatuurstijging is bovendien voor ons in Nederland helemaal niet zo onaangenaam. Het behoort bovendien tot het normale ritme van de temperatuurschommelingen die zich in de loop der tijd hebben voorgedaan. Eén graad gemiddeld is bovendien heel goed merkbaar: een graad omlaag en de liefhebbers van de elfstedentocht komen gegarandeerd weer vaker aan hun trekken; één graad omhoog en we kunnen in het zuiden van Nederland weer op bescheiden schaal aan wijnbouw gaan denken, terwijl de schaatsers dan hun geliefd natuurijs elders moeten gaan zoeken.
In de meteorologie en de fysische oceanografie liggen het kleine en het grote vlak naast elkaar. Bovendien beïnvloeden ze elkaar in zeer hoge en nog maar gedeeltelijk begrepen mate. Eén graad gemiddelde temperatuurstijging over de hele aarde doet de neerslag in het zuidpoolgebied zodanig toenemen dat enorme hoeveelheden water in de vorm van sneeuw en ijs worden gebonden met als gevolg daling van de zeespiegel. Afsmelten van één procent van de Antarctische ijskap maakt zoveel water vrij dat de zeespiegel aanzienlijk stijgt (60 cm). Er ligt op Antarctica 23,5 miljoen km³ ijs, een hoeveelheid die ruim 20 miljoen km³ water vertegenwoordigt. Dit is zo'n onvoorstelbaar grote hoeveelheid dat daarmee al het overige ijs op de wereld (het drijfijs van de Noordpool en de gletsjers in de bergen) erbij in het niet verzinkt, met uitzondering van Groenland. In het imaginaire geval van totale afsmelting van alle ijs stijgt de zeespiegel door het ijs van de Oost-Antarctische ijskap 60 meter, de West-Antarctische ijskap 6 meter, de Groenlandse ijskap 6 meter en alle overige landijs 0,3 meter.

Relaties

De relatie tussen gemiddelde temperatuurschommelingen en de omvang van de ijskappen staat vast, die tussen het CO_2-gehalte in de dampkring en de gemiddelde temperatuur ook. Maar hoe die relaties precies liggen en wat voor gevolgen wijzigingen in die relaties kunnen hebben, is een landschap dat bij wijze van spreken nog onbekender en ontoegankelijker is dan het zuidpoolgebied zelf. De laatste jaren worden er bij de exploratie van dit gebied echter vorderingen gemaakt. Na de beschrijvingen van wat men waarneemt, volgt nu de opstelling van fysische modellen waarin wordt getracht de verschijnselen in hun onderlinge relaties en samenhang te vatten. Dat is werk dat niet zo erg de romantiek ademt van mensen die barre omstandigheden trotseren om hun al dan niet wetenschappelijke nieuwsgierigheid te bevredigen. Maar het is wel van uitermate groot belang om er achter te komen wat er nu werkelijk gebeurt in zo'n ijskap als we maar door blijven gaan met de toevoer van CO_2 in de dampkring. Dat wil zeggen hout en fossiele brandstoffen verstoken, tropische regenwouden kappen en de oceanen vervuilen. Fysische modellen worden gemaakt in de hoofden van onderzoekers, op stukjes papier en tegenwoordig uiteraard ook met behulp van zeer grote ('super')computers voor het gecompliceerde rekenwerk.



Beeld van het loskomen van een ijsberg aan de rand van een ijsplaat op Antarctica

'Meteorologie en oceanografie is niet alleen maar beschrijven. Het is een veel fundamentelere wetenschap dan de meeste mensen denken. Er komt erg

veel natuurkunde bij, zoals stromingsleer,' zegt prof. dr. C. J. E. Schuurmans van het Instituut voor Meteorologie en Oceanografie (IMOU) van de Rijksuniversiteit in Utrecht. In dit kleine instituut wordt veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen het CO_2-gehalte in de lucht en de gevolgen ervan op het klimaat, met name op de Antarctische ijskap. De onderzoekers dr. Hans Oerlemans en drs. Kees van der Veen zijn wellicht bezig zich een zekere naam te verwerven met de opstelling van modellen voor de fysische processen in de ijskap. Met behulp van die modellen kan dan worden onderzocht wat de gevolgen zijn van 'invloeden van buitenaf' op de processen in die ijskap. We komen beiden verderop nog tegen.

Hoofdopleiding

Het Utrechtse instituut is het enige in Nederland dat een hoofdvakopleiding tot meteoroloog en oceanograaf verzorgt. Tot voor kort was dit een wat verwaarloosd universitair gebied, vooral wat het onderzoek betreft. We hadden het KNMI in De Bilt, daar werd 'het weer' ook wetenschappelijk bekeken en dat moest, zo leek het wel, maar voldoende zijn. Met of zonder wetenschappelijke verklaring: van regen word je nat, de zon maakt je weer droog en op de fiets heb je toch altijd wind tegen.
Het schrale universitaire bestaan van de meteorologie en de (fysische) oceanografie alsmede de toenemende noodzaak de fundamentele aspecten van deze wetenschapsgebieden meer dan binnen het KNMI mogelijk is te bestuderen, is in 1981 duidelijk gesignaleerd door de commissie-Vossers. Deze adviesgroep bracht toen het rapport 'Nieuwe wegen in het fysisch onderzoek van zee en atmosfeer' uit aan de (toenmalige) minister voor Wetenschapsbeleid. Eén opmerking slechts uit de inleiding van dit rapport: 'Het maatschappelijk belang van het meteorologisch en fysisch-oceanografisch onderzoek is de laatste jaren aanzienlijk toegenomen. Beide vakgebieden hebben internationaal gedurende het achter ons liggende decennium een sterke ontwikkeling doorgemaakt. De indruk bestaat dat het Nederlandse M- en FO-onderzoek deze internationale ontwikkeling slechts gedeeltelijk heeft kunnen volgen.' Aanbevolen werd dit onderzoek op universitair niveau te versterken en daarvoor extra financiële middelen beschikbaar te stellen. Dat laatste is gebeurd. Prof. Schuurmans, zelf afkomstig van het KNMI, kan zich verheugen in een bijdrage voor zijn instituut uit het Stimuleringsfonds van Wetenschapsbeleid, van de Landelijke Stuurgroep Onderzoek Milieuhygiëne (LaSOM) en van ZWO-bijdragen voor promotieplaatsen.

Met deze financiële steun is het mogelijk tijdelijk onderzoekers van elders aan te trekken, detacheringen mogelijk te maken en een onderzoek op te zetten dat moet leiden tot een beter gebruik van waarnemingen vanuit satellieten. Een probleem blijft nog wel dat al deze stimuleringsmaatregelen van tijdelijke aard zijn; alleen voor de oceanografie komen er enkele vaste plaatsen voor onderzoekers bij (iets wat de commissie-Vossers ook had aanbevolen). Het 'personeelsplaatje' van het Utrechtse instituut vermeldt, naast enkele vacatures in de kroondocentenplaatsen, vooral veel medewerkers in tijdelijke dienst. Nu de universiteiten in de praktijk gesloten blijken voor hun eigen afgestudeerden, kunnen mensen met een opleiding in dit vak volgens prof. Schuurmans vrijwel alleen maar terecht bij het KNMI. Een bescheiden arbeidsmarktje ziet hij nog bij een aantal departementen en enkele andere overheidsinstellingen zoals Rijkswaterstaat en Rijnmond. Daar houden zich nu nog fysici en chemici bezig met milieuproblemen in atmosfeer en zee, voornamelijk omdat ten tijde van hun aanstelling er nog onvoldoende fysisch geschoolde meteorologen en oceanografen beschikbaar waren.

KNMI-medewerker Cock van Vliet ontmoet in de zuidpoolzomer (gemiddelde temperatuur rond het vriespunt) van 1966/1967 op de ijsplaat een spelende zeehond.

Naast onderwijs is de hoofdtaak van het instituut het onderzoek van de natuurkundige processen die zich in de atmosfeer en de oceaan afspelen. 'De bestudering daarvan vergt fundamenteel onderzoek waar buitenuniversitaire instituten met veel operationele taken niet aan toekomen,' aldus een klein boekje dat het instituut ter gelegenheid van een begin september van dit jaar gehouden open dag heeft samengesteld. 'Het IMOU werkt aan een aantal interessante onderzoekprojecten waaraan ook door studenten kan worden deelgenomen. De meeste van deze projecten zijn vrij gekozen. Ze zijn vrijwel uitsluitend gericht op het verdiepen van ons inzicht in de werking van bepaalde processen en systemen in de atmosfeer en de oceaan. Voor sommige projecten geldt echter dat ze worden uitgevoerd in opdracht of op verzoek van derden. Bij deze laatste vorm van onderzoek staat de maatschappelijke relevantie duidelijk voorop, wat niet wegneemt dat het onderzoek op zichzelf vaak zeer fundamenteel van karakter is.' Prof. Schuurmans geeft twee voorbeelden van dat fundamentele onderzoek, dat zuiver is gericht op verdieping van het inzicht in de verschijnselen. Beide hebben te maken met ook in Nederland zeer bekende weersverschijnselen: wind van zee als gevolg van de grote temperatuurverschillen boven land en boven zee op een warme dag en, als tweede, de zware buien die zich elk najaar in een smalle kuststrook voordoen. Van beide verschijnselen zijn de fysische oorzaken nog maar gedeeltelijk bekend. Geen wereldschokkende zaken, maar prima onderwerpen voor afstudeerders en promovendi.

Modellenonderzoek

Van ongetwijfeld groter betekenis is het onderzoek naar de invloed van CO_2 op de ijskappen in Antarctica. Het steentje dat het Utrechtse instituut daaraan bijdraagt met zijn modellenonderzoek naar wat er in de ijskappen en ijsplaten van Antarctica gebeurt als de invloeden van buitenaf veranderen, heeft grote maatschappelijke betekenis ook al moeten de effecten eerder in eeuwen

BIJLAGE I5

dan in decaden worden gerekend. Prof. Schuurmans en zijn medewerkers Conrads (secretaris van de vakgroep), Oerlemans (onderzoeker) en Van der Veen (promovendus) zijn het over twee dingen roerend eens: 1) de toename van het CO_2-gehalte staat vast, èn: 2) die toename zal zeker invloed hebben op het klimaat en daarmee ook op de ijskappen. Maar hoe, wanneer en in welke omvang is nog erg onduidelijk. Met name Oerlemans heeft in recente publikaties voortdurend benadrukt dat vrijwel alle voorspellingen over die effecten nog grotendeels speculaties zijn omdat de modellen waarmee wordt gewerkt, nog te simplistisch zijn en omdat veel voorspellingen te eenzijdig zijn gebaseerd op de verwachting dat er iets zal gebeuren, zonder veel kwantificering van wat er dan zal gebeuren.

Sinds de industriële revolutie in de 19e eeuw en zeker sinds de Tweede Wereldoorlog is het verbruik van fossiele brandstoffen enorm toegenomen en daarmee de produktie van CO_2. Dit gas is een normaal bestanddeel van de atmosfeer waarin het met een gemiddelde concentratie van 0,03 volumeprocenten voorkomt. Het gas is bovendien onontbeerlijk voor de groei van planten

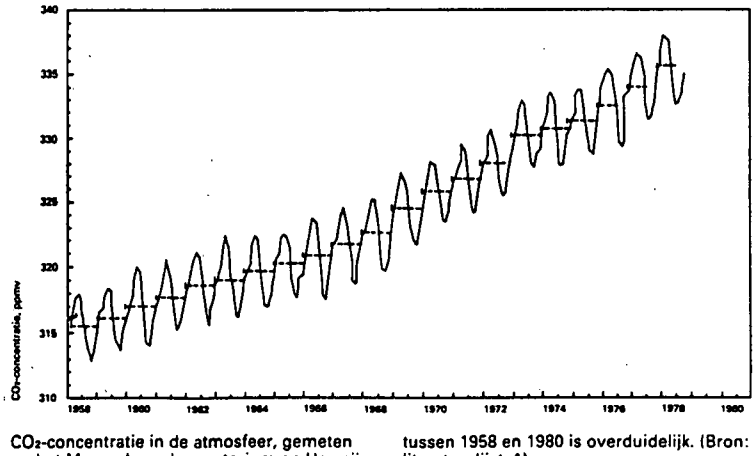
Oplaten van een ballon met meetinstrumenten tijdens de Belgisch-Nederlandse expeditie naar Antarctica van 1966/1967

die het onder invloed van zonlicht synthetiseren tot zetmeel en suikers. De aanwezigheid van CO_2 in de atmosfeer heeft echter ook, evenals waterdamp, invloed op de warmtebalans van de aarde. Het gas laat het zonlicht dat op de aarde valt, vrijwel ongehinderd door maar het absorbeert de warmtestraling die door de aarde wordt teruggekaatst. Bovendien straalt het CO_2 de geabsorbeerde warmte ook weer uit, zowel 'naar boven' als terug naar het aardoppervlak.

In de hele problematiek gaat het om dit laatste effect, vaak aangeduid als het broeikaseffect of ook wel de CO_2-deken. Meer CO_2 in de lucht versterkt dit effect. Metingen hebben duidelijk aangetoond (zie grafiek 1) dat het CO_2-gehalte in de lucht toeneemt, maar het effect ervan, namelijk een verhoogde gemiddelde temperatuur, heeft men nog niet kunnen meten. Het effect is kennelijk nog niet zodanig dat het boven de 'ruis', dus boven de normale gemiddelde temperatuurschommelingen van één à twee graden, uitkomt.
Volgens prof. Schuurmans is het beeld wel duidelijk: met meer CO_2 in de lucht zal de stratosfeer in temperatuur afnemen en de troposfeer iets warmer worden. Het gaat er echter vooral om wat er **kwantitatief** gebeurt. Daarover is minder eenduidigheid en in feite draait daar de hele CO_2-klimaatsdiscussie om. Bij een verdubbeling van het CO_2-gehalte in de atmosfeer zal, volgens prof. Schuurmans in een recente publikatie, als geen rekening wordt gehouden met andere effecten en terugkoppelingen, de temperatuur aan het aardoppervlak met ruim één graad toenemen. Maar er zijn uiteraard wèl andere effecten, zoals toename van de waterdamp die het broeikaseffect versterkt. Andere effecten zijn weer dat planten door de hogere concentratie kooldioxide wat sneller zullen groeien (een verschijnsel dat al in kasteelt voor bepaalde produkten wordt toegepast) en mogelijk zullen ook de oceanen meer CO_2 opnemen. Vast staat dat van de extra in de atmosfeer gebrachte CO_2 ongeveer de helft wordt opgenomen door de oceanen en door de biosfeer; de andere helft blijft in de dampkring. Of deze verhouding stabiel is of dat deze zal veranderen onder invloed van nieuwe toevoer of zich nog stabiliserende evenwichten in de hele koolstofcyclus is onbekend.

Eerste effect

Een eerste effect van een lichte gemiddelde temperatuurstijging, om het even of die door het broeikaseffect van meer CO_2 in de atmosfeer of welke andere reden dan ook wordt veroorzaakt, is dat er in de poolstreken meer neerslag gaat vallen. Dit effect wordt in Groenland gecompenseerd door toenemende afsmelting van het landijs, maar in de zuidpoolgebieden niet (zie grafiek 2). Het eerste resultaat van de temperatuurstijging is dat de lucht boven Antarctica meer waterdamp kan bevatten, wat tot meer sneeuwval leidt. Ondanks de ene graad stijging van de gemiddelde luchttemperatuur blijft het in het zuidpoolgebied nog zo koud dat er geen ijs zal afsmelten. Het zal nog eeuwen duren voordat er door de toenemende neerslag een nieuw evenwicht is bereikt tussen sneeuwval op het Antarctisch continent en het afbreken van ijsbergen aan de continentranden.
Derhalve is een eerste gevolg daling van de zeespiegel (met maximaal ongeveer een millimeter per jaar) gedurende vele tientallen tot enkele honderden jaren. Een hypothetische forse temperatuurstijging van zeg vijf graden in een relatief kort tijdbestek zou natuurlijk wel 'onmiddellijk' effect hebben op het afsmelten van de Antarctische ijskap en dus tot stijging van de zeespiegel leiden. Maar dergelijke temperatuursprongen leiden volgens prof. Schuurmans tot nog veel meer ellende dan alleen smeltende ijskappen, zoals volstrekt onleefbaar geworden tropische gebieden



CO_2-concentratie in de atmosfeer, gemeten op het Mauna Loa-observatorium op Hawaii. De gemiddelde stijging van de concentratie tussen 1958 en 1980 is overduidelijk. (Bron: literatuurlijst, 1)

en niet te overziene ontregelingen van de mondiale waterhuishouding. Het is volgens hem weinig zinvol daarover te speculeren.

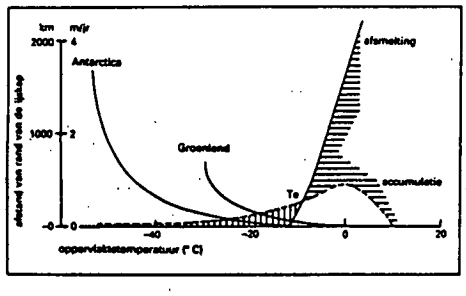
Onzekerheid

Tot nu toe zit het plaatje van oorzaken en gevolgen lekker modelmatig in elkaar, maar er is – wellicht om het toch nog een beetje spannend te maken – één grote onzekerheid. Dat is het op dit moment nog niet goed te voorspellen gedrag van de grote ijsplaten in de Weddell- en de Rosszee op het westelijk deel van Antarctica. Deze ijsplaten, die vrij drijven of slechts op enkele plaatsen de zeebodem raken, zitten vast aan landijs dat rust op een bodem die grotendeels onder zeeniveau ligt (Oost-Antarctica is 'echt' vasteland met daarop een enorme laag ijs). De ijsplaten fungeren tevens als buffer die de horizontale druk van de ijsmassa's op het land opvangt. Deze druk ontstaat door de verticale opstapeling van het ijs. Men kan dit het beste vergelijken met een met water gevulde plastic zak die op een tafel wordt gelegd. Onder het eigen gewicht stroomt het water in horizontale richting weg, slechts tegengehouden door de wanden van de zak.

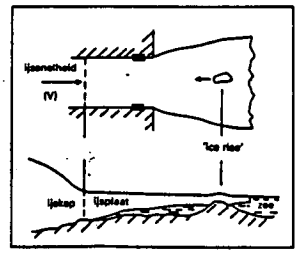
werking van de ijsplaat. Het gaat hierbij om hoeveelheden landijs die het niveau van de zeespiegel aanzienlijk kunnen doen stijgen.
In zijn notitie 'Het nut van ijskappen-onderzoek', waarmee hij zijn inmiddels gehonoreerde ZWO-aanvraag voor zijn promotie-onderzoek heeft ondersteund, zegt Van der Veen dat de hele discussie tot nu toe draait om de vraag welk gedrag de ijsplaten zullen gaan vertonen. Daarover is de wetenschappelijke discussie nog niet afgelopen en dus zal het (modellen)onderzoek zich vooral moeten toespitsen op het gedrag van de ijsplaten en de dynamica van de vastlooplijn of 'grounding line', waar het op de zeebodem rustende landijs overgaat in een drijvende ijsplaat (zie figuur 4). Daarvoor moet een model worden ontworpen dat de stroming in een ijskap mèt ijsplaat beschrijft.
Van der Veen: 'Het lijkt namelijk niet goed mogelijk om het ijsplatenmodel aan een reeds bestaand ijskapmodel te koppelen en wel om twee redenen. Ten eerste is het twijfelachtig of in de buurt van de vastlooplijn (figuur 3) de longitudinale spanningen mogen worden verwaarloosd (wat in de huidige ijskapmodellen gebeurt) en ten tweede kampen bestaande modellen met het

halte in de atmosfeer op de Antarctische ijskap. De te volgen weg moge omslachtig lijken,' aldus Van der Veen, 'maar is onvermijdelijk om te voorkomen dat uitspraken worden gedaan over fysische processen zonder deze echt goed te begrijpen.'

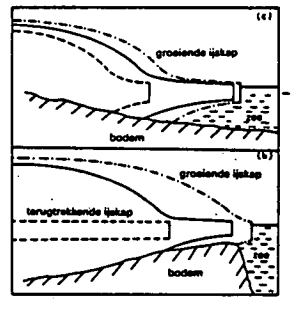
Kan dit onderzoek nu allemaal van achter een bureau, of liever gezegd, van achter de terminal van een supercomputer worden verricht zonder enig veldwerk ter plaatse? Oerlemans en Van der Veen: 'Uiteraard werken wij ook met gegevens die door waarnemingen ter plaatse zijn verkregen. Voor dit soort modellenonderzoek hoef je niet per se veldwerk te doen. Maar het lijkt ons niet zo'n probleem om in de komende jaren, als er weer eens een expeditie richting Zuidpool wordt georganiseerd door een van de ons omringende landen, daarbij met een onderzoeker aan te sluiten. Zeker met onze Franse collega's van het Institut de Glaciologie in Grenoble hebben we wat dat betreft uitstekende contacten. Het onderzoek dat wij doen is uniek in Europa en het wordt ook als zodanig erkend.' ■



Afsmelting en accumulatie van sneeuw als functie van de temperatuur aan het aardoppervlak, alsmede het temperatuurverloop aan het oppervlak van de Groenlandse en Antarctische ijskap. Uit de figuur valt af te leiden dat bij een kleine verschuiving van de krommen voor Antarctica en Groenland naar rechts (kleine temperatuurverhoging) afsmelting en accumulatie op Groenland beide zullen toenemen, terwijl op Antarctica de accumulatie zal toenemen, maar de afsmelting niet. (Bron: literatuurlijst, 1)



Profiel van een ijsplaat ingesloten tussen twee bergwanden en met een 'ice-rise' (steunpunt op de zeebodem). De ijsplaat wordt mede op zijn plaats gehouden door de verhoging in de rotsige zeebodem en vormt een buffer voor de krachten die de stroomsnelheid in de ijskap bepalen. De 'grounding line' is de plaats waar de kap in de plaat overgaat. (Bron: literatuurlijst, 4)



Effect van de helling van de bodem op de ijskap/ijsplaat-stabiliteit. Merk op dat de stabiliteit bij aflopende bodem groter is dan bij oplopende bodem.

In een aantal gevallen rusten de platen echter op slechts enkele verhogingen in de zeebodem (zie figuur 3). Bij een geringe stijging van de temperatuur zou het kunnen voorkomen dat die steunpunten hun betekenis verliezen omdat het (iets) warmer geworden oceaanwater het ijs op die punten doet smelten. In die gevallen kan niet alleen de ijsplaat losraken maar kunnen tevens enorme pakken landijs loskomen, niet meer tegengehouden door de stuttende

probleem de positie van de vastlooplijn goed te bepalen. Wordt nu voor zowel de stroming in de ijskap als in de ijsplaat hetzelfde model gebruikt, dan zal er geen discontinuïteit op de vastlooplijn optreden zodat de positie van de vastlooplijn eenvoudig uit de verandering van de ijsdikte kan worden bepaald. Pas als deze numerieke modelbouw is voltooid, kan naar de oorspronkelijke vraag worden teruggekeerd: wat is het effect van een toename van het CO_2-ge-

Geraadpleegde literatuur:
1 C. J. E. Schuurmans e.a., Fysische aspecten van het CO_2-probleem, in: Energiespectrum 82/9
2 J. Oerlemans, Response of the antarctic ice sheet to a climatic warming: a model study, in: J. of Climatology, vol. 2, 1–11 (1982)
3 J. Oerlemans, Modelling the cryospheric response, in: Proceedings of the International School of Climatology, 2nd Course: Carbon Dioxide (Reidel, in druk)
4 C. van der Veen, notitie 'Het nut van ijskappen-onderzoek'

APPARATUURGIDS

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden

Toegevoegd zijn opmerkingen en tips ingebracht tijdens de amanuensesbijeenkomst van 8 november 1984.

HOOFDSTUK 1: ORIENTATIE

par. 1.4 Een praktische terugblik t.b.v. hen die weinig praktische lessen in voorgaande klassen gehad hebben of als opfrisser (tussen haakjes nummering uit Leven in Lucht).	Voor meer informatie zie het thema Leven in Lucht en de apparatuurgids daarbij.
Proef 1 (1.9), blz. 8	
Luchtballon onder stolp of de traditionele proef: ballon onder stolp met luchtpomp.	- luchtballon of rubberen handschoen onder een glazen stolp - fles met schroefdop waarop een klepje - luchtballon - fietspomp tot zuigpomp omgebouwd door omdraaien van het leertje.
Proef 2 (2.3) blz. 8	
Blik in de kreukels	- blik met schroefdop - beetje water (goed doorkoken!) - brander met driepoot - leren handschoenen

Verkrijgbaarheid van een geschikt blik bleek een probleem.
Als oplossingen:
- Lege cola- of bierblikjes, af te sluiten met een dop, verkrijgbaar bij bijv. een huishoudwarenwinkel zoals Blokker.
- Blikje ondersteboven in een bak met water zetten, blik klapt ineen voordat deze gevuld raakt.
- Plastic fles inplaats van blik.

Proef 3 (2.5) blz. 8	
Maagdenburgse halve bollen	- Maagdenburgse halve bollen - luchtpomp met hulpstukken evt. twee gootsteenontstoppers
Proef 4 (3.4) blz. 8 en 9	
Druk in fietspomp	- fietspomp met daar aan vastgekoppeld een manometer (1 tot 6 atm) - met kraan

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden

Opmerking
De fietspomp lekt nogal eens!
- Boyle proef van Technowa nu Salm en Kipp (Ede?) de zuiger met manometer.
- Is ook te doen met injectiespuit (glas of plastic) van 60 ml met een manometer 0-6 atm waarvan de wijzer van nul naar één versteld is (met behulp van 2 schroevendraaiers kan de wijzer van de as gelicht worden) zodat ook onderdruk gemeten kan worden.

Proef 5 (7.1) blz. 9

Lucht verwarmen

- fles
- ballon
- bak met heet water

Opmerkingen:
- Deze proef lokt vreemde reacties uit in het lokaal.
- Met een ronde ballon gaat het beter, wel eerst even de ballon opblazen zodat het rubber wat minder spankracht heeft.
- Ballon in een gasmeetspuit gaat ook goed.

Proef 6 (7.2) blz. 9

Lucht afkoelen

- fles
- ballon
- bak met koud water

Proef 7 (7.4) blz. 9

Warme-luchtstromen

- molentje gemaakt van papier of aluminiumfolie op een van ijzerdraad gemaakte standaard
- holnietje of drukknop
- schaar

Proef 8 (7.5) blz. 9 en 10

Hete lucht ballon

- hete lucht ballon van papier of plastic gemaakt
- evt. plastic zak zoals deze in de stomerij gebruikt worden
- stalen draadje
- camping gasbrander of watten met spiritus
- klosje garen

Opmerkingen:
- Hete-luchtballon is in principe bij Breukhoven te koop.
- Niet doen op de manier zoals het op de tekening is aangegeven, zeker buiten niet.
- Door de hete-luchtballon zelf te maken o.a. van de ANWB reddingsdeken, dit spul is in sportwinkels goedkoper.
- Plastic zakken van stomerij of Max, er wordt nog gekeken naar andere mogelijkheden.

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden
HOOFDSTUK 2: IN WEER EN WIND	
par. 2.1 Het weer gemeten	
Onderzoek 1: Temperatuur blz. 12 • oriënteren op gebruik en de konstruktie van thermometers t.b.v. weer-metingen. • temperatuur buiten meten onder verschillende omstandigheden.	- kwikthermometer - evt. thermometerhut
Onderzoek 2: Luchtdruk blz. 14 • orienteren op het gebruik en de konstruktie van luchtdrukmeters • met een aneroide barometer de luchtdruk meten onder verschillende omstandigheden	- kwikbarometer - aneroide barometer
Onderzoek 3: Vochtigheid blz. 15 • oriënteren op het gebruik en de konstruktie van vochtigheidsmeters. • met de haarhygrometer de relatieve vochtigheid bepalen binnen en buiten, onder verschillende omstandigheden.	- haarhygrometer - psychrometer (evt.)
Opmerkingen: - Haarhygrometer werkt vaak niet goed. Deze is dan weer goed te krijgen door het haar (meestal paardehaar) te ontvetten. - Aan het begin van dit thema de haarhygrometer bij te stellen door deze in een stoombadje of tussen natte lappen te leggen en de wijzer op 100% te verstellen.	
Onderzoek 4: Wind blz. 17 • oriënteren over het gebruik en de konstruktie van windmeters. • meet met de beschikbare meters zowel windsnelheid als windrichting.	- windvaan - wimpel - windsnelheidsmeter of anemometer - evt. windsnelheidsschijf
Bij proef 15 blz. 19: - Windsnelheid meten in de bebouwde kom gaat moeilijk, doordat de plaats waar gemeten kan worden vaak net in de luwte ligt, zelfs bij flinke wind. - Rennen op het dak is ook niet best. - Vaste montage van de windmeter op het dak, hoewel elektrische overbrenging ook wel een problemen kan geven. - Tip: Op het NSC zet men een doosje weerspullen (meetinstrumenten) klaar en laat men elke dag twee man meten.	
Andere metingen: • voor neerslag • voor zonneschijn • voor bewolking	- regenmeter - zonneschijnautograaf - spiegel kan helpen bij bepalen van richting en snelheid van wolken - hoekmeter voor bepalen van wolkenhoogte

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden
Bij proef 16 blz. 19: - Voor de regenmeter is een open plek belangrijk. - Zonneschijnmeter is waarschijnlijk ook te maken van een bolkolf gevuld met een ontgaste vloeistof (water of olie).	
par. 2.2 Weerkaarten blz. 20 - Een abonnement weerkaartjes KNMI kost ca. *f*14,- per 3 maanden. blz. 21 - Eigen metingen vergelijken met weerkaartjes KNMI of krant. blz. 23 - Weer-satellietfoto's zijn normaal niet te koop; soms via iemand die daar werkt. blz. 25 - Ook door opbellen naar vliegveld of bouwdienst in de regeo.	
par. 2.3 blz. 28 Aarde en atmosfeer	
Proef 3 *Onderzoek naar temperatuurverlaging door uitzetting*	- fietsband (fiets) - fietspomp - cilinder met koolzuurgas CO_2 - thermometer
par. 2.4 blz. 29 Vochtige lucht	- erlenmeyer of bolkolf met passende stop (doorboord) - driewegkraan - gesloten vloeistofmanometer voor lage gasdrukken (bijv. kwikmanometer) - vacuumpomp met toebehoren of waterstraalpomp - verwarmingselement (bijv. 300 W) - aquariumbakje, tevens als beschermbak - bolkolven of erlenmeyers - aquarium - verwarmingselement 2x300 W - 2 doorboorde rubberen stoppen - 2 grote open manometers gemaakt van dunne, stevige slang - 2 Y-verbindingsstukjes - ijsblokjes en gekoeld water - 3 thermometers, liefst met lange insteek - z.g. destillatiethermometers - evt. magnetische roerder
Proef 1 *Onderzoek naar de maximale druk van waterdamp* • Deze proef alleen als leraar-demonstratie proef vanwege het gebruik van kwik. Meting bij een kolf waarin een beetje water. • Alternatief, leerlingen onderzoek (zie bijlage D4). Vochtige en droge lucht tegelijkertijd vergelijken te beginnen bij een zo laag mogelijke temperatuur van het water liefst 0 °C.	

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden
Opmerkingen: blz. 30 - Maximale druk van waterdamp, opstelling van blz. 30 laten uitvoeren met 2 erlenmeyers, één met iets water, de ander met silicagel. De manometers gevuld met slaolie, 50 cm hoogte. Onderdompeling van de erlenmeyers in bak water van 30 °C geeft (wel eenmalig) duidelijk verschil aan. - Of door geleidelijk de temperatuur van het water in de bak tot ca. 30 °C op te voeren geeft een duidelijke curve van kamertemperatuur tot 30 °C. (N.B. erlenmeyers hier niet leeg zuigen.) - In Ede worden de kolven leeggepompt terwijl deze in smeltend ijs staan. Een keer pompen en lang gebruiken. Daarna aan verklikker koppelen tot 30° à 40 °C. Problemen hierbij zijn: 1. water condenseert op het kwik; 2. water in de pomp, eventueel te voorkomen met koude val in droog ijs of fles met droogmiddel er tussen te plaatsen; 3. gevaar van implosie.	
Proef 2 blz. 31 *Bepalen van de relatieve vochtigheid in het lokaal.*	- leeg blikje, bijv. bier of cola vanwege het dunne materiaal, gedeelte glad gepolijst - ijsblokjes - thermometer
par. 2.5 blz. 32 Wind. Proef 4 blz. 33 *Onderzoek aan bewegende waterstralen* (Corioliskracht) • waterstralen naar het midden gericht • 2 waterstralen naar buiten gericht	- draaibare schijf of plateau - opvangbak, laag model - 2 konservenblikjes, hoog model waarin op 1/3 hoogte een gat van 22 mm is geboord - als afsluiter kan er in plaats van een kraantje, plasticine of plak-gum (gluton) worden gebruikt
HOOFDSTUK 3: WOLKEN	
par. 3.2 blz. 38 Wolkenvorming • bij vraag 6	- hygrometer - thermometer
par. 3.4 blz. 41 Wolkenmetingen Proef 1 *Wolkenspiegel* • richting en snelheid bepalen • wolkenhoogte schatten	- spiegel, bijv. 300x250 mm - stokje - kompas - horloge - krijtje - evt. doorzichtige folie (op de spiegel) - viltstift

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden
Proef 3 blz. 42 *Weerballon oplaten*	- weerballon (ca. 30-40 gram rubber) bij het PLON verkrijgbaar - koord 10 meter lang - Helium (cilinder) of H2, CH4 - stopwatch - prismakijker

Opmerkingen:
Weerballon wordt in Ridderkerk aan een 300 m nylondraad opgelaten met een max-min. thermometer zonder schaalverdeling i.v.m. gewicht aan de ballon te hangen. Ballon wordt met een boormachine binnengehaald. Voorgesteld werden handboor of werphengel te gebruiken.
- Vraag is: is het oplaten van een weerballon op deze manier toegestaan?
- Waterstof is goedkoper dan Helium (*f*48,- per fles, Hoek-Loos).
- Of vullen met aardgas via luchtpomp (bed), met deze voetpomp flink doorpompen. tot ballon 0,8 m Ø heeft.
- Oppassen met vuur, het gevaar zit vooral bij lekkages.
- Er zijn ook wegwerptankjes (Hicol, Hoek-Loos?) voor Helium.
- Helium kost hier ca. *f*6,- voor ca. 8 ballonnen in leenfles.
- Hoek-Loos Hardenberg leent fles per dag voor weinig geld.
- Statiegeld-(huur) van de flessen vormen een bezwaar.
- Samenwerken met een laboratoriumschool gaat goed, daar zijn gassen constant in gebruik en betaal je alleen het gas.
- De ballonnen worden hier met ca. 60 stuks tegelijk ingekocht. Moet zeker in de toekomst ergens ook centraal beschikbaar zijn; iets voor de PLON-vereniging?

Proef 4 blz. 43 *Wolkenfoto's* • liefst bij veranderlijke bewolking • meten: relatieve vochtigheid en temperatuur	- fototoestel tijd ca. 1/60-1/125 sec standaard- en/of groothoek lens f 16 voorkeur - filter (geel 3 of 4, 3 voorkeur) - film 25-100 ASA - statief - thermometer (nat-droog) - chronometer

HOOFDSTUK 4: NEERSLAG

par. 4.4 blz. 50 Neerslag metingen	- metalen plaat - druppeltjes gedestilleerd water
Proef 1 blz. 50 *Onderkoeld water*	
Proef 2 blz. 50 *Grootte van regendruppels bepalen*	- gladde baksteen of iets dergelijks

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef of onderzoek	benodigdheden
Proef 3 blz. 50 *Grootte van regendruppels: meelmethode*	- doosje - droge gezeefde tarwebloem - zwart papiertje of karton
Proef 4 blz. 50 *Grootte van regendruppels: filtreer papier methode*	- filtreerpapier - doosje met deksel - poederkleurstof (moet wel snel gebeuren) - druppelpipet

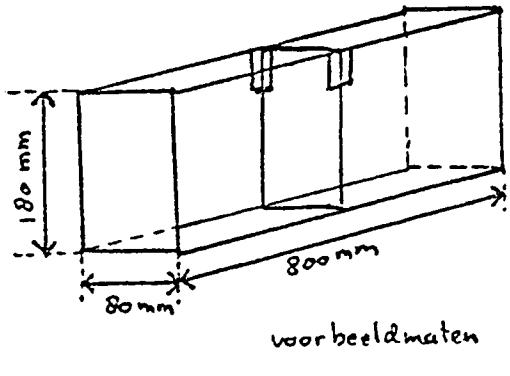
Opmerkingen:
- Regendruppels laten vallen op filtreerpapier waarop vooraf pigmentpoeder (gemaakt van aquarel-blokje, stift of potlood die met behulp van schuurpapier of schuurblokje verpoederd zijn) is gestrooid, je krijgt dan schitterende ringen te zien die bewaard kunnen worden, eventueel door te fixeren. Per druppel zijn 2 ringen te zien, 1e: de binnenste ring het moment dat de druppel het filtreerpapier raakt (energie), 2e: de buitenste ring omvat hoeveelheid water.
- 1 ml water bevat ca. 20 druppels.

Als het alsmaar droog blijft:
- Buretten hebben meestal verschillende openingen en kunnen dus varieren in druppelgrootte.
- Water uit een pollepel of kopje vanuit een hoger gelegen etage naar beneden laten vallen geeft een goede nabootsing van regen.

Proef 5 blz. 51 *Opbouw van hagelstenen*	- hagelsteen - 2 glazen plaatjes - vergrootglas

HOOFDSTUK 5: FRONTEN EN DRUKGEBIEDEN

par. 5.4 blz. 58 Fronten en drukgebieden op weerkaarten en satellietfoto's Proef 2 blz. 58 *Een model van een front*	- perspex, evt. glas, 3 mm dik - bak met doorzichtige wanden, smal-hoog en lang (zie figuur) - wegneembaar tussenschot, bijv. van perspex met in de bak gelijmde geleiders - een zijde gekleurd en gezouten leidingwater - andere met helder leiding-water - 2 grote bekerglazen



voorbeeldmaten

BENODIGDHEDEN PER PROEF EN ONDERZOEK

beschrijving per proef en onderzoek benodigdheden

Opmerkingen bij hoofdstuk 5

Bij proef 2 blz. 58: - De proef met de frontmodelbak gaat prima, de mooiste proef die erbij is.

blz. 59: - Satellietfoto's kunnen waarschijnlijk voor ca. ƒ6,- gecopieerd worden via NIB, met recente foto's lukt dat niet.

Nog een tip vanuit Ede: - Cas-Instruments levert print met spul voor elektronische hygrometer ca. ƒ40,-. Ook voor elektronische thermometer.
Adres is: Cas-Instruments, Ondernemerweg 50, 2404 HN Alphen a.d. Rijn, tel. 01720-45376, 34925 of Hr Wachterberg privé 44458.

- Metaal hygrometers zijn er al voor ƒ15,-