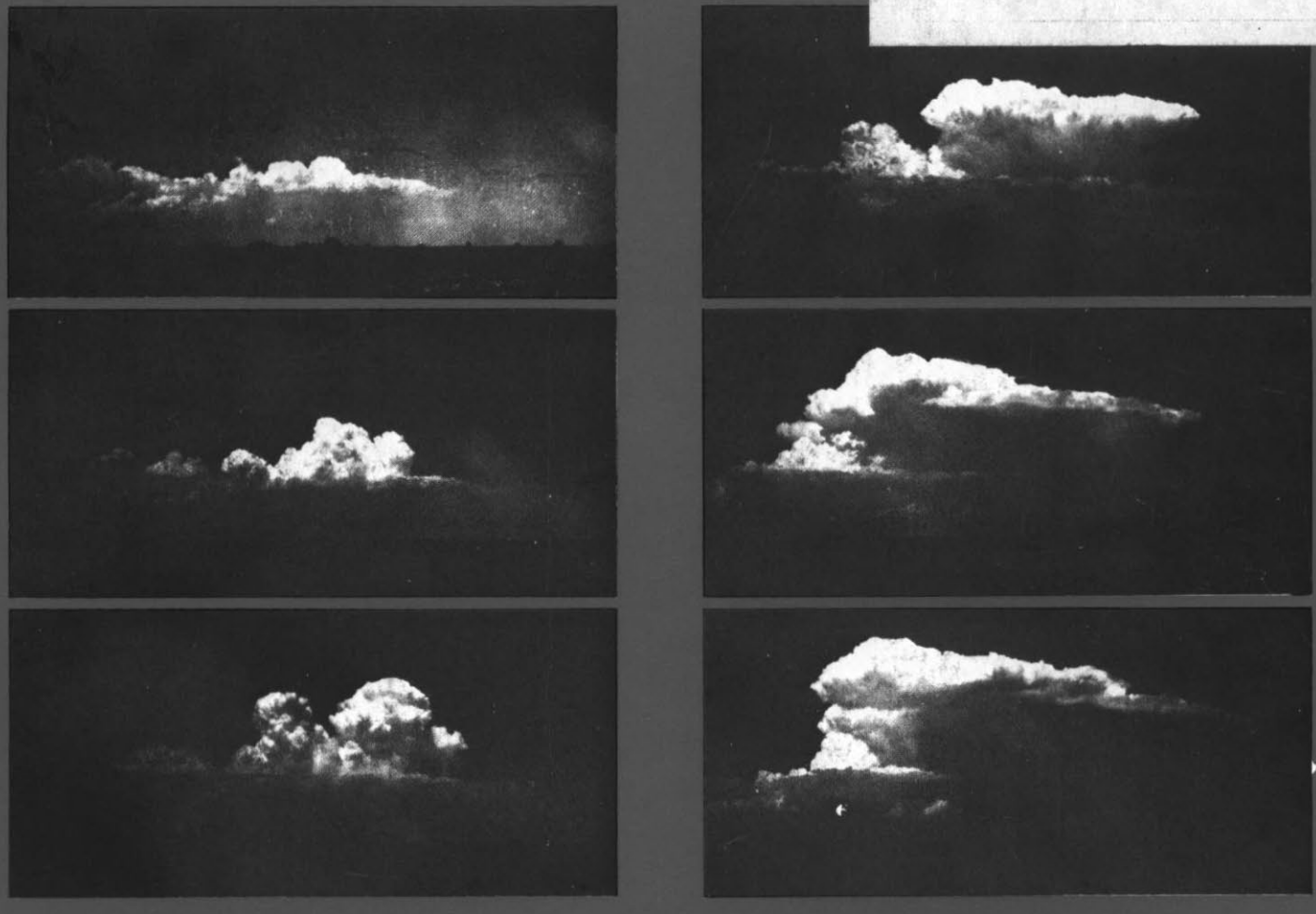
WEERSVERANDERINGEN

TER INZAGE

NIET MEENEMEN S.V.P.



PLON

Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

bovenbouw
HAVO

weersveranderingen

Samengesteld door de projectgroep van het PLON in samenwerking met de Vakgroep Natuurkunde-Didactiek van de Rijksuniversiteit Utrecht

voor de 4e klas HAVO

Experimentele uitgave

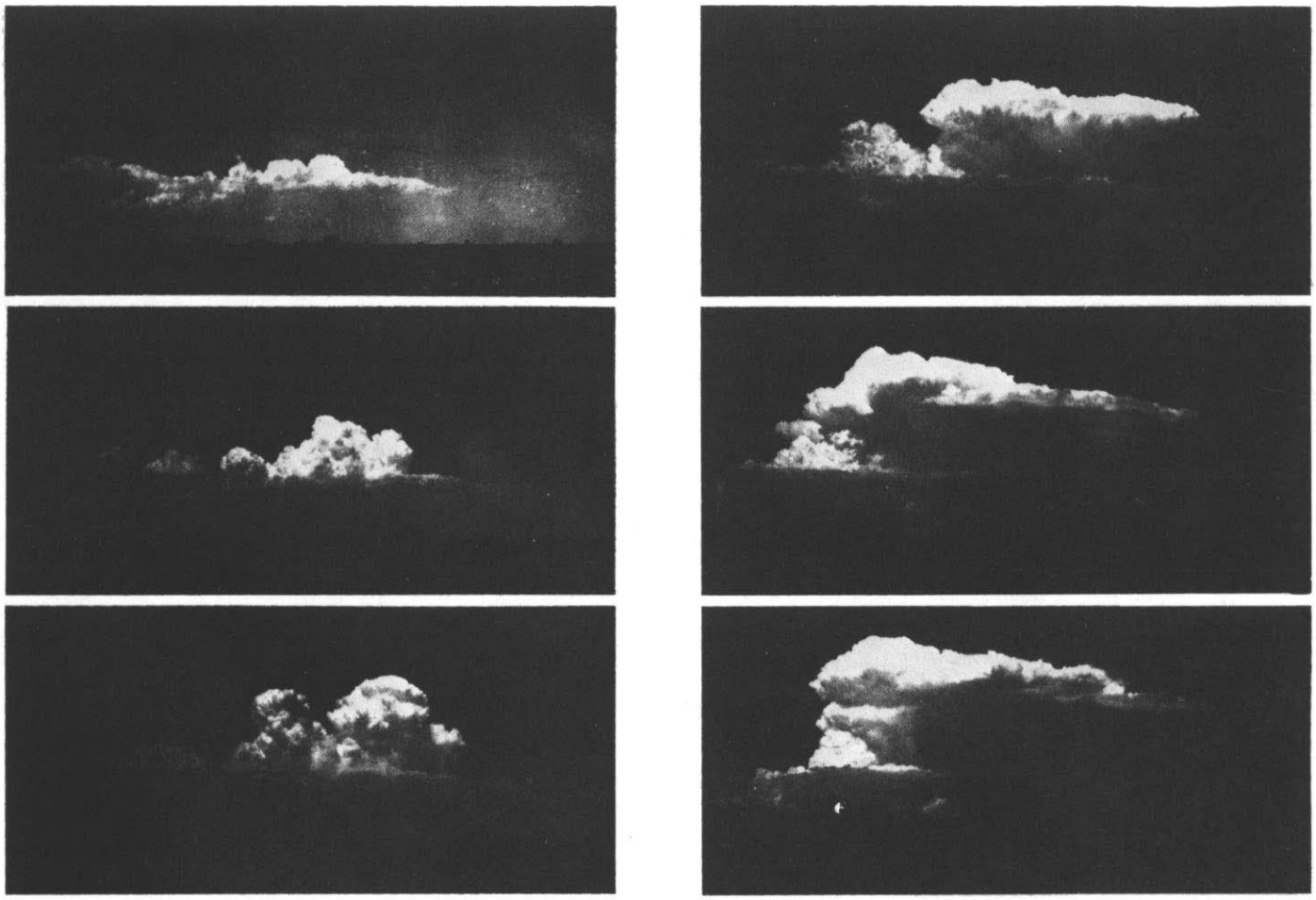
PLON

* Het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) is in 1972 begonnen onder auspiciën van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN). De opdracht was: het ontwikkelen en door middel van onderzoek evalueren van leerpakketten voor natuurkundeonderwijs op mavo, havo en vwo, en het ontwerpen van een plan voor goede begeleide introductie daarvan in de scholen.
* Het PLON werkt onder toezicht van een stuurgroep waarin vertegenwoordigers uit het onderwijs, de vervolgopleiding, didactische instellingen, onderwijsondersteuningsinstituten, lerarenopleidingen en het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen vertegenwoordigd zijn.
* Het PLON is ondergebracht bij de Vakgroep Natuurkunde Didaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Deze vakgroep participeert tevens in de activiteiten ten behoeve van havo-bovenbouw. Ten behoeve van vwo-bovenbouw bestaat een samenwerkingsverband met de universiteiten van Amsterdam (GU) en Groningen, en groepen leraren die werken aan de ontwikkeling van lesmateriaal.
* Het adres van het PLON is:
  PLON, lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA, de Uithof, Utrecht, Tel. 030-532717

© 1983 Rijksuniversiteit Utrecht Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without the prior permission of the publisher.

WEERSVERANDERINGEN



PLON

Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

bovenbouw
HAVO

inhoud

		blz.
1	oriëntatie	5
2	in weer en wind	12
3	wolken	36
4	neerslag	45
5	fronten en drukgebieden	54
6	weersvoorspelling	64
7	weersbeïnvloeding	76
8	met het weer in de weer	85
	index	92

hoofdstuk 1

ORIENTATIE

inhoud

		blz.
1.1	het weer en de mens	6
1.2	het weer en de samenleving	6
1.3	de veranderlijkheid van het weer	6
1.4	een praktische terugblik	8
1.5	de atmosfeer	10
1.6	de opzet van het thema 'Weersveranderingen'	11

oriëntatie

Aan de orde komt:
- hoe belangrijk zijn weersveranderingen?
- in hoeverre verandert ons klimaat?
- wat weet je nog van vroeger?
- hoe is de atmosfeer opgebouwd?
- waat gaat dit thema over?

Is het weer in september warm, dan krijgen we een harde winter.

aktiviteiten:
- proeven doen
- opgaven maken

1.1 HET WEER EN DE MENS

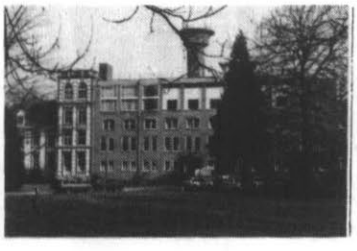
Over weinig onderwerpen wordt in Nederland meer gepraat door de meeste mensen dan over het weer. Dit wijst er op dat het weer voor mensen belangrijk is en dat het een onderwerp is, dat niet gauw verveelt. Om met dat laatste te beginnen: niet overal ter wereld wordt zo veel over het weer gepraat als hier. In tropische gebieden gebeurt dat bijvoorbeeld veel minder. Dit heeft te maken met de *veranderlijkheid* van ons weer.
Het persoonlijk belang bij het weer voor mensen is groot. Het is bepalend voor de kleding die je aantrekt. Stemmingen en gezondheid worden beïnvloed door het weerbeeld. Ook het gedrag van mensen wordt soms mede bepaald door het weer. Tenslotte noemen we het feit, dat mensen onder de indruk kunnen raken van weersverschijnselen zoals wolkenpatronen, regenbogen, een ondergaande zon en besneeuwde landschappen.

1.
Ga na welke invloed het weer heeft op mensen in je omgeving en op jezelf. In hoeverre is het waar, dat het weer gezondheid, gedrag en stemming beïnvloedt?

2.
In welke mate speelt het weer een rol in:
– de keuze van je vakantiebestemming;
– de keuze van je dagelijks vervoermiddel;
– de manier waarop je aan sport doet?

1.2 HET WEER EN DE SAMENLEVING

Het weer heeft dus betekenis voor het persoonlijk leven van de mens. Daarnaast is het weer van groot belang voor allerlei maatschappelijke sectoren. Dat is te zien aan de breed samengestelde klantenkring van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) te De Bilt. Deze klanten zijn in de volgende groepen onder te verdelen:
– de bouwnijverheid
– land- en tuinbouw
– industrie
– handel en reclame
– energiebedrijven
– waterstaatsinstanties
– verkeer (te land, ter zee en in de lucht)
– verzekeringen
– toerisme.

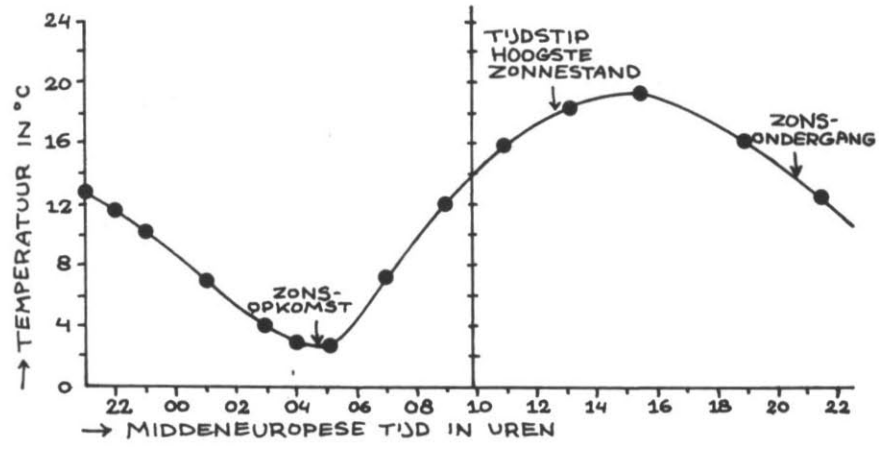


Het K.N.M.I. te De Bilt.

1.
Kies één instantie uit één van de bovengenoemde groepen. Beantwoord voor deze instelling de volgende vragen:
– welke invloed heeft het weer in positieve en negatieve zin?
– hoe belangrijk is de weersvoorspelling op korte termijn (48 uur)?
– in hoeverre is men gebaat bij weersvoorspellingen op langere termijn (> 2 dagen)?
– met welke maatregelen probeert men de invloed van het weer te beperken?

1.3 DE VERANDERLIJKHEID VAN HET WEER

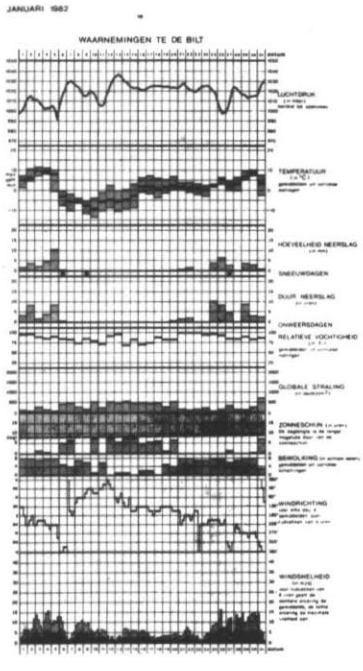
De veranderlijkheid van het weer in ons land wordt bepaald door een samenspel van elementen die het weerbeeld bepalen, zoals de straling van de zon, de temperatuur, de wind, de vochtigheid van de lucht en de neerslag. We staan nu wat langer stil bij veranderingen in de temperatuur.
De temperatuur verandert in de loop van de dag. Het diagram hieronder geeft een voorbeeld van het dagelijkse verloop van de luchttemperatuur op een heldere dag in mei.



Het dagelijkse verloop van de luchttemperatuur.

1.

- Lees de maximum en minimum temperatuur af op deze meidag.
- Op welke tijdstippen zijn ze gemeten?
- Welke oorzaken kun je bedenken voor de grote verschillen tussen beide waarden?
- Onder welke omstandigheden verwacht je kleinere verschillen?



Maandoverzicht K.N.M.I.

Maandelijks kunnen de gemiddelden van de maximale, respectievelijk de minimale dagtemperaturen worden berekend voor die maand. Dit doet men op vele plaatsen op aarde al vele tientallen jaren. De jaarlijkse maandgemiddelden worden vergeleken met gemiddelden over 30 jaar.
De tabel hieronder bevat een aantal van deze gegevens voor De Bilt, zowel wat betreft temperatuur als neerslag en zonneschijn.

Vergelijking gegevens 1982 met gegevens voor de periode 1951/1980.

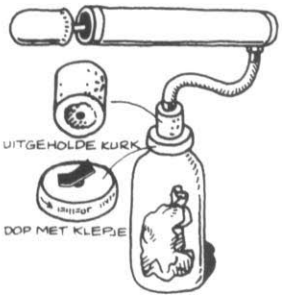
	1982	1951/1980
gemiddelde dag. minima		
januari	−2,4 °C	−0,7 °C
juli	13,6 °C	11,8 °C
gemiddelde dag. maxima		
januari	4,3 °C	4,4 °C
juli	24,0 °C	21,1 °C
laagste temperatuur	−13,6 °C	−21,6 °C
hoogste temperatuur	32,3 °C	34,9 °C
neerslag	705 mm	775 mm
zonneschijn	1649 uren	1505 uren

2.

- Omschrijf in je eigen woorden in hoeverre het jaar 1982 een afwijkend weerbeeld vertoonde, vergeleken met het jaargemiddelde over de periode 1951-1980.
- Zou je hieruit conclusies kunnen trekken voor een klimaatverandering in Nederland? Motiveer je antwoord.
- Probeer de gegevens voor het afgelopen jaar te achterhalen. In welke opzichten week dat jaar het meest af van het 30-jaar-gemiddelde?

1.4 EEN PRAKTISCHE TERUGBLIK

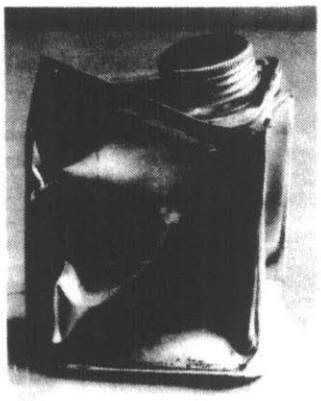
In voorgaande klassen heb je al het één en ander geleerd over onderwerpen die te maken hebben met het weer. Om je geheugen even op te frissen kun je enkele van de volgende proeven doen over eigenschappen van lucht. Voor degenen, die weinig praktische lessen in de voorgaande klassen hebben gehad, biedt het de gelegenheid enkele nieuwe ervaringen op te doen.



1.

Maak van een plastic zakje een losse prop en bind het aan de bovenkant dicht. Doe de zak in een grote fles of pot. Maak een klepje op het deksel van de fles en zuig lucht uit de fles (bijv. met een fietspomp waarvan je het leertje van de zuiger omgekeerd hebt).

Als je het klepje een beetje vochtig maakt, lekt er minder lucht naar binnen. Wat zie je en wat voel je bij het pompen? Hoe komt dat?



2.

Neem een goed afsluitbaar blik (bijv. verf of olieblik). Doe er een beetje water in en breng het aan de kook zonder dat de dop op het blik zit. Laat het water goed doorkoken. Dan verdrijft de stoom de lucht uit het blik.

Zet de gasbrander uit en sluit het blik dan goed af. Als je er nu water overheen giet, koelt het blik (én de waterdamp er binnenin) af. Daardoor wordt de druk binnenin erg klein. Wat zie je dan gebeuren?

3. DE MAAGDENBURGSE HALVE BOLLEN

Dit is de proef die werd gedaan door Otto von Guericke, de burgemeester van Maagdenburg. In jouw klas is dit instrument misschien aanwezig: de zgn. Maagdenburgse halve bollen.

Je duwt de halve bollen op elkaar en pompt de ruimte erin met een vacuümpomp leeg. Dan neem je ieder een handvat en trekt zo hard je kunt. Je kunt ook twee 'gootsteenontstoppers' op elkaar duwen en dan trekken.

Wat merk je, en hoe komt dat?

4. DE DRUK IN EEN FIETSPOMP

Je hebt nodig:

- een fietspomp
- een manometer
- een liniaal

• Duw de zuiger zover mogelijk naar beneden, zodat er (vrijwel) geen lucht meer onder zit. Zet een streepje op de zuigerslang bij het kapje. Van dit streepje af ga je steeds de lengte meten.

• Trek de zuiger zo ver mogelijk omhoog en zet een streepje bij de hoogste stand.

• Meet de afstand tussen de twee streepjes. Zo lang is de lucht, beter gezegd, het 'volume' lucht dat je kan samenpersen ook.

• Sluit de pomp nu af met de manometer (de zuiger in de hoogste stand).

ER EEN TABEL VAN MAKEN

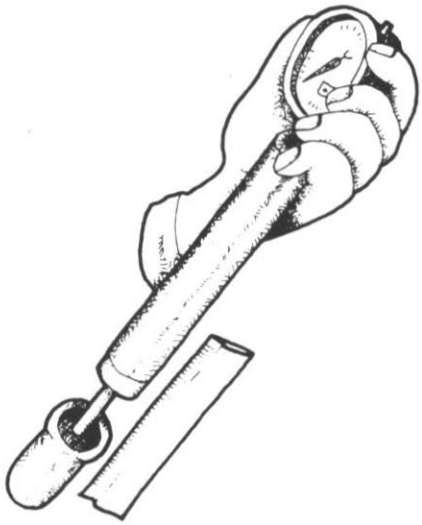
druk in atm	lengte in cm
1	50 cm
2	40 cm
3	

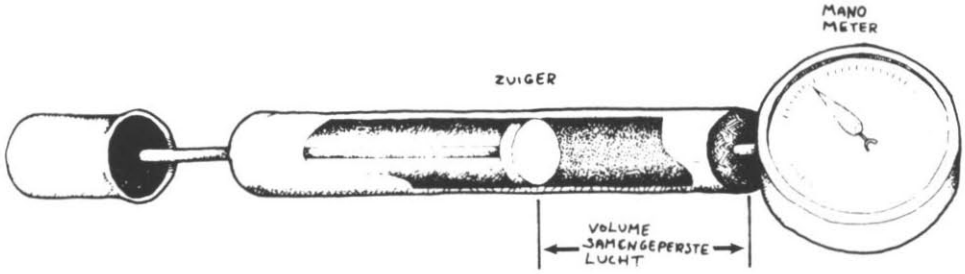
Waarop staat de manometer dan?

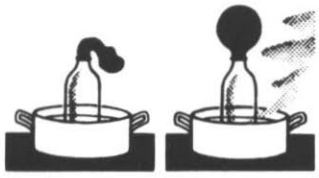
- Meet die dus de ware druk of de overdruk?
- Duw nu de zuiger in tot de druk 2 atmosfeer is (waarop staat de manometer dan?). Hoe lang is dan de lengte van de lucht?

Let op! Als er lucht uit de pomp ontsnapt, klopt de meting niet.

- Doe de meting ook voor andere drukken.
- Zet je metingen in een tabel.
- Wat is je conclusie uit je metingen?







5. LUCHT VERWARMEN

- Neem een lege fles. Zet er een lege ballon op. Verwarm de fles met warm water (lang! Het duurt enige tijd voordat de lucht in de fles warm is).

Wat zie je? Wat is je conclusie?

- Koel de fles weer af onder de koude kraan (voorzichtig dat de glazen fles niet springt).

Wat zie je? Geef een verklaring.

6. LUCHT AFKOELEN

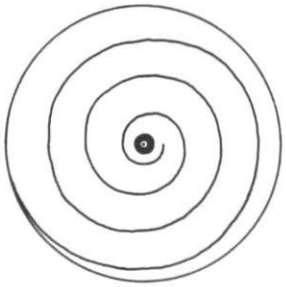
- Neem een fles en maak die goed warm, zodat er ook warme lucht in is. Span een vlies (bijv. een kapotte ballon) over de hals van de fles zodat er geen lucht meer in of uit kan.

Koel de fles af.

Wat zie je aan het vlies? Hoe komt dat?

- Prik een gaatje in het vlies.

Wat hoor je? Wat is je verklaring?



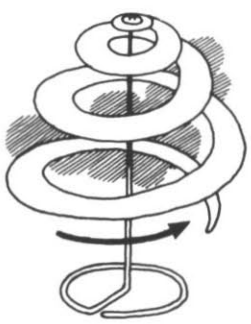
7. WARME-LUCHTSTROMEN

- Maak een molentje van papier of aluminiumfolie. Plaats het molentje bij de kachel of bij de verwarming. (Je kunt het ook boven een kaarsvlam houden.) Onderzoek ook op andere plaatsen de luchtstromen.
- Wat neem je waar?

Hoe stroomt warme lucht?

Hoe zal koude lucht stromen?

- Je kunt van het opstijgen van warme lucht gebruik maken om een ballon te laten stijgen. Dat kan met een hete-luchtballon. In de ballon blijft de warme lucht hangen.

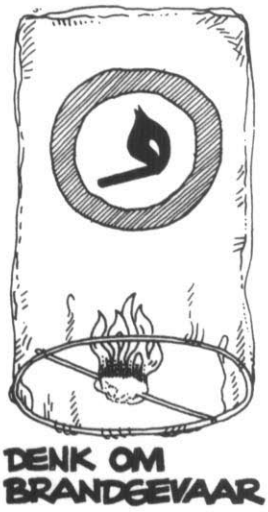


8. DE HETE-LUCHTBALLON

Bijna 200 jaar geleden maakten twee Fransen, Joseph en Etienne Montgolfier een hete-luchtballon die één man ruim 20 meter hoog de lucht intilde.

Je kunt zelf ook een hete-luchtballon maken van dun tissuepapier of van een grote dunne plastic zak. Denk om brandgevaar! De ballon moet van onderen een opening hebben die opengehouden wordt, bijv. door dun ijzerdraad. Daaraan hang je dan een ijzerdraad waaromheen een wattenprop zit, gedrenkt in spiritus. Vergeet niet een lange draad garen aan het mandje vast te binden anders waait je ballon misschien te ver weg.

P.S. Voordat je met de wattenprop aan



de gang gaat, is het raadzaam om de ballon met hete lucht te vullen door middel van kaarsen of een gasbrander. Dan stijgt hij eerder op.
Leg de werking van de hete-luchtballon uit.

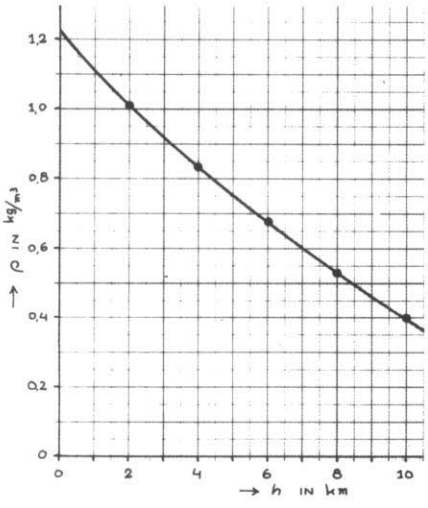
9.

- Verklaar de verschijnselen die je waarneemt bij elk van de proeven 1 t/m 8 die je gedaan hebt.
- Welke eigenschappen van lucht herken je uit die proeven?

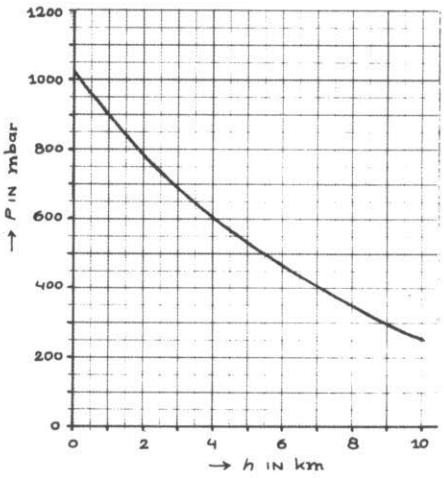
1.5 DE ATMOSFEER

De buitenlucht is samengesteld uit een groot aantal verschillende gassen. De voornaamste gassen zijn stikstof (78%), zuurstof (21%), waterdamp (variabel, ca. 1,2%), argon (1%) en koolstofdioxide (0,03%), waarbij de percentages volumeprocenten weergeven. Naast deze gassen komen nog een groot aantal andere gassen voor in zeer kleine hoeveelheden. Deze procentuele samenstelling verandert tot ca. 80 km niet met toenemende hoogte.
Ofschoon de samenstelling van de lucht in de dampkring tot 80 km weinig verandert met de hoogte, is dat wél het geval met de dichtheid, de druk en de temperatuur.

De dichtheid is op zeeniveau ca. 1,2 kg/m^3; op 5,5 km hoogte is deze afgenomen tot ongeveer 0,7 kg/m^3 en op 10 km hoogte bedraagt de dichtheid nog slechts 0,4 kg/m^3. Met toenemende hoogte neemt de luchtdichtheid steeds verder af.



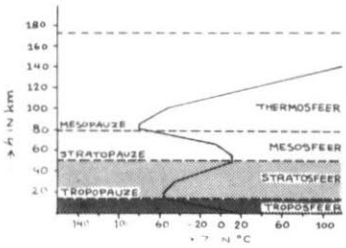
Het verband tussen dichtheid ρ van de lucht en hoogte h in de atmosfeer.



Het verband tussen luchtdruk p en hoogte h in de atmosfeer.

Ook de luchtdruk verandert met de hoogte. In de onderste kilometer van de atmosfeer is de afname van de luchtdruk ca. 10 mbar per 100 m.

De verandering van de temperatuur met de hoogte is ingewikkelder dan de verandering van luchtdruk en luchtdichtheid. De temperatuur kan met de hoogte zowel afnemen, gelijk blijven als toenemen.



Het verband tussen temperatuur *T* en hoogte *h* in de atmosfeer.

De verticale temperatuurverdeling van de atmosfeer is uitermate belangrijk voor het weer. We komen hier nog uitvoerig op terug. We volstaan nu met de hiernaast weergegeven standaardbeschrijving van de atmosfeer, te beschouwen als een gemiddelde voor gematigde breedten. De gestippelde lijnen geven de grenzen aan van diverse atmosferische lagen.
In de rest van dit thema zullen we ons beperken tot verschijnselen in de troposfeer (tot 16 km hoogte).

1.
Bepaal de gemiddelde waarden voor dichtheid, druk en temperatuur op achtereenvolgens 1, 3 en 10 km hoogte.

2.
Waarom draagt men bij bergbeklimmen op zeer grote hoogte zuurstofmaskers, terwijl het zuurstofpercentage van de atmosfeer ook op die hoogte ca. 21% bedraagt?

3.
Hoeveel procent bedraagt de dikte van de troposfeer, vergeleken met de straal van de aarde (6371 km)?
Als je de aarde zou vergelijken met een voetbal, die een doorsnede heeft van 30 cm, hoe dik zou de troposfeerlaag dan zijn?

1.6 DE OPZET VAN HET THEMA 'WEERSVERANDERINGEN'

In dit thema ga je je bezig houden met het weer. Maar 'het' weer is een breed gebied, bestaande uit tal van onderwerpen. We moeten dus gaan inperken. Onze nadruk ligt in ieder geval op de fysische kanten van weersveranderingen. De volgende vragen staan daarbij centraal:
- Welke factoren bepalen het weerbeeld?
- Welke rol spelen deze factoren bij weersveranderingen?
- Hoe komt een weersvoorspelling tot stand en hoe betrouwbaar is deze?
- Welke menselijke aktiviteiten beïnvloeden het weer nu en in de toekomst?

Naast kennismaking met een aantal fysische *grootheden* (zoals druk, temperatuur, vochtigheid, windsnelheid enz.) kom je ook meer te weten over fysische *processen* bij neerslagvorming, wolkenvorming, fronten, depressies, verspreiding van luchtverontreiniging, broeikaseffect enz. Via die processen leer je meer over de *samenhang* van de fysische grootheden en hun *betekenis* voor weersveranderingen.
Weinig aandacht besteden we aan meer geografische aspekten, zoals diverse klimaten, verschillen in het weerbeeld op verschillende breedtegraden op aarde, passaatwinden. Ook besteden we geen tijd in het basisgedeelte aan optische en geluidverschijnselen zoals onweer, regenboog, aurora. Eventueel kun je hiervoor kiezen in het vrije keuzegedeelte (hoofdstuk 8).

De structuur van het thema 'Weersveranderingen'.

Het thema bevat veel aktiviteiten: informatie verzamelen, proeven doen, wolkenmetingen verrichten, werken met weerkaarten en satellietfoto's, weerswaarnemingen doen enz.

Na hoofdstuk 2 moet je kiezen met welk onderwerp je je gedurende drie lessen wilt bezig houden. Je kunt kiezen uit 'wolken', 'neerslag' en 'fronten en drukgebieden'. Deze onderwerpen hangen sterk samen. Deze samenhang moet blijken tijdens rapportages en speelt ook een rol bij de hoofdstukken 6 en 7. Hiernaast vind je de opbouw van dit thema schematisch weergegeven.

hoofdstuk 2

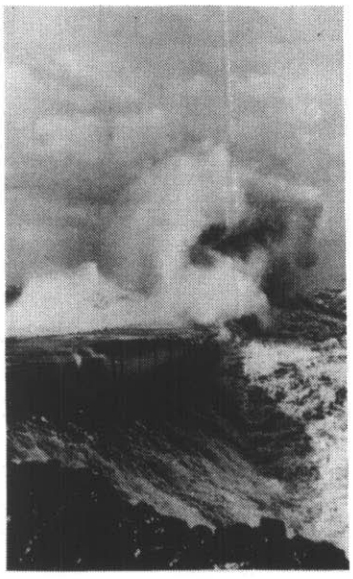
IN WEER EN WIND

inhoud

		blz.
2.1	het weer gemeten	13
2.2	weerkaarten	20
2.3	aarde en atmosfeer	26
2.4	vochtige lucht	29
2.5	wind	32
2.6	weer kiezen	35

in weer en wind

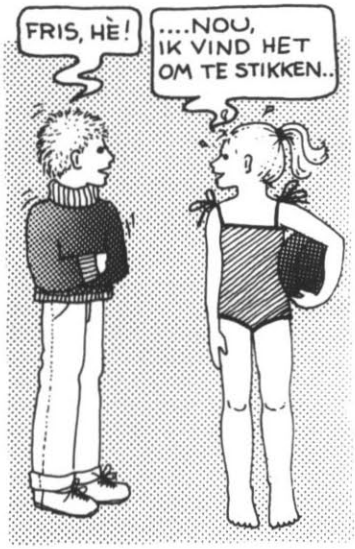
Aan de orde komt:
- hoe kun je weersgrootheden meten en onder welke omstandigheden?
- hoe haal je informatie uit weerkaarten en satellietfoto's?
- hoe wordt zonne-energie door de aarde opgevangen?
- hoe komen vertikale luchtstromingen tot stand?
- welke rol speelt waterdamp in lucht?
- hoe ontstaat wind?



Maakt de spin in het net een scheur, dan klopt de stormwind aan de deur.

aktiviteiten:
- weersgrootheden meten
- weerkaarten en foto's analyseren
- weerberichten verzamelen
- demonstratieproeven bekijken
- opgaven maken

2.1 HET WEER GEMETEN



Als je een ander iets over het weer op een bepaald moment wilt vertellen, gebruik je daarvoor meestal *woorden* zoals: koud, guur, 't regent bakstenen, wat een onweer, frisjes, om te stikken enz. Daarmee maak je duidelijk wat voor weer het is, maar ook wat je daarvan zelf vindt.
Een meer objectieve methode om het weer te beschrijven is door *meting* van een aantal weerkundige grootheden zoals temperatuur, luchtdruk, vochtigheid, wind, neerslag, zonneschijn en bewolking.

Vier van deze grootheden kunnen wij zelf meten: de temperatuur, de luchtdruk, de vochtigheid en de wind (-snelheid en -richting). We moeten daarvoor een paar dingen weten:
- een definitie van de grootheid
- de bijbehorende eenheid
- een goed meetinstrument
- de juiste meetomstandigheden.

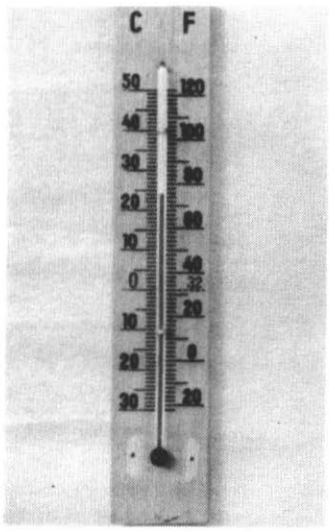
	DEFINITIE	EENHEID	MEETINSTR
TEMPERATUUR			
LUCHTDRUK			
VOCHTIGHEID			
WINDSN			

Weersgroothedentabel.

1. DE WEERSGROOTHEDENTABEL
Maak een tabel waarin je bovenstaande gegevens voor de vier weersgrootheden kunt verzamelen. Vul al vast díe gegevens in, die je kent.

onderzoek aan weersgrootheden
Kies voor één van de onderzoeken aan de weersgrootheden temperatuur, luchtdruk, vochtigheid en windsnelheid en -richting op de volgende bladzijden.
Elk onderzoek bestaat uit:
- het lezen van informatie
- het beantwoorden van enkele vragen
- het doen van enkele metingen.

Maak een goede tijdsindeling, zodat je snel en efficiënt kunt werken. Rapporteer je bevindingen aan de rest van de klas. Als er genoeg tijd is kun je natuurlijk ook zelf nog een ander onderzoek doen. Iedereen moet na afloop de belangrijkste punten uit elk onderzoek kennen, zodat je de weersgroothedentabel volledig kunt invullen.



Kwikthermometer.

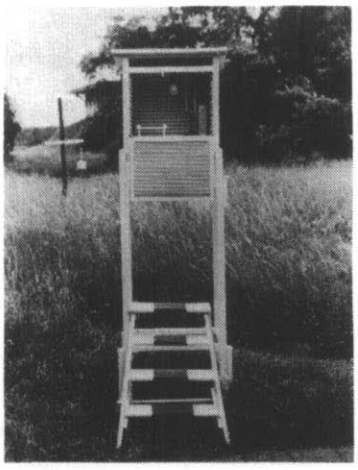
onderzoek 1: temperatuur
Voor een beoordeling van het weer, is het belangrijk om te weten hoe warm of hoe koud het is. We moeten daarvoor de temperatuur meten van de lucht om ons heen. Het meest gebruikelijke instrument daarvoor is een *kwikthermometer*. Deze bestaat uit een reservoir, gevuld met kwik, waarmee een dun buisje (het capillair) is verbonden. Als de temperatuur hoger wordt, zet de vloeistof uit en komt hoger in het capillair.

1.
- Wat zou men verstaan onder de *gevoeligheid* van een thermometer?
- Hoe zou jij een thermometer ontwerpen die erg gevoelig moet zijn?

De temperatuur wordt meestal gemeten in graden Celsius (°C). Het nulpunt van de Celsiusschaal geeft de temperatuur aan van smeltend ijs. In de natuurkunde rekent men

absolute temperatuur

vaak vanaf het absolute nulpunt (bij −273°C). Men spreekt dan van de *absolute temperatuur*, en gebruikt de eenheid kelvin (K).
Het verband tussen de temperatuur T in °C en de absolute temperatuur T in kelvin (K) is: T (in K) = T (in °C) + 273



Thermometerhut.

2.

- Reken een temperatuur van 15°C om in K.
- Reken een temperatuur*stijging* van 22°C om in K.

3. TEMPERATUUR METEN

- Meet de temperatuur buiten.

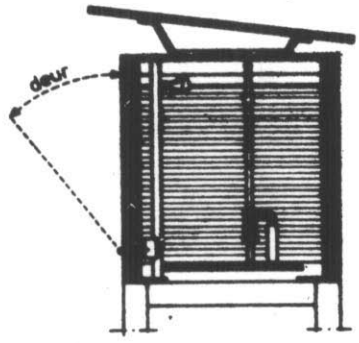
Onderzoek of de meetomstandigheden invloed hebben op het meetresultaat. (Denk bijv. aan zwaaien met de thermometer, verschillende hoogtes, direkte zonneschijn enz.) Vergelijk de omstandigheden *eerlijk*; dat wil zeggen varieer ze niet tegelijk!

- Verklaar de verschillen tussen de meetresultaten. Wat lijkt jou de beste meetmethode?

Bij professionele temperatuurmetingen gebruikt men een wit geschilderde thermometerhut.
In onderstaande informatietekst van het KNMI vind je een precieze beschrijving van de voorgeschreven meetomstandigheden.

4. THERMOMETERHUT

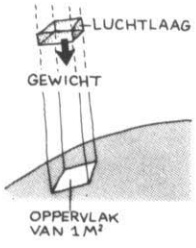
Om voor het meten van de luchttemperatuur aan de gestelde eisen te voldoen worden de betreffende thermometers geplaatst in de zg. thermometerhut. Dit is een kastje met wanden welke zijn vervaardigd van dubbele jaloezieën; de hier afgedrukte figuur toont de dwarsdoorsnede. De hut, ook wel Stevenson-screen genoemd, wordt zodanig op een statief geplaatst dat de thermometers zich men hun reservoir op 1,50 meter hoogte boven het maaiveld bevinden. Om te voorkomen dat, bij geopende deur, zonnestraling in de hut komt, wordt deze hut met de deuropening op het noorden gericht.



Een verdere beschouwing van de tekening leert dat de lucht langs alle kanten kan toetreden; zijdelings door de uit jaloezieën gevormde wanden, vertikaal door (verdekte) sleuven in bodem en in de bovenkant, waarbij er voor is gezorgd dat, door zijdelingse overlapping, geen in- of uitstraling kan plaats vinden.
Onder normale omstandigheden kan neerslag niet in de hut terecht komen; de dubbele jaloezieën beletten dit aan de zijkanten en een schuin dak schermt de bovenkant af.
Meestal is in de hut verlichting aanwezig welke, d.m.v. een deurschakelaar, gaat branden bij het openen van de deur. Het behoeft geen betoog dat de aflezingen snel moeten geschieden omdat de lichaamswarmte van de waarnemer en de warmte welke de lamp afgeeft de aanwijzing zullen beïnvloeden als e.e.a. te traag verloopt.

4.

- Haal uit de tekst de belangrijkste voorwaarden waaronder een temperatuurmeting moet plaats vinden.
- Vergelijk de voorwaarden met de methodes, die je zelf hebt toegepast.



Luchtdruk is het gewicht van de luchtkolom boven 1 m² oppervlak.

onderzoek 2: luchtdruk

De luchtdruk is één van de belangrijkste weerkundige grootheden. Doordat op verschillende plaatsen en verschillende hoogtes een andere luchtdruk kan heersen, zijn er stromingen van lucht. Die zijn op hun beurt weer de oorzaak van allerlei weersveranderingen. Verderop in het themaboek gaan we daar dieper op in.
Wat is luchtdruk in de meteorologie precies?
De aarde is omgeven door de dampkring, die aan de aarde is gebonden door de zwaartekracht. Daardoor heeft iedere luchtlaag een zeker gewicht, dat op de lagere luchtlagen drukt. Hoe lager je in de atmosfeer zit, des te hoger is dus de drukkracht

luchtdruk

van de lucht. Om die drukkracht van de lucht op verschillende plaatsen te kunnen vergelijken, bekijkt men meestal de drukkracht, die een 'luchtkolom' uitoefent op een oppervlak van 1 m^2. Deze drukkracht op 1 m^2 heet *de luchtdruk*. Voor berekeningen met andere oppervlaktes kun je een formule gebruiken:

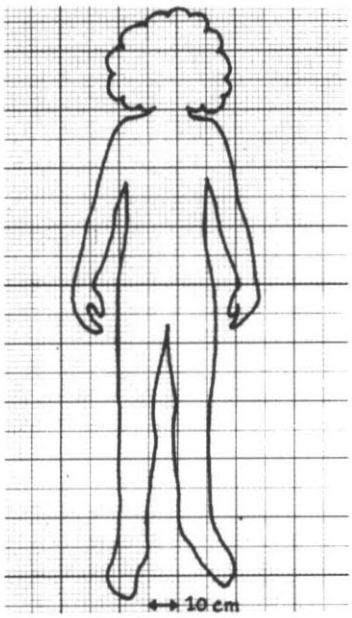
$$p = \frac{F}{A}$$

Daarin is p de luchtdruk, F de totale drukkracht van de lucht en A de oppervlakte.

1 Pa (Pascal) = 1 N/m^2
1 bar = 10^5 N/m^2
1 mbar = 10^{-3} bar = 10^2 N/m^2
1 cm Hg (centimeter kwikdruk) $\approx 1{,}33 \cdot 10^3$ N/m^2
1 atm (atmosfeer) = 76 cm Hg $\approx 1{,}01 \cdot 10^5$ N/m^2

Voor alle duidelijkheid: de luchtdruk werkt niet alleen naar beneden, maar naar alle kanten, ook naar boven. Deze eigenschap van luchtdruk wordt veroorzaakt door de beweeglijkheid van de luchtdeeltjes. Vergelijk het maar met de druk op je oren onder water in een zwembad. Het maakt dan niet uit of je horizontaal of vertikaal zwemt, alleen de diepte is belangrijk voor de druk van het water.

Uit bovenstaande definitie van de luchtdruk volgt de eenheid ervan. De drukkracht van lucht wordt gemeten in N (newton) en het oppervlak in m^2, zodat de luchtdruk wordt gemeten in N per m^2 (N/m^2). Voor het weer is dit een nogal kleine eenheid. Luchtdrukken zijn namelijk op zeeniveau in de orde van grootte van 100.000 N/m^2 = 10^5 N/m^2. In de weerkunde is het daarom gebruikelijk te rekenen met de mbar (spreek uit: millibar): 1 mbar = 100 N/m^2. In de tabel hiernaast staat een overzicht van allerlei eenheden van luchtdruk.



Schatting van het oppervlak van je lichaam.

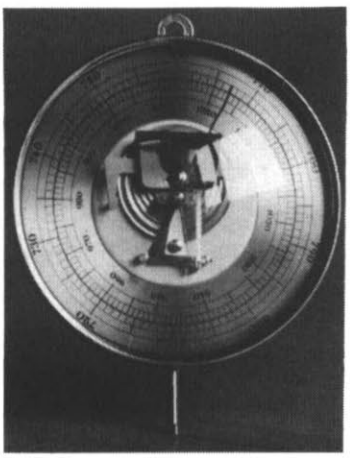
5.
Neem aan dat de luchtdruk om je heen ongeveer 1000 mbar is. Schat het oppervlak van je lichaam (met behulp van de tekening hiernaast bijv.). Bereken de totale kracht waarmee de lucht op je lichaam drukt. Waarom word je eigenlijk niet in elkaar gedrukt?

6.
Schat het oppervlak van je voeten. Bereken met behulp van jouw gewicht de druk (in N/m^2), die jij op de grond uitoefent. Vergelijk dat eens met de luchtdruk van de atmosfeer.

7. LUCHTDRUK METEN

aneroïde barometer

- De luchtdruk kun je meten met een kwikbarometer of met een *aneroïde barometer*. Alleen de laatste zullen we bespreken en gebruiken.
Meet met een barometer de luchtdruk.
Onderzoek of de meetomstandigheden invloed hebben op het meetresultaat (bijv. in het lokaal en buiten, op verschillende hoogtes, in de wind enz.). Vergelijk de omstandigheden eerlijk; dat wil zeggen: varieer ze niet tegelijk.
- Verklaar de verschillen tussen de meetresultaten. Wat lijkt jou de beste meetmethode?

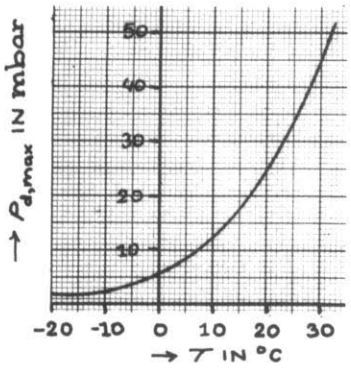

Aneroïde barometer.

Een aneroïde barometer bestaat uit een bijna luchtledig, gegolfd doosje, dat met hefboompjes is vastgemaakt aan een wijzer. Als de luchtdruk verandert, zal het doosje meer of minder worden ingedrukt. De verandering kun je aflezen op de schaalverdeling.

Een professionele luchtdrukmeting moet steeds onder dezelfde omstandigheden plaats vinden; vooral belangrijk is dat er geen tocht of wind is, geen blootstelling aan warmtebronnen en dat de ophanging trillingsvrij is. Op weerkaarten is de luchtdruk steeds omgerekend naar zeeniveau.

8.
- Vergelijk deze omstandigheden met je eigen meetmethodes.
- Waarom wordt de luchtdruk omgerekend naar zeeniveau?

onderzoek 3: vochtigheid
De lucht waarin we leven, bevat een geringe hoeveelheid waterdamp. Toch is deze waterdamp erg belangrijk voor onze waardering van het weer (of we het bijv. 'schraal'



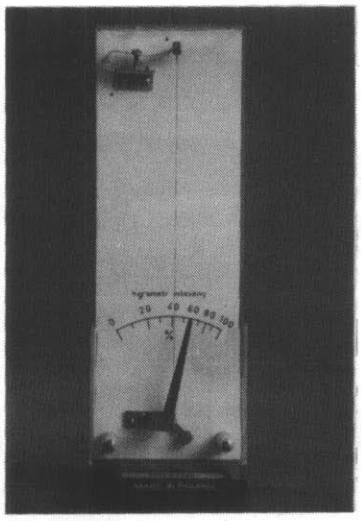
Het verband tussen de maximale waterdampdruk $p_{d,\,max}$ en de temperatuur T.

of juist 'drukkend' weer vinden). Verder speelt de waterdamp in de lucht een grote rol in allerlei weersprocessen, waarbij het ook kan voorkomen in vloeibare en vaste vorm. Waterdamp (de gasvormige fase dus) oefent ook een druk uit: de waterdampdruk p_d. Eigenlijk is deze waterdampdruk een bestanddeel van de totale luchtdruk, hoewel vrij klein: ruwweg tussen 0 en 30 mbar, afhankelijk van de omstandigheden.

Waterdamp heeft nog een bijzondere eigenschap: er kan zich slechts een bepaalde *maximale* hoeveelheid waterdamp bevinden in een ruimte. Die maximale hoeveelheid is bovendien nog afhankelijk van de temperatuur! We gaan daar in paragraaf 2.4 dieper op in.
Bij die maximum hoeveelheid hoort ook een maximale waterdampdruk: $p_{d,\,max}$. In het diagram hiernaast zie je het verband tussen $p_{d,\,max}$ en de temperatuur T.
De verhouding tussen de heersende waterdampdruk p_d en de maximum waterdampdruk $p_{d,\,max}$ bij een bepaalde temperatuur noemt men de *relatieve vochtigheid* e.
Ze wordt meestal in % uitgedrukt. In formule:

relatieve vochtigheid

$$e = \frac{p_d}{p_{d,\,max}} \cdot 100\%$$

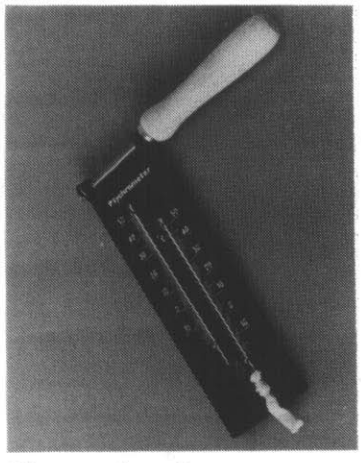


Haarhygrometer.

9.
De temperatuur is 18°C. De dampspanning is 12 mbar. Bereken de relatieve vochtigheid. (Gebruik daarbij het diagram met het verband tussen maximum waterdampdruk en temperatuur.)

10.
Wat zal er gebeuren als er 'te veel' waterdamp in de lucht zit? Ken je daar een voorbeeld van?

Er zijn twee belangrijke meters om de relatieve vochtigheid te meten: de haarhygrometer en de psychrometer.
Bij de *haarhygrometer* wordt gebruik gemaakt van het principe, dat een mensenhaar van lengte verandert als de luchtvochtigheid verandert. Belangrijk is bij dit instrument, dat hij regelmatig geijkt wordt: 100% aangeeft als de lucht verzadigd is met waterdamp. Dit ijken kan uitgevoerd worden door de hygrometer in een vochtige handdoek te wikkelen. Ook kun je hem in een afgesloten zak hangen, waarin wat water op de bodem ligt.
Met de psychrometer wordt de relatieve vochtigheid op een indirekte manier gemeten.



Slingerpsychrometer.

Een psychrometer bestaat uit twee thermometers. Met de ene, de 'droge' thermometer, wordt de luchttemperatuur gemeten. Om het kwikreservoir van de andere thermometer is een kousje gewikkeld, dat nat moet zijn. Het principe is nu als volgt. Als de lucht niet met waterdamp is verzadigd, zal er uit het vochtige kousje water verdampen. Voor deze verdamping is warmte nodig, waardoor het kwikreservoir afkoelt. Als het temperatuurverschil tussen de 'droge' en de 'natte' thermometer groot is, dan is veel waterdamp verdampt.
De relatieve vochtigheid is dan dus laag!

Om niet in de war te raken, zullen we verder alleen met de haarhygrometer metingen verrichten.

11. RELATIEVE VOCHTIGHEID METEN

- Bepaal met de haarhygrometer de relatieve vochtigheid.
Onderzoek of de meetomstandigheden invloed hebben op het meetresultaat (bijv. binnen of buiten, in of uit de wind enz.). Vergelijk de omstandigheden eerlijk; dat wil zeggen: varieer ze niet tegelijk.
- Verklaar de verschillen tussen de meetresultaten. Wat lijkt jou de beste meetmethode?

Een professionele meting van de relatieve vochtigheid gebeurt met een psychrometer. Er wordt voor gezorgd, dat er een bepaalde konstante luchtstroom is langs de psychrometer en dat er een konstante bevochtiging is van het kousje.

12.

- Vergelijk deze meetmethode met je eigen metingen.
- Waarom zou men de voorkeur geven aan de psychrometer boven de haarhygrometer?

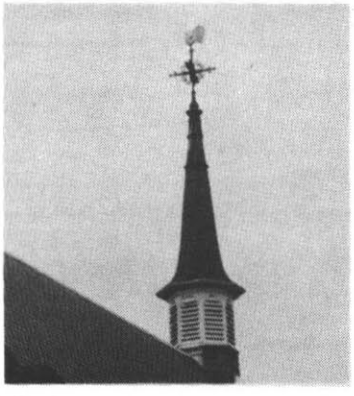
Een natuurkundige grootheid, die een grootte èn richting heeft, noemt men een vector, *net als in de wiskunde. In tekeningen geeft men zo'n grootheid vaak weer met een pijl.*

windrichting

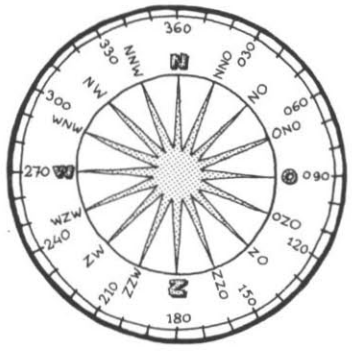
windvaan

onderzoek 4: wind

Vooral voor de scheep- en luchtvaart is de wind een belangrijke weersgrootheid. Eigenlijk gaat het om twee eigenschappen van wind: de windsnelheid (een getal) en de windrichting.
Om de *windrichting* te meten wordt de bekende *windvaan* gebruikt. Andere, simpele hulpmiddelen zijn bijv. een rookpluim, papiersnippers of een wimpel.
In het dagelijkse spraakgebruik hebben we het bijv. over een westenwind. Daarmee bedoelen we een wind, die waait *vanuit* het westen. In de meteorologie wordt de windrichting meestal aangegeven met een hoek ten opzichte van het noorden. Daarvoor gebruikt men een windroos.



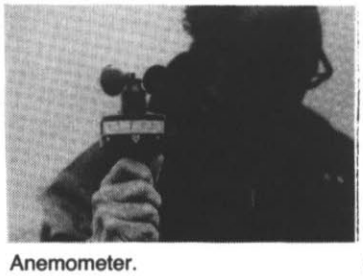
Windvaan.



Windroos.

windsnelheid

De *windsnelheid* is de luchtverplaatsing per seconde. De eenheid is dus m/s. Vaak ook wordt de snelheid opgegeven in km/h. Een veelgebruikte schaal voor windsnelheid (of windkracht, wat eigenlijk een verkeerde naam is) is de schaal van Beaufort. Deze loopt op van 0 tot 12. Elk getal is gekoppeld aan een windsnelheid en aan een beschrijving van de wind op land en op zee. In de tabel op pagina 18 zijn deze beschrijvingen weergegeven, met voor elke windkracht een foto van de bijbehorende golventypes op zee.

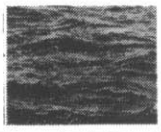
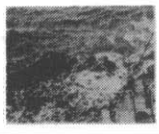


Anemometer.

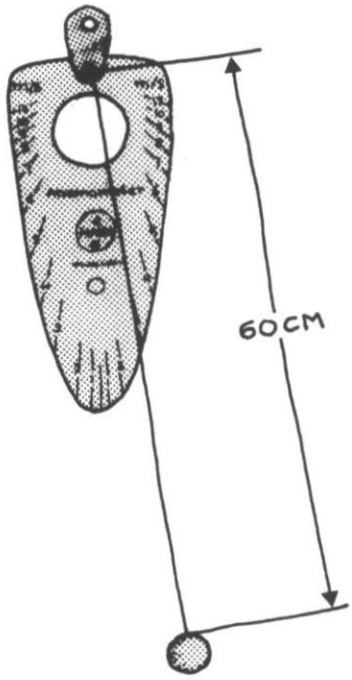
13.
Hoeveel km/h is een windsnelheid van 5,5 m/s?

14.
Een vlaggewimpel waait naar het noordoosten. Wat is de windrichting?

De windsnelheid is te meten met een windsnelheidsmeter of *anemometer*. Deze bestaat uit drie halve bolletjes, draaibaar om een verticale as. Dit asje is verbonden met een raderwerk of met een dynamo. In het eerste geval wordt de snelheid dus mechanisch gemeten, in het tweede geval wordt een elektrische spanning gemeten. Een simpeler,

Schaal cijfer Beaufort	Windsnelheid		Benaming		Beschrijving van de zichtbare uitwerking van windkracht op het zee-oppervlak (schaal van Petersen).	Beschrijving van de zichtbare uitwerking van de windkracht op objecten in het binnenland.
	m/s	m/s				
	gem.	grenzen	boven zee	boven land		
0	0	0 - 0.2	Stilte	Stil	Spiegelgladde zee.	Stil: rook stijgt recht of bijna recht omhoog.
1	0.9	0.3- 1.5	Flauw en stil	Zwakke wind	Golfjes, welke zee een geschubd aanzicht geven. Schuimvorming heeft niet plaats.	Windrichting goed herkenbaar aan rookpluimen.
2	2.4	1.6- 3.3	Flauwe koelte		Kleine, nog korte golven, maar beter gevormd. De toppen hebben een glasachtig aanzicht en breken niet.	Wind begint merkbaar te worden in het gelaat; bladeren beginnen te ritselen en windvanen kunnen gaan bewegen.
3	4.4	3.4- 5.4	Lichte koelte	Matige wind	Kleine golven: de golftoppen beginnen te breken en het hierdoor gevormde schuim heeft een overwegend glasachtig aanzicht, terwijl hier en daar op zichzelf staande witte schuimkoppen kunnen voorkomen.	Bladeren en twijgen zijn voortdurend in beweging.
4	6.7	5.5- 7.9	Matige koelte		Kleine langer wordende golven. De witte schuimkoppen beginnen vrij veel voor te komen. 	Kleine takken beginnen te bewegen. Stof en papier beginnen van de grond op te dwarrelen.
5	9.3	8.0-10.7	Frisse bries	Vrij krachtige wind	Matige golven, van aanmerkelijk grotere lengte. Overal zijn witte schuimkoppen te zien en hier en daar komt opwaaiend schuim voor.	Kleine bebladerde takken maken zwaaiende bewegingen; er vormen zich gekuifde golven op meren en kanalen.
6	12.3	10.8-13.8	Stijve bries	Krachtige wind	Grotere golven beginnen zich te vormen: de brekende koppen doen overal grote witte schuimplekken ontstaan (opwaaiend schuim komt vrij veelvuldig voor).	Grote takken bewegen; parapluies kunnen slechts met moeite worden vastgehouden.
7	15.5	13.9-17.1	Harde wind		De golven worden hoger en het witte schuim van de brekende koppen begint zich als strepen in de richting van de wind te ontwikkelen.	Gehele bomen bewegen; de wind is hinderlijk, wanneer men er tegen in loopt.
8	18.9	17.2-20.7	Stormachtig		Matige hoge golven, met aanmerkelijke kamlengte: de toppen der golven waaien af en vormen goed ontwikkelde schuimstrepen in de richting van de wind.	Twijgen breken af; het voortgaan wordt belemmerd.
9	22.6	20.8-24.4	Storm		Hoge golven: zware strepen schuim in de richting van de wind: de karakteristieke rollers beginnen zich te vormen; het zicht kan door verwaaid schuim worden beïnvloed. 	Veroorzaakt lichte schade aan gebouwen (schoorsteenkappen en dakpannen worden afgerukt).
10	26.4	24.5-28.4	Zware storm		Zeer hoge golven met lange overstortende golfkammen; grote oppervlakken schuim worden door de wind in zulke zware witte strepen verspreid, dat de zee een wit aanzicht krijgt, zware overslaande rollers; het zicht is door verwaaid schuim verminderd.	Ontwortelde bomen; aanzienlijke schade aan gebouwen enz. (komt op land zelden voor).
11	30.5	28.5-32.6	Zeer zware storm		Buitengewoon hoge golven (kleine en middelmatig grote schepen verliezen elkaar in de golfdalen tijdelijk uit zicht); de zee is geheel bedekt met lange, in de windrichting lopende schuimstrepen; de randen der golfkammen verwaaien overal; het zicht is sterk verminderd.	Veroorzaakt uitgebreide schade (komt op land zeer zelden voor).
12	–	> 32.6	Orkaan		De lucht is met schuim en verwaaid zeewater gevuld. De zee is volkomen wit door schuim. Zicht op enige afstand bestaat niet meer	

K.N.M.I. – september 1977.



Windsnelheidsschijf.

maar ook minder nauwkeurig instrument is de windsnelheidsschijf. De stand van het touwtje is daarbij een maat voor de windkracht.

15. WINDSNELHEID EN WINDRICHTING METEN

- Meet met de beschikbare meters zowel windsnelheid als windrichting buiten. Onderzoek of de meetomstandigheden invloed hebben op de meting (vergelijk verschillende hoogtes, een open plaats met een plaats dicht bij een obstakel enz.) Vergelijk de omstandigheden eerlijk; dat wil zeggen: varieer ze niet tegelijk.
Probeer ook de wind te omschrijven en vergelijk je omschrijving met die van de 'Schaal van Beaufort'.
- Verklaar de verschillen tussen de meetresultaten. Wat lijkt jou de beste meetmethode?

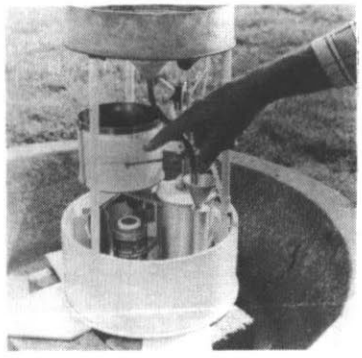
Voor een professionele windmeting zijn de meetomstandigheden voorgeschreven. De windmeetapparatuur moet 'op 10 m boven de grond van vlak en open terrein' worden opgesteld. Hierbij wordt onder open terrein verstaan een gebied waar de afstand x tussen de apparatuur en enig obstakel ten minste 10 maal de hoogte h van zo'n obstakel bedraagt, dus: $x \geqslant 10 \cdot h$.

16.

- Vergelijk deze meetmethode met je eigen metingen.
- Reken na of jouw metingen aan bovengenoemde eis voor een open terrein voldoen.

rapporteren

Als elk onderzoek door tenminste één groep is gedaan, kun je de weersgroothedentabel verder invullen. Rapporteer aan elkaar daartoe de belangrijkste dingen, die je bij je onderzoek hebt gevonden.


Regenmeter.

neerslag, zonneschijn en bewolking

Ook andere weersgrootheden kunnen gemeten worden. Heel kort beschrijven we hieronder nog enige meetmethodes.

Neerslag wordt gemeten met een regenmeter. Dat is een trechtervormige bak van 2 dm^2 doorsnede, waarin de regen, hagel of sneeuw wordt opgevangen. Voor het smelten van sneeuw en hagel is een verwarmingselement opgenomen.
De hoeveelheid neerslag wordt opgegeven in mm.
De verbinding tussen opvangbak en verzamelbak moet nauw zijn, om verdamping van het water tegen te gaan.

Zonneschijnautograaf.

De *zonneschijnduur* wordt gemeten met een zonneschijnautograaf. Dat is een glazen bol, die werkt volgens het principe van een brandglas. De zonnestraling wordt geconvergeerd naar één punt en veroorzaakt zo een brandspoor op een strook karton.
De totale lengte van het brandspoor is een maat voor de zonneschijnduur.

Bewolking.

Kijken naar de *bewolking* is een erg belangrijke manier om te voorspellen hoe het weer zal veranderen. Daarvoor schat men de bedekkingsgraad (in achtsten), men meet de wolkenhoogte en men probeert te herkennen welke soort wolken aan de hemel voorkomen.

oefenvragen

17.
Op een bepaalde dag is de luchtdruk 1025 mbar. Hoe groot is dan de drukkracht van de lucht (in N) op een oppervlak van 1 m^2? Hoeveel water heb je nodig om dezelfde druk op 1 m^2 te krijgen?

18.
Op zee maakt men veel gebruik van de 'Schaal van Beaufort'. Waarom kun je de windsnelheid op een schip moeilijk met een anemometer meten?

19.
Geef in je eigen woorden weer wat een relatieve vochtigheid van 45% betekent. (We komen hier in paragraaf 2.4 nog uitgebreid op terug.)

20.
Op de begane grond in een torenflat is de luchtdruk 1015 mbar. Op de 22e verdieping (64 m hoogte) wijst de barometer 1007 mbar aan. Verklaar dit. Bereken ook de drukafname per meter.

21.
Reken een temperatuur van −23°C om in K.

2.2 WEERKAARTEN

```
LANDSTATIONS
      8  4 1983 0600 UT                                    00-06
    ZICHT  WIND TEMP   RV WEER WOLK LUCHT NEER
           DDFFF          N WW NLMH DRUK  SLAG
210  8000 18006   52  88 7 21 7070  9995    0
235  6000 18005   35  93 7 10 1272  9994    .
240 10000 21006   51  85 7 -- 7072 10001    .
260  8000 17004   50  88 8 21 1571 10004    0
265 10000 19004   36  97 8 -- 155- 10007    .

268  6000 20007   50  87 8 -- ---- 10005    .
270  4200 17005   35  95 7 10 2072 10000    .
275  3000 21005   51  91 8 10 257- 10010    0
280  7000 16006   34  99 7 10 1532 10001    .

290  7000 18009   55  93 8 10 307- 10012    0
310  5000 16009   59  95 8 61 657- 9994     9
325  8000 16006   56  96 8 61 85-- 10001    4
344  7000 19008   61  85 8 60 457- 10002    0

350  3100 19008   57  97 8 60 85-- 10008    0
370  6000 19006   57  91 8 60 357- 10014    0
375  7000 19008   62  94 8 10 257- 10018    .
380 25000 19010   63  84 8 -- 807- 10018    .
```

Weerwaarnemingen in code.

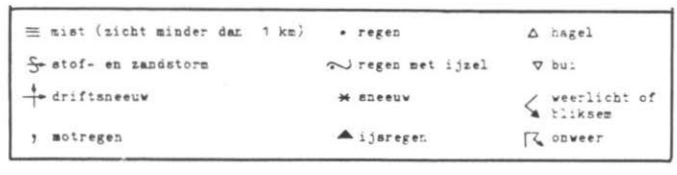
Om een goed beeld te krijgen van het weer in Nederland en daarbuiten, moeten er op een groot aantal plaatsen en gelijktijdig weerwaarnemingen worden verricht. We komen daar in hoofdstuk 6 uitgebreid op terug. Het is natuurlijk belangrijk, dat al die *weerrapporten* snel naar centrale punten, de meteorologische instituten zoals het KNMI in De Bilt, worden doorgegeven. Voor die weerrapporten worden speciale *codes* gebruikt. Een voorbeeld zie je hiernaast.

Om je een indruk te geven van de hoeveelheid informatie in deze regels: de cijfers onder de letters WW vormen op hun beurt een code van 100 beschrijvingen van het weer, compleet met symbolen (zie de afbeelding hieronder). Een echte meteoroloog kent deze code uit zijn hoofd! Zo betekent het cijfer 10 dat er nevel is, en 61 dat het licht en onafgebroken regent.

weerkaart

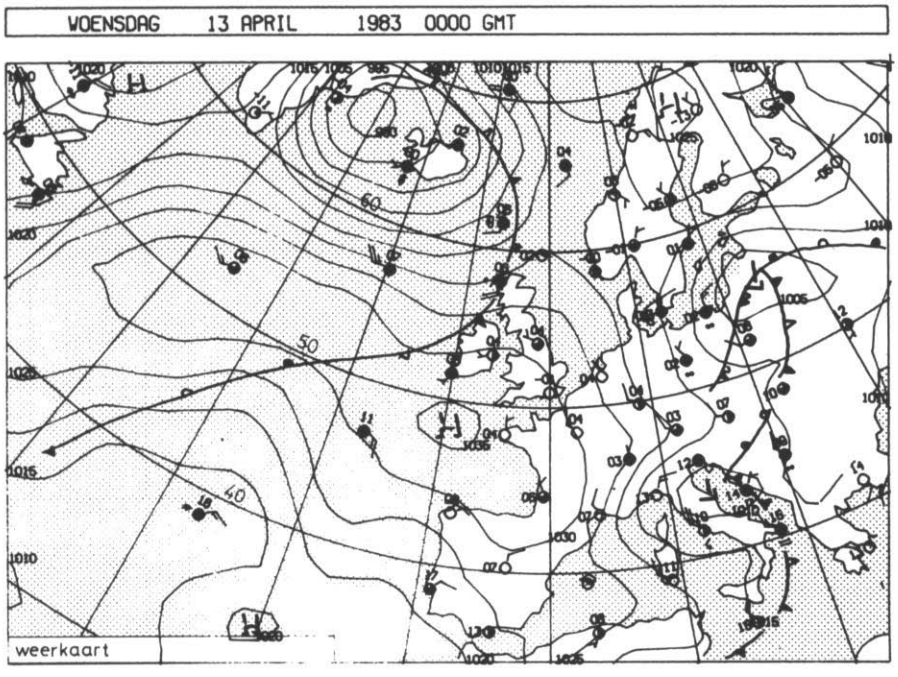
Als deze rapporten van alle stations binnen zijn, kan er een *weerkaart* worden gemaakt. Hiermee heb je een overzicht van het weer in een groot gebied op één bepaald tijdstip.

WW-code.

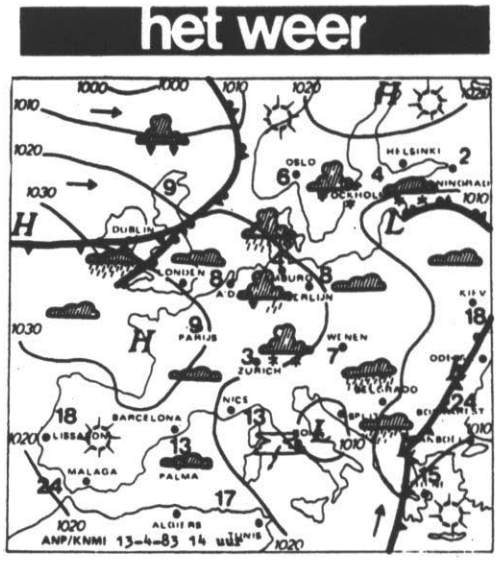


Vereenvoudigde WW-code.

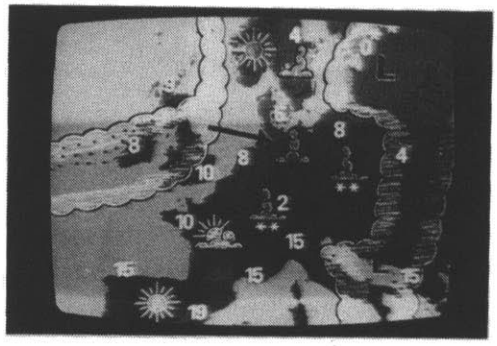
Er zijn weerkaarten in verschillende soorten en maten. De kaartjes die we beter zullen bekijken zijn:
- de geanalyseerde weerkaart van het dagelijks weerbericht
- de weerkaart uit de krant
- de weerkaart van de televisie.



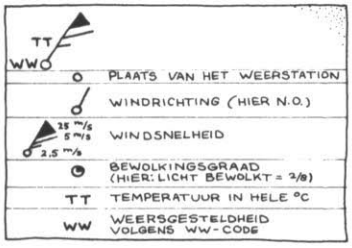
Dagelijkse weerkaart KNMI



Weerkaart uit de krant.



Weerkaart van de televisie.

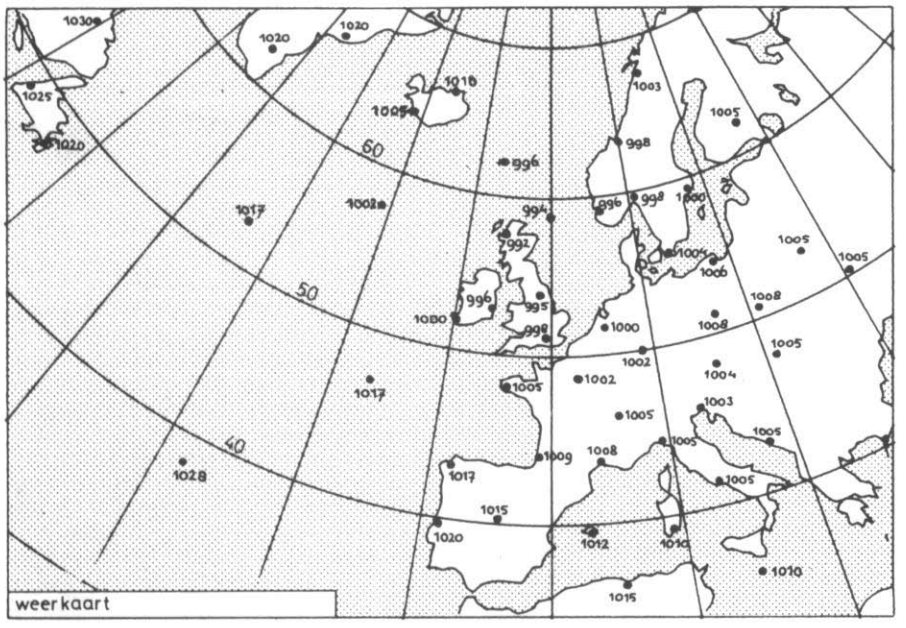


Vlaggetjescode.

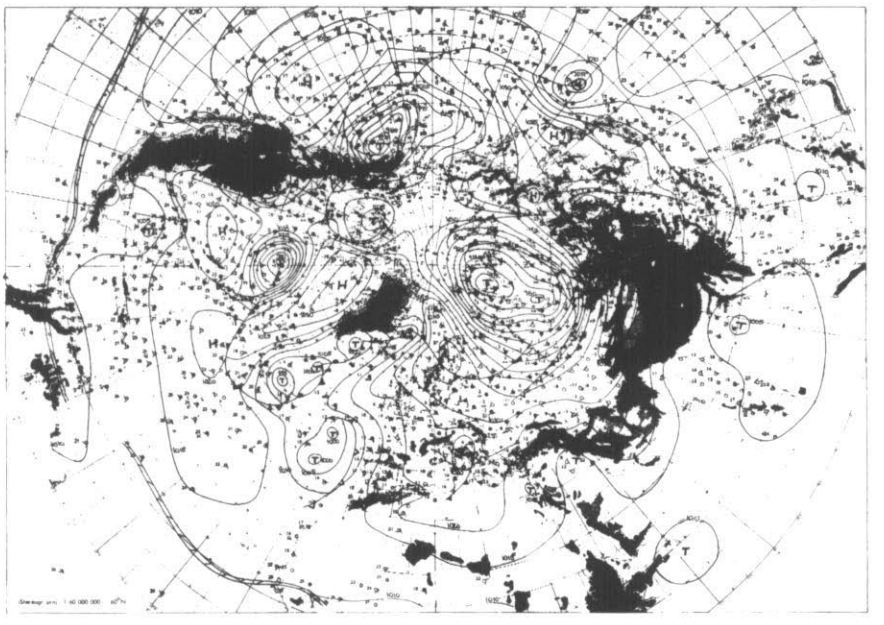
Om de dagelijkse weerkaart te kunnen lezen moet je wel de betekenis van de *vlaggetjescode* kennen. Ook komen op de kaartjes getrokken lijnen voor:
- de dunne lijnen zijn *isobaren*; een isobaar is een lijn, die plaatsen verbindt waar de luchtdruk hetzelfde is (bijv. alle plaatsen met een luchtdruk van 1015 mbar);
- de dikke lijnen geven *fronten* aan, waarop we in hoofdstuk 5 dieper ingaan.

1. WEERKAARTEN LEZEN

- Vergelijk de drie weerkaarten zorgvuldig met elkaar en maak een lijstje van de verschillen in informatie. Welke weerkaart vind je het duidelijkst?
- Beschrijf het weer in De Bilt, Stockholm en Rome (dat wil zeggen: bepaal op die plaatsen de luchtdruk, de temperatuur, de windsnelheid en -richting en de bewolkingsgraad).
- Waar vind je hoge- en waar lagedrukgebieden?
- Wat valt je op aan de windrichting op de Atlantische Oceaan, als je die vergelijkt met de loop van de isobaren? Had je dat verwacht?
- Kun je iets zeggen over de windrichting *rond* een hogedrukgebied? En rond een lagedrukgebied?
- In de tekening op pagina 22 is voor verschillende plaatsen de luchtdruk opgegeven. Neem de tekening over, en schets zo goed mogelijk de isobaren van 995, 1000, 1005, ..., 1025 mbar.



Naast de drie behandelde weerkaarten bestaan er nog andere, die voor de meteoroloog erg belangrijk zijn. Hieronder zie je bijv. een wereldkaart van het weer.
Al deze kaarten hebben betrekking op het weer op de grond. Maar ook de toestand van de atmosfeer op grotere hoogte is van belang om een verwachting op te stellen van de weersveranderingen. Daarom bestaan er ook kaarten waarop de hoogtes zijn aangegeven, waar een druk van 500 mbar heerst. We gaan hier verder op deze kaarten niet in.

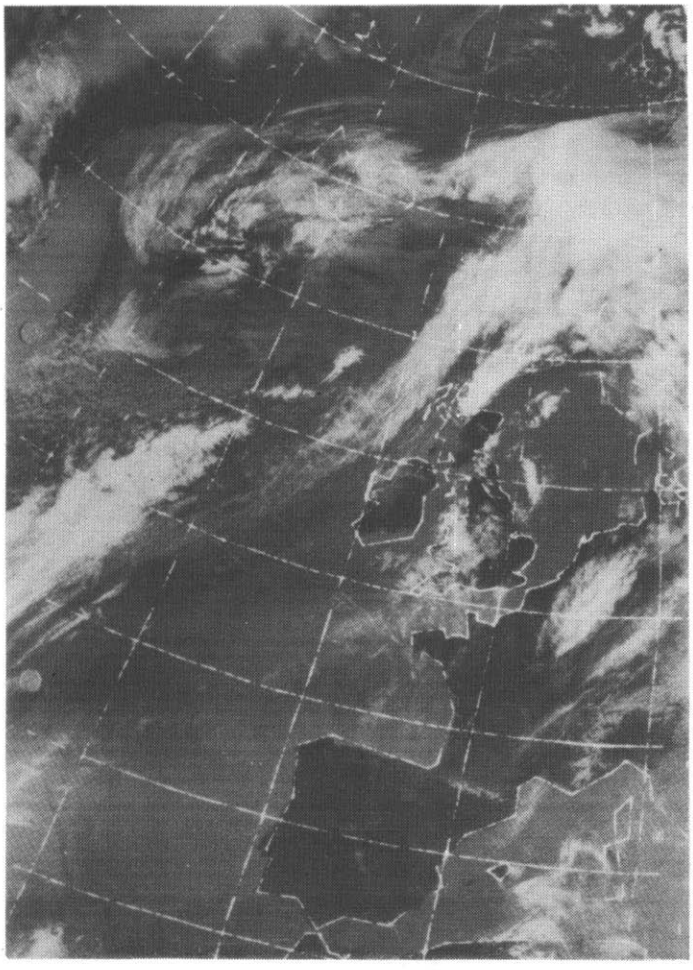


Wereldweerkaart.

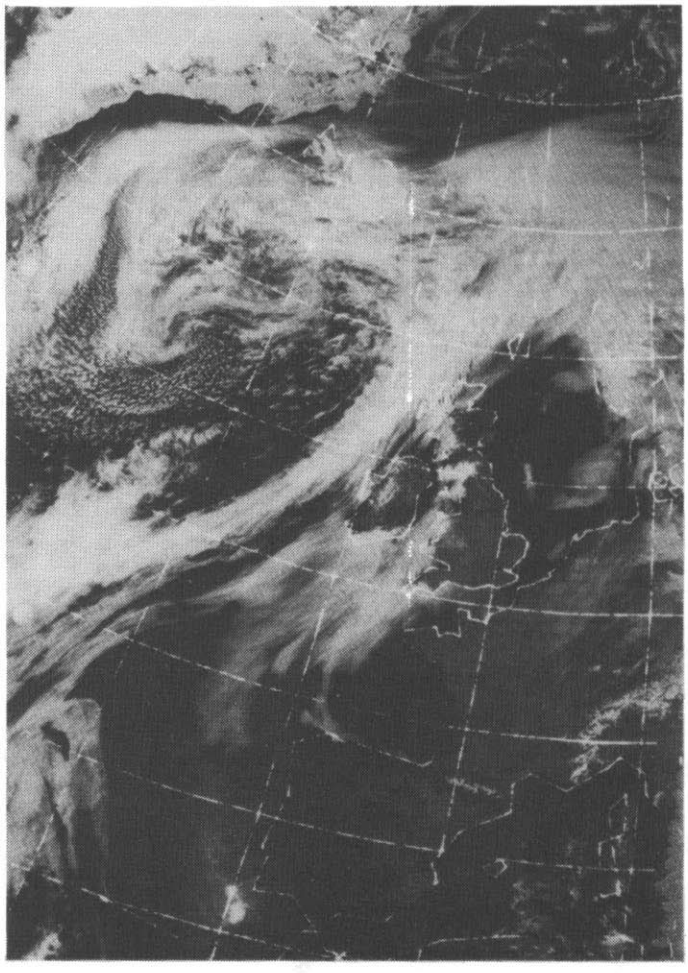
satellietfoto

Een laatste erg belangrijke informatiebron voor de weerkundige is de *satellietfoto*.

Er bestaan twee soorten satellietfoto's:
- daglicht-opnames
- infrarood-opnames.



A



B

Satellietfoto's van de TIROS-N a. Infrarood-opname.
b. Daglicht-opname.

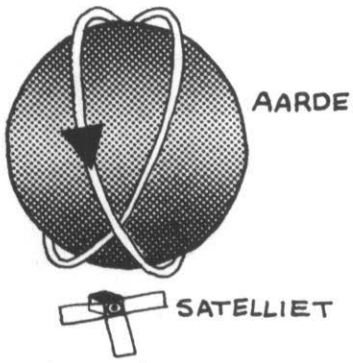
albedo

grond	15 – 40%
grasland	20 – 25%
bos	10 – 20%
water	2 – 70%
(afhankelijk van hoek van inval)	
verse sneeuw	> 90%
oude sneeuw	20 – 30%
wolkendek	≈ 50%

Albedo van diverse oppervlakken.

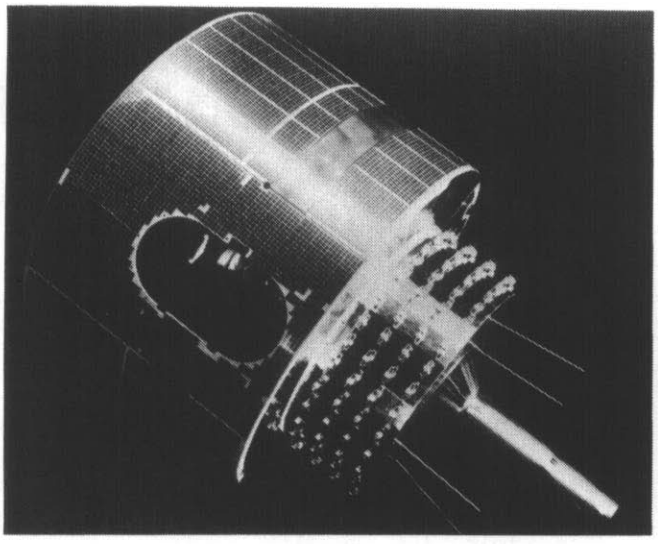
Een daglicht-opname is een gewone foto van het aardoppervlak en de bewolking erboven. Daarbij is belangrijk hoeveel licht in verhouding tot het opvallende licht door een oppervlak wordt teruggekaatst, ook wel het *albedo* genoemd. De tabel hiernaast geeft enkele waarden van het albedo (in %) van diverse oppervlakken.
Een infrarood-opname berust op het principe, dat elk voorwerp infrarood-straling uitzendt. De intensiteit van deze straling is sterk afhankelijk van de temperatuur. Zo is de straling van een voorwerp van 30°C ruim 1½ maal zo groot als die van een voorwerp van 0°C. Deze infrarood-straling wordt daarom ook wel *warmtestraling* genoemd.
De infrarood-opname wordt als negatief gepresenteerd, omdat de warmere gebieden (bijv. land in de zomer overdag ten opzichte van zee) meer infrarood-straling uitzenden en daardoor op het negatief zwarter zijn. Op die manier zijn de twee soorten foto's makkelijker met elkaar te vergelijken.

Satellietfoto's worden gemaakt door twee soorten satellieten. Meer daarover vind je op pagina 24 in het kader.

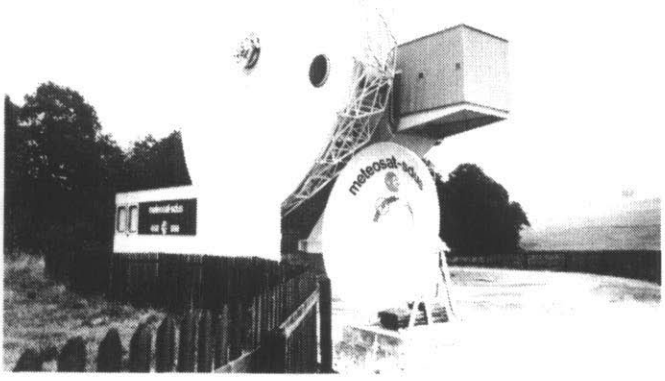


Polaire satelliet.

Er bestaan twee soorten satellieten: polaire en geostationaire satellieten.
Polaire satellieten draaien in bijv. 2 uur om de aarde heen (van pool tot pool). Door de draaiing van de aarde bestrijkt een polaire satelliet bij elke volgende omloop een nieuwe strook van het aardoppervlak. De hoogte van polaire satellieten is tussen 400 en 2600 km. (Ter vergelijking: wolken zweven ruwweg tussen 500 m en 15 km.)
Geostationaire satellieten doen op 35800 km hoogte precies 24 uur over hun baan. Ten opzichte van de aarde lijkt het dan alsof ze stilstaan. De Meteosat (in 1977 gelanceerd) 'hangt' zo boven het snijpunt van evenaar en 0°-meridiaan en seint elk half uur foto's van hetzelfde stuk aardoppervlak naar beneden.



Geostationaire satelliet (Meteosat).



Grondstation.

2. SATELLIETFOTO'S BEKIJKEN

- Zijn de op blz. 23 afgedrukte satellietfoto's in een warm of een koud jaargetijde genomen? (Let op het verschil tussen land en zee.)
- Wolken in hoge luchtlagen zijn erg koud. Zie je deze wolken op de infraroodfoto's wit of eerder grijs?
- Ten zuiden van Ierland is een laag zee-mist. Waarom zie je die op de infrarood-foto nauwelijks?
- Boven Nederland is ook bewolking te zien. Bevindt die bewolking zich hoog of laag en gaat het om een dikke of een dunne laag?
- Hoe is het ijs op Groenland te onderscheiden van bewolking?

3.

- Kun je begrijpen, dat een polaire satelliet na 12 uur weer over hetzelfde stuk land vliegt, maar dan in omgekeerde richting?
- De TIROS-N (waarmee de satellietfoto's op blz. 23 gemaakt zijn) is een polaire satelliet met een omlooptijd van 102 minuten op een hoogte van 870 km. Schat de breedte van de strook aarde, die hij moet waarnemen om in 12 uur de hele aarde te kunnen fotograferen.

Zoals je merkt, is er uit satellietfoto's erg veel informatie te halen. Ook depressies en fronten zijn ermee te lokaliseren. Daar komen we in hoofdstuk 5 nog op terug.

Weersvooruitzichten voor donderdag tot en met zondag.

Eerst zonnige perioden, een enkele bui en middagtemperatuur rond de 9 graden. In het weekeinde kans op regen en mogelijk iets zachter.

Verwachtingen voor:
Donderdag: half tot zwaar bewolkt; neerslagkans 60 procent; temperaturen tussen 3 en 9 graden.
Vrijdag: zonnige perioden; neerslagkans 50 procent; temperaturen tussen 2 en 10 graden.
Zaterdag: neerslagkans 40 procent; temperaturen tussen 4 en 11 graden.

Weersverwachting.

4. WEERBERICHTEN VERZAMELEN

Als je met een thema over 'het weer' bezig bent, zul je de dagelijkse *weerberichten* waarschijnlijk met wat meer belangstelling volgen.
Er zijn verschillende soorten weerberichten, ééndaagse en meerdaagse verwachtingen. Ook zijn er weerberichten voor allerlei verschillende groepen, zoals land- en tuinbouw, zeilers en sportvissers enz., de luchtvaart en strandbezoekers.
In hoofdstuk 6 gaan we weersverwachtingen vergelijken met de werkelijke weersituatie. We gaan het KNMI dan een cijfer geven! Daarom moet je met je klas of individueel een logboek maken van de diverse soorten weerberichten, zoveel mogelijk op opeenvolgende dagen, gedurende ongeveer twee weken. (In plaats van een logboek kun je alle berichten ook per dag ophangen op een muurkrant.) Zorg ervoor dat je de *weersverwachtingen* en de uiteindelijke *weerrapporten* (de volgende dag) bij elkaar houdt.
Maak een onderlinge taakverdeling en goede afspraken over wie wat doet. Wissel de weerberichten ook uit, zodat je een goede indruk krijgt van de verschillende soorten.
Denk aan de volgende bronnen:
- de radio (op verschillende tijdstippen andere berichten, zie de tabel hieronder)
- de televisie (ook op Duitsland en België)
- de telefoon (003)
- de krant
- het dagelijks weerbericht van het KNMI
- een eigen weerstation op school
- een weeramateur in de buurt.

RADIO

In elke korte nieuwsuitzending een *korte verwachting*.

Daarin staat:
- zonneschijn of bewolking
- droog of regen (sneeuw, enz.)
- middagtemperatuur
- waarschuwing bij storm

In elke lange nieuwsuitzending een *lange verwachting*.

Daarin staat:
- zonneschijn of bewolking
- droog of regen (sneeuw, enz.)
- minimum- en middagtemperatuur (evt. nachtvorst)
- windkracht en windrichting
- waarschuwing bij storm en bij hoge of lage waterstand
- waarschuwing voor bos- en heidebrand

Een uitgebreid weeroverzicht wordt uitgezonden op Hilversum 2 (402 m/746 kHz) om:

Uur:	*Bedoeld voor:*
05.45	*land- en tuinbouw, scheepvaart*
06.45	
na nieuws van 07.00/08.00	
12.26	*land- en tuinbouw*
17.55[1)]	*zeilers, sportvissers, enz.*
na nieuws van 20.00	*iedereen met veel belangstelling in 't weer*
na nieuws van 22.30	

Weerberichten op de radio.

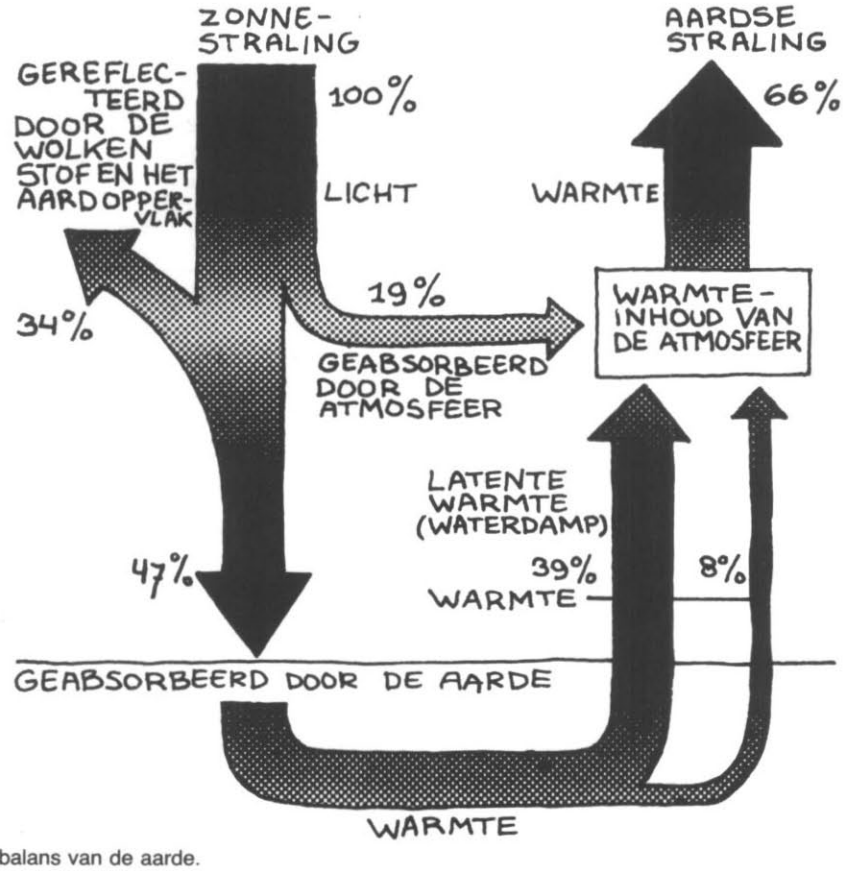
1) op Hilversum 1 (298 m/1007 kHz)

2.3 AARDE EN ATMOSFEER

De atmosfeer is in voortdurende beweging. Wolken drijven over, rook stijgt en er is meestal wel wind. Maar luchtbewegingen worden afgeremd door wrijving langs het aardoppervlak. Er moet dus ook een drijvende kracht (een 'motor') zijn, die de atmosferische bewegingen (de winden) in stand houdt. Die drijvende kracht ontstaat door de *ongelijkmatige verwarming* van het aardoppervlak door de zon. De temperatuurverschillen die daardoor ontstaan, houden de luchtstromingen in stand. Om dit te begrijpen vertellen we eerst iets over de op aarde ontvangen zonnestraling.

De aarde 'onderschept' een totale hoeveelheid zonne-energie van $1{,}8 \cdot 10^{17}$ joule per seconde. (Ter vergelijking: het totale energiegebruik in Nederland bedraagt ongeveer $27 \cdot 10^{17}$ joule per *jaar*.) Toch bereikt deze zonnestraling lang niet in z'n geheel het aard*oppervlak*. De tekening hieronder laat in grote lijnen zien wat er met alle zonne-energie, die op aarde valt, gebeurt. Zo'n plaatje heet een '*energiebalans*'.

energiebalans



Energiebalans van de aarde.

de energiebalans

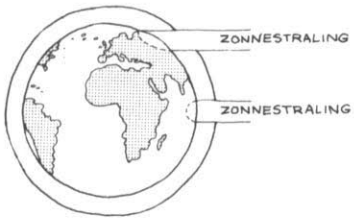
Een gedeelte van de zonnestraling (ca. 34%) wordt *gereflecteerd* door de wolken en door het aardoppervlak (het albedo van de aarde, zie ook paragraaf 2.2). Een gedeelte (ca. 19%) wordt *geabsorbeerd* door de atmosfeer, die daardoor iets wordt opgewarmd. De rest (ca. 47%) wordt geabsorbeerd door de aarde. Als gevolg daarvan *straalt* het aardoppervlak zelf ook weer *uit*. Een groot deel daarvan wordt door de atmosfeer op zijn beurt uitgestraald naar het aardoppervlak, zodat het oppervlak netto ca. 8% aan warmtestraling verliest. Via *verticale luchtstromingen*, waarmee onder andere waterdamp naar boven wordt gevoerd, komt nog eens ca. 39% van de warmte-energie in de atmosfeer terecht.

De zo opgewarmde atmosfeer *straalt* op zijn beurt weer ca. 66% van de energie naar het heelal.

Als je even rekent, merk je dat de totale energiebalans in evenwicht is: er komt evenveel zonnestraling binnen als er aan aardse straling weer wordt uitgezonden.

1. DE ENERGIEBALANS

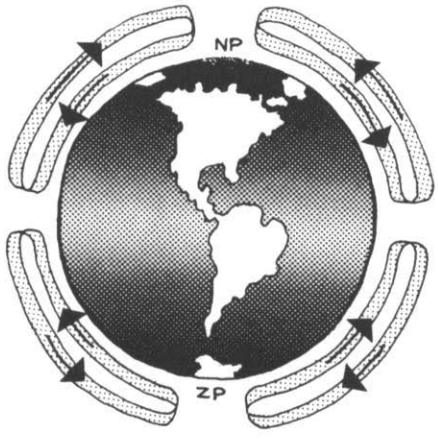
- Hoe lang zouden we in Nederland kunnen doen met de zonne-energie die per seconde op de aarde valt?
- Is er een verschil tussen de aard van de 'zonnestraling' en de 'aardse straling' in het plaatje met de energiebalans van de aarde?
- Wat wordt bedoeld met de term 'latente warmte' (= 'verborgen warmte')?
- Wat voor gevolg zou het voor ons kunnen hebben als we de energiebalans verstoren? Denk je dat dit echt kan gebeuren? Enig idee hoe?



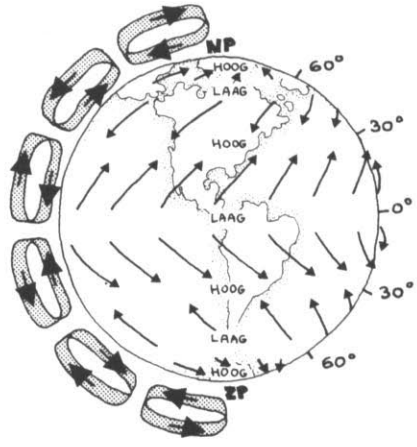
Nu is het zeker niet zo, dat voor elk stukje van de aarde de energiebalans precies in evenwicht is. We hebben al eerder gezegd, dat de aarde niet gelijkmatig verwarmd wordt. Dat heeft met een aantal faktoren te maken:
– draaiing van de aarde om zijn as (vandaar het verschil tussen dag en nacht);
– de breedtegraad (zie de tekening hiernaast): op hogere breedte wordt dezelfde hoeveelheid zonlicht over een groter oppervlak verdeeld;
– de toestand van de atmosfeer: bewolkingsgraad, wind enz.;
– de aard van het bestraalde oppervlak, bijv. zee of land: water zal minder in temperatuur stijgen bij een gelijke hoeveelheid zonnestraling dan land.

kringloop

Vooral het verschil in stralingsintensiteit tussen evenaar en polen heeft gevolgen voor de atmosfeer. Sterk vereenvoudigd voorgesteld zullen er '*kringlopen*' van lucht ontstaan doordat warme lucht aan de evenaar opstijgt en als koude lucht bij de polen weer daalt (zoals in de tekening linksonder). In werkelijkheid zijn deze globale luchtstromingen veel ingewikkelder (zoals in de tekening rechtsonder). Hoewel ze wel belangrijk zijn voor veranderingen in het weer, vooral op langere termijn, gaan we er in dit thema verder niet op in.



Globale luchtcirculaties.



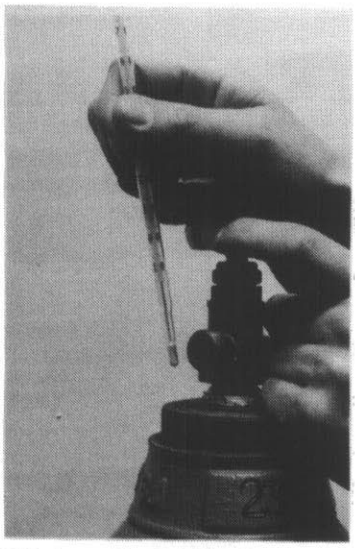
Realistischer model van de luchtcirculaties.

2.
Verklaar dat warme lucht opstijgt en koude lucht daalt.

de temperatuuropbouw van de atmosfeer

troposfeer

In hoofdstuk 1 heb je kunnen zien, dat er grote temperatuurvariaties in de atmosfeer zijn, afhankelijk van de hoogte. Voor weersveranderingen is vooral de *troposfeer*, de onderste 8 à 16 km, van belang. Daar zien we dat de temperatuur afneemt bij toenemende hoogte. Aan de ene kant ligt dit voor de hand, omdat de aarde de atmosfeer van onderaf opwarmt. Maar aan de andere kant: je weet dat warme lucht stijgt, zodat ook de hogere luchtlagen warmer zouden moeten worden!
Om in te zien dat dit laatste niet helemaal opgaat, bekijken we een 'luchtbel' die omhoog beweegt. Bij zo'n 'luchtbel' moet je je een hoeveelheid lucht voorstellen, die om één of andere reden warmer is dan de omringende lucht (bijv. lucht boven een warm zandop-



Cilinder met koolstofdioxide.

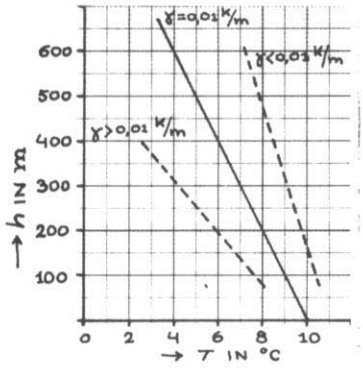
pervlak). Daardoor is de dichtheid van de lucht in de bel kleiner dan van de omringende lucht, zodat hij (net als een kurk onder water) omhoog zal bewegen. Doordat de lucht*druk* hierbij afneemt, zal zo'n luchtbel uitzetten. Dan gebeurt er iets vreemds met de luchtbel: hij *koelt af* door die *uitzetting*!

3. TEMPERATUURVERLAGING DOOR UITZETTING

- Neem een opgepompte fietsband en laat hem via het ventiel leeglopen. Voel met je hand aan het ventiel. Wat merk je?
- Misschien is er een cilinder met koolstofdioxide beschikbaar. Als je hieruit wat gas laat ontsnappen, zal de temperatuur sterk dalen. Probeer de temperatuurdaling te meten.

Uit berekeningen blijkt, dat de temperatuurdaling van een stijgende luchtbel in de atmosfeer 0,01 K per meter is. Door deze afkoeling van stijgende luchtmassa's zal de temperatuur over het geheel genomen dalen bij toenemende hoogte. Bekijken we weer de troposfeer als geheel, dan bedraagt de temperatuurdaling meestal wat méér of wat mínder dan 0,01 K per m hoogteverandering. Er kunnen namelijk ook andere effekten meespelen.
De temperatuuropbouw in de troposfeer kunnen we in een diagram of met een formule weergeven:

$$T_h = T_o - \gamma \cdot h$$

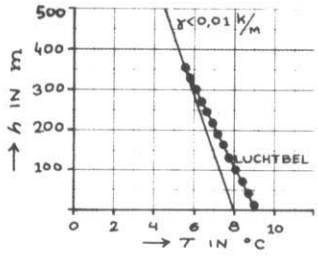


Mogelijkheden voor de temperatuuropbouw van de troposfeer.

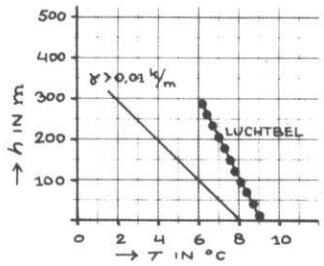
In deze formule is T_h de temperatuur op een hoogte h, T_o de temperatuur op het aardoppervlak en γ de temperatuurdaling per meter ($\approx$ 0,01 K/m).
De temperatuurdaling per meter wordt ook wel de *temperatuurgradiënt* genoemd.
De temperatuuropbouw van de atmosfeer is heel belangrijk voor de stabiliteit ervan. Bij een grote γ is de atmosfeer instabiel, bij een kleine γ is hij stabiel. Wat dat betekent en wat de gevolgen zijn, vind je in onderstaand kader.

4. DE TEMPERATUUROPBOUW VAN DE TROPOSFEER

- Bereken de temperatuur van de atmosfeer op 2 km hoogte, als het 20°C op de grond is en als γ = 0,01 K/m.
- Bepaal uit het diagram met de temperatuuropbouw van de troposfeer de precieze waarde van γ voor de meest schuine grafiek.



Stabiele atmosfeer.

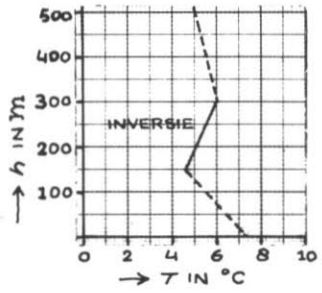


Instabiele atmosfeer.

Bekijk een luchtlaag waarin γ < 0,01 K/m. Stel je een iets verwarmde luchtbel voor die daarin opstijgt. Die koelt door de uitzetting met *precies* 0,01 K/m af. Omdat hij sneller afkoelt dan de omringende lucht, heeft hij op een bepaalde hoogte dezelfde temperatuur als de omringende lucht. Er zal dan geen reden meer zijn om verder te stijgen: de atmosfeer is dus *stabiel*.
Bekijk nu een luchtlaag waarin γ > 0,01 K/m. Diezelfde iets verwarmde luchtbel zal nu nooit de temperatuur van de omringende lucht bereiken: de luchtbel blijft doorstijgen en de atmosfeer is *instabiel*. Wel zal dit tot gevolg hebben, dat de temperatuur in hogere luchtlagen toeneemt. De instabiliteit vernietigt zichzelf!
Zo'n instabiliteit wordt daarentegen ook gemakkelijk opgebouwd, bijvoorbeeld door de verwarming van een stuk grond door de zon. Daardoor worden de onderste luchtlagen opgewarmd.

Een stabiele atmosfeer ontstaat vaak aan het einde van een dag als de bodem afkoelt: er is dan geen opstijgende warme lucht. Een stabiele atmosfeer kun je herkennen aan het wegvallen van de wind (een mooie zomeravond!).

5.
Bij luchtverontreiniging is een stabiele atmosfeer nogal hinderlijk. Verklaar dat. (Zie ook hoofdstuk 7.)



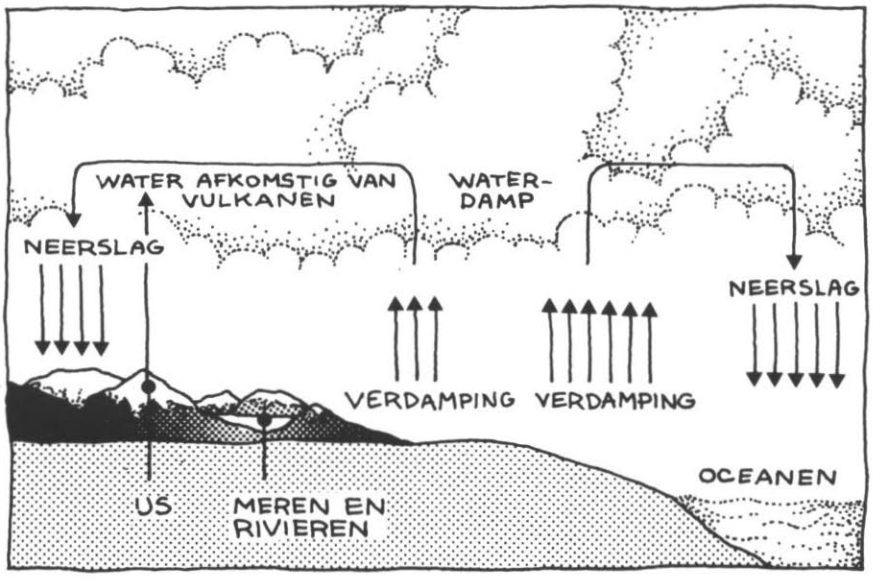
Inversie.

Het kan ook voorkomen dat de temperatuur toeneemt bij toenemende hoogte. Men spreekt dan van een *inversie*. Een dergelijke luchtlaag is ondoordringbaar voor stijgende lucht. Dat heeft bijv. gevolgen voor de vorm van wolken. (Zie hoofdstuk 3.)

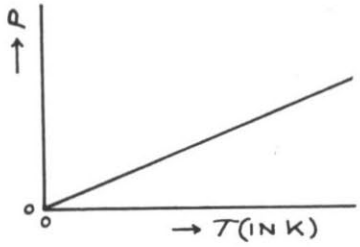
6.
Is een inversie stabiel of instabiel?
Licht je antwoord toe.

2.4 VOCHTIGE LUCHT

Bij het meten van weersgrootheden (paragraaf 2.1) bleek al, dat de vochtigheid van lucht een belangrijke factor voor het weer is. Niet alleen onze waardering, maar ook allerlei weersprocessen met wolken, mist en neerslag worden door de hoeveelheid waterdamp in lucht bepaald.
Je moet hierbij wel bedenken dat de totale hoeveelheid water(damp) in de atmosfeer slechts 0,25% van de atmosferische massa vormt. Stel je voor dat alle waterdamp zou condenseren, dan zou dit maar een *2 cm* dik laagje water over de gehele aarde geven. En als je nu weet dat de gemiddelde hoeveelheid neerslag over de hele aarde 100 cm per jaar bedraagt, dan moet de totale dampvoorraad van de atmosfeer dus zo'n 50 maal per jaar ververst worden. En daarom speelt de waterdamp toch een belangrijke rol.



De waterkringloop.



p-T-diagram voor lucht: de druk *p* van een afgesloten hoeveelheid lucht is evenredig met de (absolute) temperatuur *T*.

We zullen eens wat preciezer naar de eigenschappen van die waterdamp gaan kijken.
Als je in een ruimte een bepaalde hoeveelheid lucht hebt en je verwarmt die lucht, dan zal de druk toenemen (denk maar aan een stoomketel, die kan ontploffen door een te hoge druk als hij te heet is). Het verband tussen druk en absolute temperatuur van de lucht in een *afgesloten* ruimte is zelfs eenvoudig: een tweemaal zo hoge (absolute) temperatuur geeft een tweemaal zo hoge luchtdruk.

Bij waterdamp kan de situatie anders zijn, namelijk: wanneer er in de afgesloten ruimte ook water (vloeibaar) aanwezig is.

1. DE MAXIMALE DRUK VAN WATERDAMP

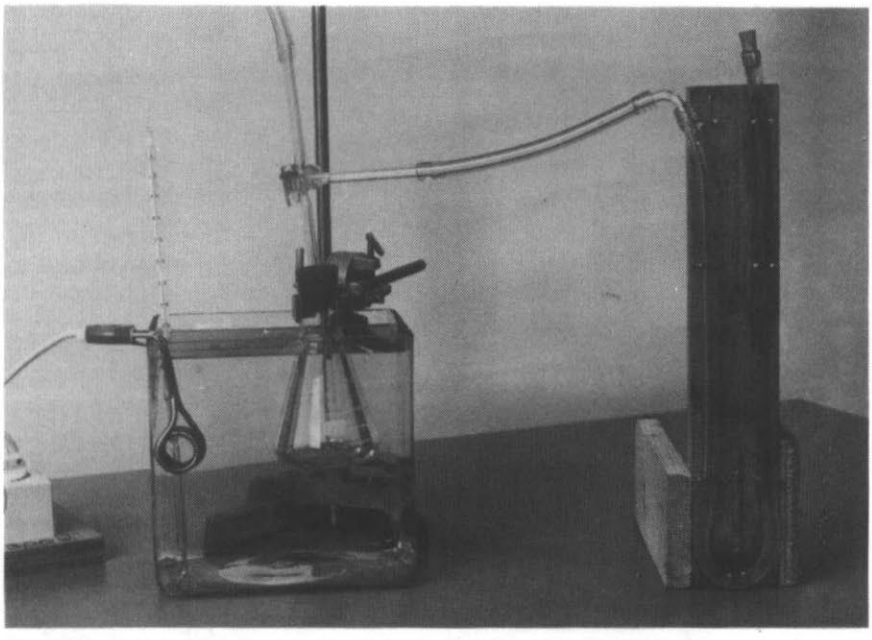
• De werkvraag bij dit onderzoek is: hoe hangt de maximale waterdampdruk af van de temperatuur?

• Voor de proef heb je nodig:

– een erlenmeyer met passende stop en een driewegkraan

– een vloeistofmanometer die geschikt is om lage gasdrukken (< 1 atm.) te meten; het beste werk je met een gesloten kwikmanometer (omdat kwikdamp giftig is, moet je hier wel uiterst voorzichtig mee omgaan!)

– een luchtpomp of een waterstraalpomp



Opstelling voor onderzoek naar de maximale druk van de waterdamp.

– een stevig conservenblik of een aquariumbak waar de erlenmeyer in past (beschermvat)

– een verwarmingselement en een thermometer.

• Bij het begin van de proef moet je ervoor zorgen dat de meetvloeistof in de manometer rechts tegen de afsluiting van het been zit (bij de kwikmanometer is dat al zo). Dit kun je bereiken door het stopje er eerst af te halen, op het linkerbeen blazend de vloeistof tot de rand van het rechterbeen op te persen en dan het rechterbeen af te sluiten.

• Als de erlenmeyer, gevuld met ca. 50 ml water, is aangesloten op de manometer en geplaatst in het beschermvat, kun je met behulp van de luchtpomp (of de waterstraalpomp) voorzichtig de ruimte boven het water leeg zuigen. Sluit de aansluiting op de luchtpomp af (door middel van de driewegkraan) wanneer het hoogteverschil tussen de vloeistofniveaus in de manometer niet verder daalt.

• Giet water in het beschermvat. Breng dit water op een aantal verschillende temperaturen en meet de druk van de waterdamp bij die temperaturen.

• Bepaal welk verband er bestaat tussen de maximumdruk van waterdamp en de temperatuur door deze grootheden in een diagram tegen elkaar uit te zetten. Vergelijk je resultaten met het diagram op blz. 16 of met de gegevens in het tabellenboek.

Wat is er nu de oorzaak van dat deze grafiek sneller oploopt dan het *p-T*-diagram voor lucht? Daarvoor moeten we beter kijken naar de eigenlijke veroorzakers van druk: de bewegende gasmoleculen. Informatie daarover vind je in het kader hieronder.

Vaak kun je de eigenschappen van een stof beter begrijpen door een *modelvoorstelling* van die stof: je stelt je die stof dan voor als een verzameling deeltjes (moleculen), die bepaalde eigenschappen hebben en op een bepaalde manier op elkaar reageren. In een gas zitten die moleculen ver van elkaar, met grote lege tussenruimten. Die moleculen bezitten een grote snelheid en daardoor botsen ze tegen de wanden van het vat waar ze inzitten. Maak je bijv. zo'n ruimte kleiner, dan botsen de moleculen per seconde *vaker* tegen een wand. Wij zeggen dan: de druk wordt groter. Wat gebeurt er nu bij temperatuurstijging? Dan zal volgens het model de gemiddelde snelheid van de moleculen groter worden. Daardoor zullen die moleculen

– *vaker* tegen de wanden botsen

– *harder* tegen de wanden botsen.

En dat betekent dat de druk is verhoogd. Dit is precies wat er in experimenten ook gebeurt: een hogere temperatuur betekent een hogere druk. Volgens dit model is er dus *een rechtstreeks verband tussen de temperatuur en de gemiddelde snelheid van de deeltjes*.

Hoe zit dit nu met water en waterdamp?

Aan het oppervlak van water ontsnappen voortdurend watermoleculen. Hoeveel er per seconde ontsnappen, hangt af van de grootte van het oppervlak en van de temperatuur – bij lage temperatuur gebeurt het minder dan bij hoge temperatuur, maar het gebeurt altijd. Zo kun je verklaren dat water uit zichzelf verdwijnt uit een glas dat je open laat staan. Maar wat gebeurt er als je het glas afdekt? De ontsnapte watermoleculen zwerven wat rond door het glas, botsen tegen de wand en het deksel, komen al zwervend weer bij het wateroppervlak *en kunnen daar 'gevangen' worden door de aantrekking van de andere moleculen die nog in de vloeistof zitten.*

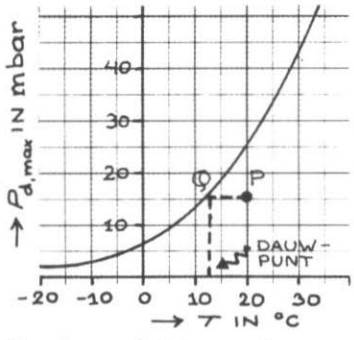
Water en waterdamp in evenwicht.

Als de hoeveelheid vloeistof in het glas niet meer verandert, is er blijkbaar een toestand ontstaan van 'evenwicht': per seconde worden er aan het wateroppervlak evenveel moleculen gevangen als er ontsnappen. We spreken dan van *verzadiging*: de lucht is verzadigd met waterdamp. Eigenlijk maakt het niet eens uit of er wel of niet lucht in het glas zit. Het evenwicht tussen vloeistof en damp is een zaak van watermoleculen onder elkaar. Daarom zeggen we ook wel: *de damp is verzadigd.*

Maken we de temperatuur hoger, dan zullen de deeltjes gemakkelijker uit de vloeistof ontsnappen: per seconde ontsnappen er meer. Het aantal waterdeeltjes in de ruimte boven de vloeistof wordt groter – maar daardoor groeit ook het aantal deeltjes dat per seconde teruggevangen wordt. Na verloop van tijd is er weer evenwicht: de damp is weer verzadigd. Maar het verschil met de vorige verzadigingstoestand is, dat er nu meer dampmoleculen zijn in een gegeven volume. En meer dampmoleculen betekent óók een grotere druk.

We zien dus dat in dit geval temperatuurstijging twee gevolgen heeft:
– de snelheid van de waterdampmoleculen wordt groter; ze botsen vaker en harder tegen de wanden (net als bij luchtdeeltjes) maar *bovendien*:
– er komen meer dampmoleculen in de ruimte boven de vloeistof.

Deze twee gevolgen samen betekenen dat de *verzadigingsdruk* van waterdamp *meer* toeneemt met de temperatuur dan bij de druk van droge lucht het geval is (als er voldoende water aanwezig is). Vergelijk de *p-T*-diagrammen op blz. 16 en 29 maar met elkaar.
Ook het omgekeerde gebeurt: bij afkoeling van verzadigde waterdamp is er een grotere drukdaling dan bij droge lucht, doordat een deel van de damp condenseert.

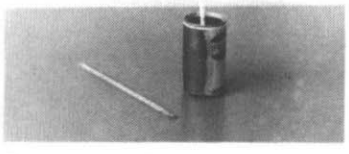


Bepaling van het dauwpunt.

Bij droog weer is de buitenlucht meestal *niet* verzadigd met waterdamp. Stel je voor dat de dampdruk op een lentedag (temperatuur 20 °C) 15 mbar is (punt P in het diagram hiernaast). Wat gebeurt er als de lucht nu afkoelt? Als de waterdampdruk gelijk blijft, zal er een temperatuur bereikt worden, waarbij die druk de verzadigingsdruk is (punt Q in het diagram). Als je nu nog verder afkoelt, dan zal er waterdamp gaan condenseren. De temperatuur waarbij voor het eerst condensatie optreedt heet *dauwpunt*.
Je kunt van het dauwpunt gebruik maken om de relatieve vochtigheid te bepalen.

2. BEPALEN VAN DE RELATIEVE VOCHTIGHEID IN HET LOKAAL

- Voor de proef heb je een leeg conservenblikje, water, ijsblokjes en een thermometer nodig.
- Maak de buitenkant van het blikje goed droog nadat je het half vol met water van kamertemperatuur hebt gedaan. Doe stukjes ijs in het water en roer goed. Bepaal bij welke temperatuur je voor het eerst een condenslaagje op de buitenkant van het blikje te zien krijgt.
- Bereken nu met de gegevens uit het diagram hierboven de relatieve vochtigheid.
- Leg nog eens precies uit waarom er condens ontstaat bij deze proef.



Dauwpunt bepalen.

3.

- Buiten is het 21 °C. De relatieve vochtigheid blijkt 45% te zijn. Bereken de waarde van het dauwpunt.

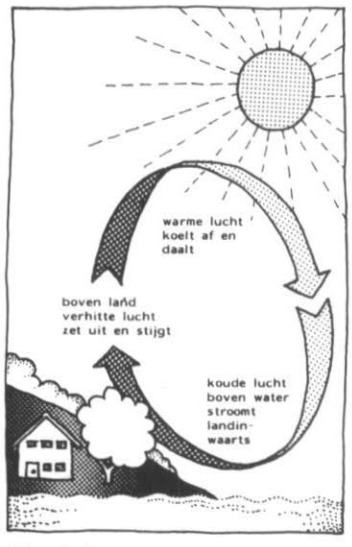
4.

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?

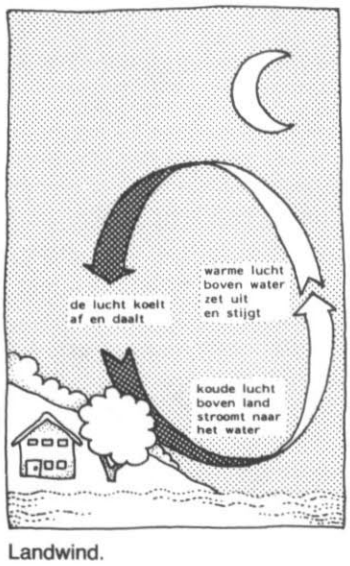
5.
Op een zonnige zomerdag stijgt boven een akker een luchtbel op die een temperatuur heeft van 30 °C en een relatieve vochtigheid van 70%. Als gevolg van het opstijgen daalt de temperatuur van de luchtbel met 1 K per 100 m.

- Bereken de dampspanning op de grond.
- Op welke hoogte zal de waterdamp in deze opstijgende lucht condenseren? (Gebruik het diagram op blz. 31).
- Hoe kun je zien dat er waterdamp gaat condenseren?

2.5 WIND



Zeewind.



Landwind.

Al eerder is opgemerkt, dat de ongelijkmatige verwarming van de atmosfeer luchtstroming (wind dus) tot gevolg heeft (pargraaf 2.3). Welk principe daar nu precies achter zit kunnen we goed achterhalen door naar een eenvoudig voorbeeld van een wind te kijken.

wind door drukverschillen
Als je op een mooie rustige zomerdag naar het weerbericht luistert, dan komt daar bijna onveranderlijk de volgende zin in voor: 'In de loop van de dag aan de kust afkoeling door *wind van zee*'. Het mooie strandweer wordt uitgerekend aan de kust op die manier vaak verpest. Wat is hiervoor de verklaring?
Daarvoor bekijken we de luchtmassa's boven de zee en boven het land langs de kustlijn. Door de voortdurende zonnestraling overdag wordt het land veel sneller opgewarmd dan de zee (zand heeft voor een temperatuurstijging van 1 °C minder warmte nodig dan water; bovendien dringt de straling in water verder door). Het relatief warme land verwarmt, van onderaf, de lucht erboven. Deze verwarmde lucht stijgt op, waardoor de druk in de onderste luchtlagen daalt en in de bovenste stijgt. Daardoor begint in de onderste luchtlagen koelere lucht van zee binnen te stromen, terwijl in de hogere luchtlagen de warmere landlucht de andere kant opgaat. Boven zee gekomen koelt die warmere lucht af, daalt daardoor en stroomt langs de oppervlakte naar het land. Daar wordt ze weer verwarmd en ... de cirkel is rond. Vergelijk deze kleine *kringloop* maar eens met de grote kringlopen op aarde uit paragraaf 2.3.

1. LANDWIND
Het is zeer goed mogelijk, dat er in de loop van de nacht een landwind ontstaat.

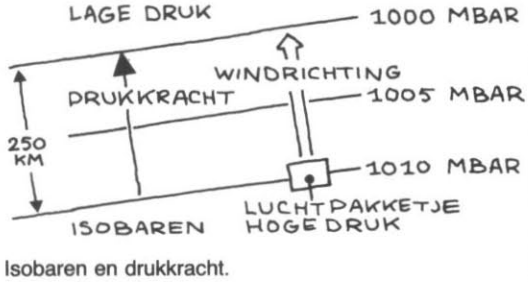
Verklaar zelf de werking van de kringloop, die hoort bij deze landwind.

Het lijkt nu duidelijk, dat een wind ontstaat als er een verschil in luchtdruk is tussen twee plaatsen. (Luchtdruk was immers de drukkracht, die lucht naar alle kanten uitoefende per m^2 oppervlak.) Het lijkt dus simpel. Hieronder zijn drie isobaren getekend. Het getekende luchtpakketje wordt door de drukkracht in de richting van de lage druk 'geblazen'. De windsnelheid zal daarbij groter zijn naarmate het drukverschil per km groter is. De drukverandering per km noemt men ook wel de *luchtdrukgradiënt*:

$$\text{luchtdrukgradiënt} = \frac{\Delta p}{\Delta x} \text{ (in Pa/m)}$$

In de praktijk gebruikt men als eenheid ook wel mbar/km (1 mbar/km = 10^{-1} Pa/m).

HET Δ-SYMBOOL
Als er over de verandering van een grootheid wordt gesproken, geeft men dat meestal aan met het Δ-symbool:
Δp = de verandering van de druk (spreek uit: 'delta-p');
Δx = de verandering in de plaats.



Isobaren en drukkracht.

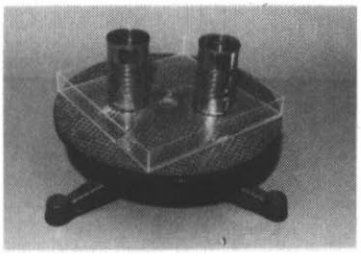
2.
Bereken de luchtdrukgradiënt in de hiernaast geschetste situatie met de drie isobaren.

3.
De 'temperatuurgradiënt' uit paragraaf 2.3 kun je ook als een verhouding van twee grootheden schrijven. Probeer dat en maak gebruik van het Δ-symbool.

de draaiing van de aarde

Toch klopt de windrichting in de situatie hiervoor niet met wat we in werkelijkheid zouden waarnemen. Kijk nog eens naar de weerkaartjes van paragraaf 2.2, en je ziet dat de wind veel meer *langs* de isobaren blaast dan loodrecht erop. De oorzaak hiervan moeten we zoeken in de *draaiing van de aarde*! We zullen dat proberen duidelijk te maken aan de hand van een experiment.

4. ONDERZOEK AAN BEWEGENDE WATERSTRALEN



Draaibare schijf met cilinders.

Op een draaibare schijf zijn twee met water gevulde cilinders opgesteld. Onder in de zijkant van de cilinders is een opening met een kraantje, waaruit water kan spuiten in de richting van het midden van de schijf.

- Open de kraantjes, terwijl de schijf stil staat.

(Probeer niet de deltawerken na te bootsen!)

Waar komen de straaltjes terecht?

- Laat nu tegelijkertijd de schijf draaien.

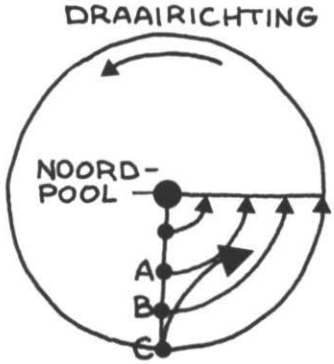
Wat verandert er?

Stel je voor, dat je zelf op de schijf staat. Hoe zou je de straaltjes dan zien bewegen?

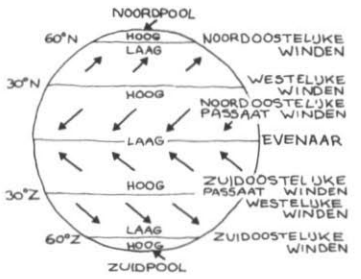
- Herhaal het experiment met de stralen naar de buitenkant gericht.

Coriolis-kracht

Het lijkt dus alsof er een soort kracht op het water werkt, die ervoor zorgt dat het straaltje ten opzichte van de schijf afbuigt. We noemen deze kracht de *Coriolis-kracht*, naar de ontdekker ervan.



Om de Coriolis-kracht te begrijpen, moet je kijken naar de snelheden van de verschillende punten op de schijf. Punt A legt in dezelfde tijd een kleinere afstand af dan punt C. Met andere woorden: de snelheid van C is groter dan van A. Als je nu in C een waterstraal laat spuiten, zal die ook die grotere snelheid van C naar rechts bezitten. Bij het naar het midden bewegen houdt de waterstraal die grotere snelheid naar rechts, terwijl de schijf onder hem als het ware 'achterblijft'. Resultaat: de straal buigt naar rechts af ten opzichte van de schijf. Voor iemand die op de schijf zou staan lijkt het of er een kracht is, de Coriolis-kracht, die de straal afbuigt.

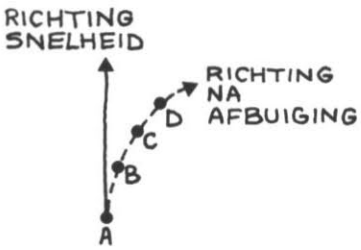


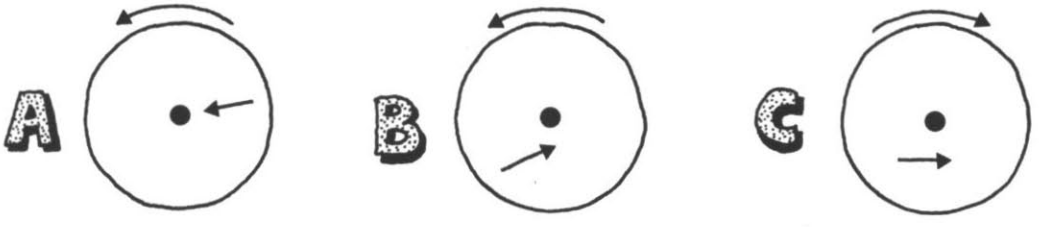
Passaatwinden.

Wat in het experiment met een waterstraal gebeurde, gebeurt op de aarde met bewegende lucht. Stel je maar voor dat de schijf uit het experiment het noordelijk halfrond is en het midden dus de noordpool. Een waterstraaltje *naar* het midden is dan een 'zuidenwind'. Die buigt dus af in de draairichting van de schijf, de aarde. In de tekening hiernaast zie je dit effekt op een noordenwind naar de evenaar toe en ook op winden naar 60 °C noorderbreedte toe. Van de zogenaamde 'passaatwinden' maakten zeilschepen vroeger dankbaar gebruik.

5. CORIOLIS-KRACHT

- In de tekeningen hieronder zie je een luchtstroom op een draaiende aarde. Neem de tekeningen over en geef de richting van de afbuiging aan.
- Waar zal de Coriolis-kracht op een luchtstroom van afhangen?
- Hoe zal de Coriolis-kracht gericht zijn in de punten A, B, C, en D in de tekening hiernaast?



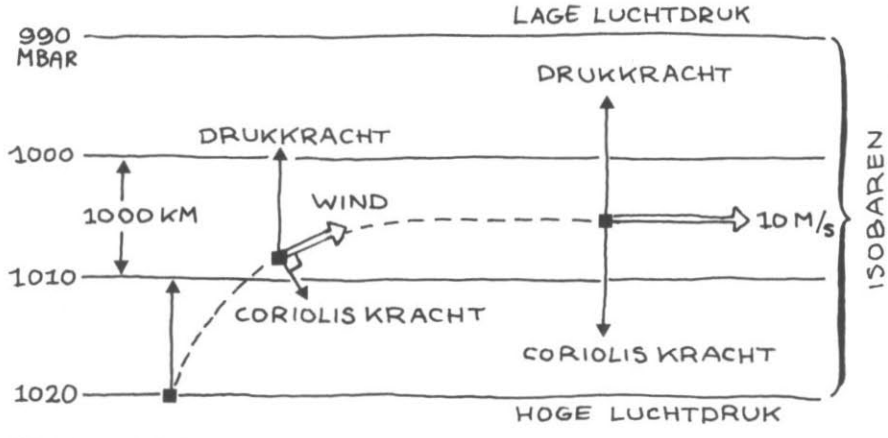


Maar hoe beïnvloedt de draaiing van de aarde nu de gewone winden, die ontstaan door drukverschillen?

wind langs de isobaren

Je hebt gezien dat lucht gaat stromen onder invloed van een drukverschil. Je hebt ook gezien, dat de draaiing van de aarde zorgt voor afbuiging van stromende lucht. Wat zie je, als we deze twee effecten combineren?

Als een luchtpakketje door de drukkracht gaat bewegen in de richting van de lagere druk, zal er een Coriolis-kracht op gaan werken: we geven die aan met een pijl in de



Wind langs de isobaren.

richting waarin hij de bewegende lucht wil afbuigen. Maar omdat de snelheid van de lucht door de drukkracht groter wordt, wordt ook de Coriolis-kracht groter. Er ontstaat een situatie waarin Coriolis-kracht en drukkracht even groot zijn. De lucht blijft dan rechtuit stromen *evenwijdig* aan de isobaren en met een *constante* windsnelheid.

6. WINDSNELHEID

De snelheid van een dergelijke wind is uit te rekenen met een formule:

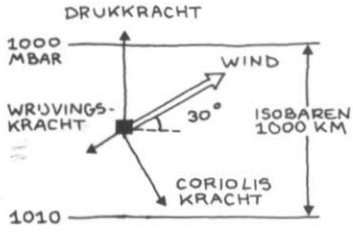
$$v = \frac{1}{\rho \cdot f} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

(Die formule hoef je niet te kennen.)

Probeer de windsnelheid in de situatie van de tekening hierboven eens uit te rekenen!

Gegevens: $\rho = 1{,}3$ kg/m^3 (de dichtheid van lucht)

$f = 1{,}15 \cdot 10^{-4}$ s^{-1} ('Coriolis-parameter')



Wind aan het aardoppervlak.

wind vlak bij het aardoppervlak

Eigenlijk geldt bovenstaand verhaal alleen voor winden, die tamelijk hoog waaien. Dicht bij het aardoppervlak is er namelijk nog een derde kracht, die belangrijk is voor de windrichting: de *wrijvingskracht* met de grond en met andere obstakels. Deze kracht werkt altijd *tegen* de richting van de wind in. Dit heeft een *lagere* windsnelheid èn een verandering van de windrichting tot gevolg. De tekening hiernaast laat dat effect nog eens zien. We gaan er hier niet verder op in.

oefenvragen

7.
Waarom is de windsnelheid boven zee vaak groter dan boven land?

8.
Hoe komt het dat je in het bos meestal zo weinig merkt van wind?

9.
Op de dagelijkse weerkaart van het KNMI op blz. 21 kun je de windrichtingen op verschillende plaatsen aflezen. Vergelijk de windrichting boven land eens met een windrichting boven zee. Verklaar de verschillen.

10.
De windsnelheid boven zee kun je met de formule uit vraag 6 en de ligging van de isobaren uitrekenen. Je kunt dat eens proberen. (Moeilijk!)

11.
De beroemde wet van *Buys Ballot* wordt wel zo weergegeven: Iemand, die op het noordelijk halfrond met de *rug* in de wind staat, heeft de hoge druk rechts schuin achter zich. Controleer deze wet nu met behulp van de tekening op blz. 34.

2.6 WEER KIEZEN

Je hebt in dit hoofdstuk 2 een aantal basisbegrippen geleerd, basisproeven gedaan en globaal gezien hoe bepaalde weersgrootheden met elkaar samenhangen.
Dat kun je gebruiken bij de nu volgende hoofdstukken 3 t/m 5. Het is de bedoeling dat je één van deze drie hoofdstukken uitkiest, om je daar met een groep een aantal lessen (bijv. drie) in te verdiepen. Hoofdstuk 3 gaat over *wolken*, hoofdstuk 4 over *neerslag* en hoofdstuk 5 over *fronten en drukgebieden*.

Hoe kun je daaruit kiezen?
Misschien heb je bij voorbaat al een bepaalde voorkeur, op grond van een bepaalde belangstelling. Of je bent in hoofdstuk 2 ergens tegen aan gelopen, waar je wel meer van wilt weten. Er zijn ook kleine verschillen in aktiviteiten in de drie hoofdstukken. Blader ze daarom even rustig door, lees de inleidende paragrafen en bepaal je keuze.
Er is één beperking: elk hoofdstuk moet door tenminste één groep in de klas worden gedaan. Na afloop moet er namelijk over de hoofdpunten uit elk hoofdstuk worden *gerapporteerd*, zodat iedereen van elk onderwerp de belangrijkste dingen weet. Wat die hoofdpunten zijn, vind je aan het einde van elk van de drie hoofdstukken.
Overigens kun je aan het einde van het thema in hoofdstuk 8 nog een keuzeonderwerp *vrij* kiezen.

Tenslotte nog twee *tips*.
– Bedenk van te voren hoe je de beschikbare lessen voor een hoofdstuk verdeelt. Je hebt een aantal aktiviteiten te doen, zoals: een tekst lezen, opdrachten maken, experiment(en) uitvoeren, rapportage voorbereiden.
– Bij het doorwerken van één van de hoofdstukken 3, 4 of 5 zul je wel eens termen of begrippen tegenkomen, die niet worden uitgelegd. Die worden dan namelijk behandeld in één van de andere twee hoofdstukken. Noteer die termen steeds, zodat je er bij de rapportages naar kunt vragen. Op die manier zul je ook de grotere verbanden tussen alle weersgrootheden beter zien.

hoofdstuk 3

WOLKEN

inhoud

		blz.
3.1	inleiding	37
3.2	wolkenvorming	38
3.3	soorten wolken	40
3.4	wolkenmetingen	41
3.5	wolken en het weer	43

wolken

Aan de orde komt:
- waar bestaan wolken uit?
- hoe ontstaan wolken?
- hoe hoog hangen wolken?
- hoe benoem je wolken?
- hoe kun je meten aan wolken?
- wat kun je uit wolken afleiden over weersveranderingen?

Is de hemel al te blauw, spoedig wordt hij dan weer grauw

aktiviteiten:
- bepalen van wolkenhoogte door meting en berekening
- bepalen van wolkensnelheid
- maken van wolkenfoto's
- wolken benoemen
- opgaven

3.1 INLEIDING

Wolken vormen een vertrouwd beeld aan de Nederlandse hemel. Vrijwel dagelijks zijn ze zichtbaar. Hun uiterlijk verandert vaak: kleur, snelheid, grootte, helderheid, hoogte spelen bij dit veranderende uiterlijk een rol. Deze veranderingen zijn een hulpmiddel om weersvoorspellingen op korte termijn te doen: voor boeren, schippers, vissers, molenaars, recreanten en anderen voor wie het weer van grote betekenis is voor hun werk of vrije tijdsbesteding. Naast deze betekenis voor mensen, spelen wolken ook een belangrijke rol in de energiebalans van de aarde (zie paragraaf 2.3) en in de kringloop van het water.

In dit wolkenhoofdstuk komen diverse aspekten van wolken aan bod:
- de samenstelling van wolken
- het ontstaan van wolken
- een wolkenclassificatie
- de hoogte van wolken
- metingen aan wolken
- wolken als weervoorspellers.

1.
Welke spreekwoorden en gezegden ken je, waarin wolken voorkomen?
In sommige van deze spreekwoorden en gezegden hebben wolken een negatieve, in andere een positieve betekenis.
Met welke eigenschappen van wolken hangt dit samen?

2.
Over wolken is door dichters veel geschreven. Ga na of je enkele gedichten kunt vinden (suggesties: Goethe, Gorter, Gezelle, Shakespeare, Henriette Roland Holst). Welke eigenschappen van wolken komen in deze gedichten aan bod?

3.
Wolken kunnen van invloed zijn op stemmingen van mensen. Herken je dat? Zo ja, welke invloed hebben ze op jou of mensen uit je omgeving?

3.2 WOLKENVORMING

samenstelling

Wolken kun je zien doordat ze bestaan uit druppeltjes water en ijsdeeltjes. De meeste van deze druppeltjes zijn erg klein (doorsnede ca. 10 μm). Een cm^3 van een wolk kan enkele honderden druppeltjes van deze omvang bevatten. De druppeltjes zijn ontstaan door condensatie van waterdamp. Dit wijst er op dat binnen een wolk de temperatuur lager (of gelijk) is aan het dauwpunt. De waterdamp is dan verzadigd.

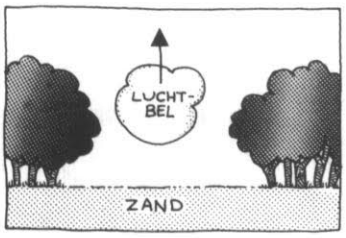
condensatiekern

Nu is verzadiging op zich niet voldoende voor de vorming van druppeltjes. Hiervoor zijn ook *condensatiekernen* nodig. Dit zijn kleine deeltjes met een doorsnede die kan variëren tussen de 10^{-7} en 10^{-3} cm. Deze deeltjes komen veel voor in de lucht. Ze bestaan uit opgewaaid zand, kleideeltjes, zeezout, resten van vulkaanuitbarstingen en uit door de mens geproduceerde deeltjes.

onderkoeling
vrieskern

Een soortgelijk verhaal geldt ook voor ijsdeeltjes. In wolkendelen waar de temperatuur beneden de 0°C ligt, treedt niet onmiddellijk bevriezing op van druppeltjes. Zuiver water kan zelfs vloeibaar blijven bij temperaturen die enige tientallen graden onder 0°C liggen; men noemt dat *onderkoeling*. Voor bevriezing zijn *vrieskernen* nodig. Niet elk deeltje kan als vrieskern werken, omdat aan de kristalstructuur bijzondere eisen worden gesteld.

ontstaan



Opstijgende luchtbel boven een zandvlakte.

De meeste wolken ontstaan als gevolg van de verticale beweging van lucht, waarin zich waterdamp bevindt. Ter illustratie van het ontstaan van wolken, gaan we uit van een luchtbel boven een zandvlakte. Als gevolg van verwarming van de grond door zonnestraling neemt de temperatuur in de bel toe. De luchtbel zet dan wat uit, zodat de dichtheid in de bel lager wordt dan die van de omringende lucht. Daardoor ontstaat een opwaartse kracht op de bel en deze stijgt op. Bij het opstijgen zet de bel verder uit als gevolg van de afnemende luchtdruk met de hoogte.

Dit uitzetten heeft een daling van de temperatuur tot gevolg. Dit is het tegenovergestelde van wat gebeurt bij samenpersing van lucht: dan stijgt immers de temperatuur, net als bij een fietspomp (zie hiervoor ook paragraaf 2.3). De dalende temperatuur in de bel heeft tot gevolg dat de *relatieve* vochtigheid toeneemt, omdat bij lagere temperatuur de maximale dampspanning afneemt (zie paragraaf 2.4).

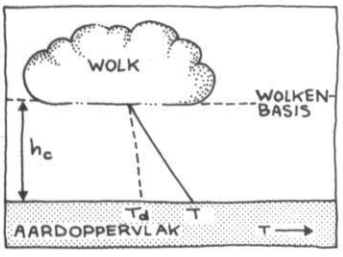
Op een bepaalde hoogte wordt de temperatuur in de bel gelijk aan het dauwpunt, en dan volgt condensatie van een deel van de waterdamp: een wolk wordt gevormd.

wolkenhoogte

wolkenbasis

De hoogte waarop wolken worden gevormd, hangt dus sterk samen met het verschil tussen de aan het aardoppervlak heersende temperatuur T en het dauwpunt T_d. Hoe dichter deze bij elkaar liggen des te lager zal de onderste laag van de wolk, de *wolkenbasis*, zich bevinden. Bij benadering kan deze hoogte vaak worden berekend met de *formule van Ferrel*. Deze luidt:

$$h_c = 120\ (T - T_d)$$

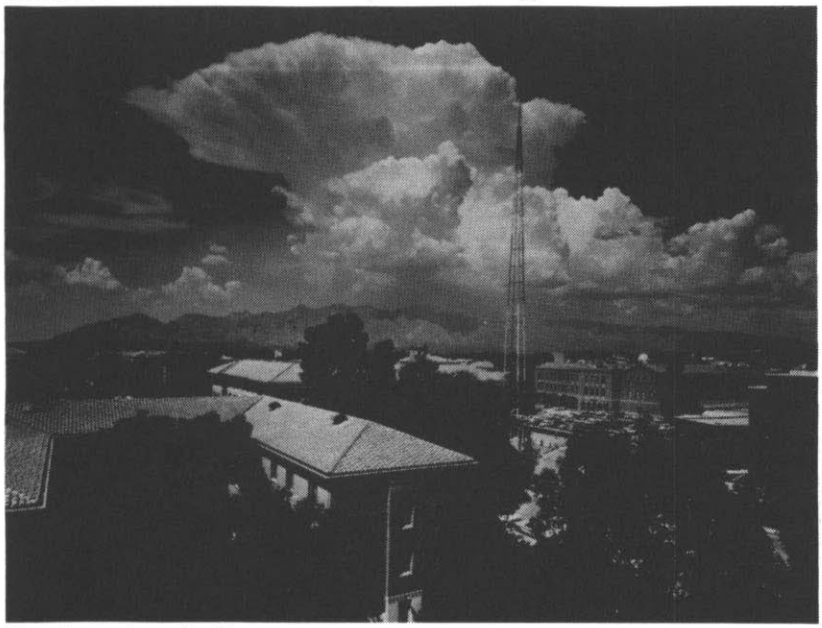


De temperatuur van de lucht neemt meestal af met de hoogte. Ter hoogte van de wolkenbasis heeft de luchttemperatuur de waarde van het dauwpunt.

waarbij T en T_d aan de grond gemeten worden en de wolkenhoogte h_c in meters is uitgedrukt. T_d kan ook worden bepaald uit de relatieve vochtigheid op de manier zoals in paragraaf 2.4 (opgave 3) is beschreven.

Uit deze formule kan geconcludeerd worden, dat de vochtigheid van de lucht aan de grond samenhangt met de hoogte van de wolkenbasis.

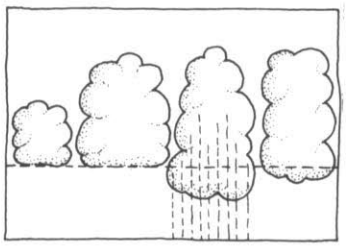
De voorafgaande beschrijving van wolkenvorming is sterk vereenvoudigd. Met verschillende factoren is geen rekening gehouden, terwijl die wel een rol spelen. Dat zijn bijv. de aanwezigheid van stabiele lagen in de atmosfeer en de manier waarop de lucht stijgt.



Cumulus met aambeeld.

Stabiele lagen in de atmosfeer
In stabiele lagen worden verticale bewegingen afgeremd en worden wolken tot uitspreiding gedwongen. Dit heeft grote invloed op de vorm van wolken. Een voorbeeld is te zien bij cumuluswolken. Deze kunnen tot zeer grote hoogte stijgen, zelfs tot de tropopauze. Boven de tropopauze is er een stabiele laag omdat de temperatuur daar met de hoogte *toeneemt*. Winden op grote hoogte ('straalstromen') zorgen dan voor een afplatting: een zogenaamd *aambeeld* wordt zichtbaar.

De manier van stijgen van lucht
Dit kan snel of langzaam (< 0,5 m/s) gebeuren, geforceerd (sterke verwarming, front, bergen) of regelmatig, over een uitgestrekt gebied of lokaal. De mate van stijging wordt mede beïnvloed door condensatie en ijsvorming. Immers bij condensatie en ijsvorming in een wolk komt warmte vrij (zogenaamde *condensatiewarmte* en *stollingswarmte*).
In een wolk betekent dit, dat de temperatuur met de hoogte minder zal dalen dan buiten de wolk het geval zal zijn. Dit kan dus het temperatuurverschil met de omgeving vergroten. Het gevolg daarvan is een grotere instabiliteit die de stijgsnelheid bevordert.



Verlaging van de wolkenbasis bij regenval.

1.
Verklaar de wolkachtige strepen die soms het spoor aangeven van een straalvliegtuig.

2.
Toon aan dat op een hoogte van 45 km in de stratosfeer de vorming van wolken uit waterdamp onmogelijk is.

3.
Bereken hoeveel gram vloeibaar water 1 m^3 van een wolk bevat. Neem aan dat in 1 cm^3 van een wolk 100 druppeltjes met een straal van 10 μm zitten. Gebruik bij je berekening dat het volume V van een bol gegeven wordt door $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$, waarbij r de straal van de bol is.

4.
Hoeveel druppeltjes met een straal van 10 μm zijn nodig om een regendruppel met een diameter van 2 mm te vormen?

5.
Op welke hoogte zal de wolkenbasis zich bevinden wanneer het dauwpunt op het aardoppervlak 14°C is bij een temperatuur van 22°C?

6.
Lees buiten een hygrometer en een thermometer af. Bepaal hiermee het dauwpunt via het dampspanningsdiagram, en bereken de hoogte van de wolkenbasis.

7.
Verklaar waarom de wolkenbasis van een cumulonimbus daalt, zodra er regen uit valt. (Zie de tekening hiernaast)

8.
Waarom vinden vliegtuigpassagiers het vliegen door wolken minder prettig, zelfs als ze niet voor het raampje zitten?

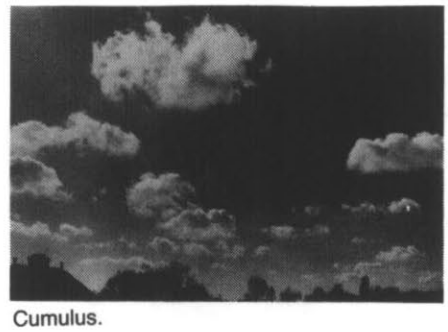
9.
Iemand beweert dat cumuluswolken op den duur hun eigen ontwikkeling belemmeren. Welk fysisch argument ondersteunt deze bewering?

3.3 SOORTEN WOLKEN

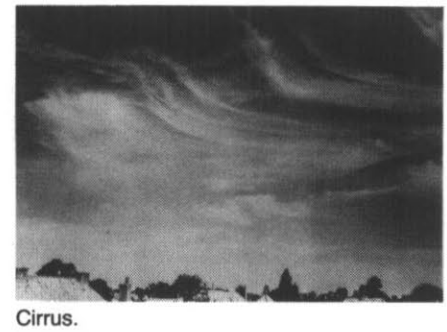
Wolken kunnen in vele vormen voorkomen. Deze vormen hangen samen met verschillende fysische processen in de atmosfeer, die verantwoordelijk zijn voor hun vorming en verdere ontwikkeling. De eerste zorgvuldige indeling van wolken vond plaats in het begin van de 19e eeuw, toen nog geen van deze fysische processen helder werd begrepen. Eén van de eersten op dit gebied was de Engelse apotheker *Howard*, die in 1803 al onderscheidingen gebruikte die nog steeds worden gehanteerd:

cumulus
stratus
cirrus

- *cumulus*: stapelwolken gevormd door lokale opstijging van lucht;
- *stratus*: dekenwolken, gevormd door opstijgende lucht over een uitgestrekt gebied;
- *cirrus*: vederwolken.



Cumulus.



Cirrus.

nimbus

altus

Andere wolkenvormen werden door Howard beschreven met samenvoegingen van deze drie woorden: cirrocumulus, cirrostratus, cumulostratus, cirro-cumulo-stratus (= *nimbus*: regenwolk). Latere onderzoekers betrokken ook de hoogte van de wolken bij de classificatie. Het voorvoegsel *altus* duidt in hun benamingen op wat hogere wolken. De cirruswolken liggen uitsluitend op grote hoogte en bestaan meestal uit ijs.
In onderstaande tabel worden de voornaamste wolkenvormen genoemd, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende hoogten en tussen stratus- en cumulustypen.

Wolkentabel

		lage wolken < 2 km	middelhoge wolken 1-7 km	hoge wolken > 4 km
gelaagde wolken	geïsoleerd	*stratusflarden*	–	*cirrus*
	egaal	*stratus*	*altostratus*	*cirrostratus*
wolken met een golf- of schollenstructuur		*stratocumulus*	*altocumulus*	*cirrocumulus*
verticaal ontwikkelde, meestal geïsoleerde wolken		*cumulus* *cumulonimbus*		*cumulonimbus*

Het is overigens niet altijd eenvoudig om voor alle wolken die men waarneemt een goede keus uit deze namen te maken. Wanneer meteorologen van het KNMI uit hun raam kijken zijn ze het heel wat keren met elkaar oneens.

Nadere informatie over wolkentypen (illustraties en beschrijvingen) is te vinden in:
- M. Minnaert, De Natuurkunde van het Vrije Veld, deel II, Thieme, Zutphen, 1970.
- Wolkenatlas KNMI, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1980.

1.
Probeer gedurende enkele dagen achtereen in de loop van de dag de gevormde wolken te benoemen.

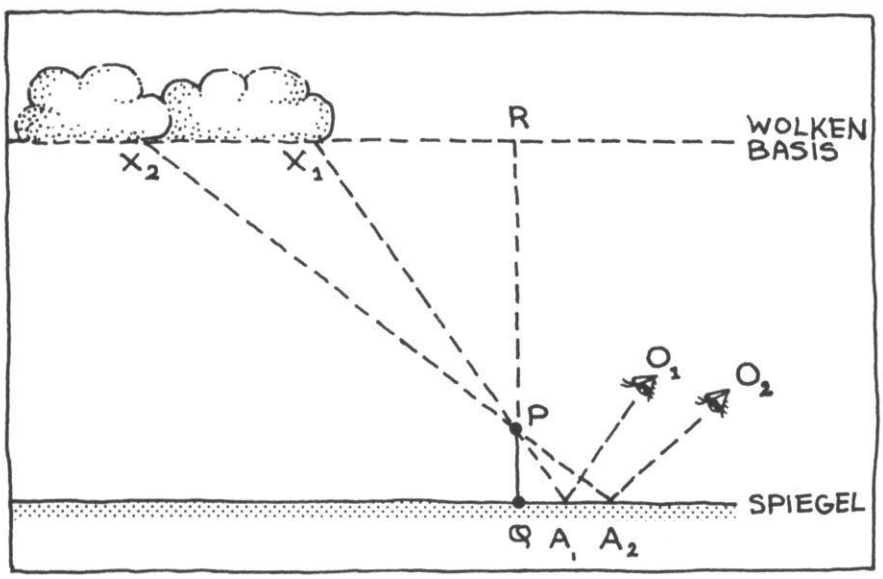
2.
Maak met behulp van een wolkenkaart of -atlas een korte omschrijving van elk van de wolken uit de tabel op blz. 40 (wolkentabel). Houd daarbij rekening met hoogte, ontstaan, grootte, vorm en inhoud.

3.
Ga na waarom sommige wolken donkerder zijn dan andere.

3.4 WOLKENMETINGEN

1. WOLKENSPIEGEL

Met behulp van een vlakke spiegel en een stokje is het mogelijk de snelheid van wolken te bepalen. Deze proef kun je zowel buiten als binnen bij het raam doen. Leg de spiegel plat op tafel en zet het stokje rechtop naast de spiegel. Kies een goed herkenbaar punt van een wolk uit (X_1) en ga zó voor de tafel zitten dat het spiegelbeeld van X_1 samenvalt met de top van het spiegelbeeld van het stokje (P). Je oog bevindt zich dan in O_1. Zet op dat moment een stip op de spiegel (A_1). Beweeg je hoofd zo, dat je het spiegelbeeld van P blijft zien samenvallen met het gekozen punt van de wolk. Zet na 30 seconden een tweede stip (A_2). Ga hiermee enkele minuten door.



Met een wolkenspiegel en een stokje (*PQ*) is het mogelijk de snelheid van wolken te bepalen.

- Bepaal met een kompas en de stippen op de spiegel de richting waarin de wolk beweegt.
- Leid af dat geldt:

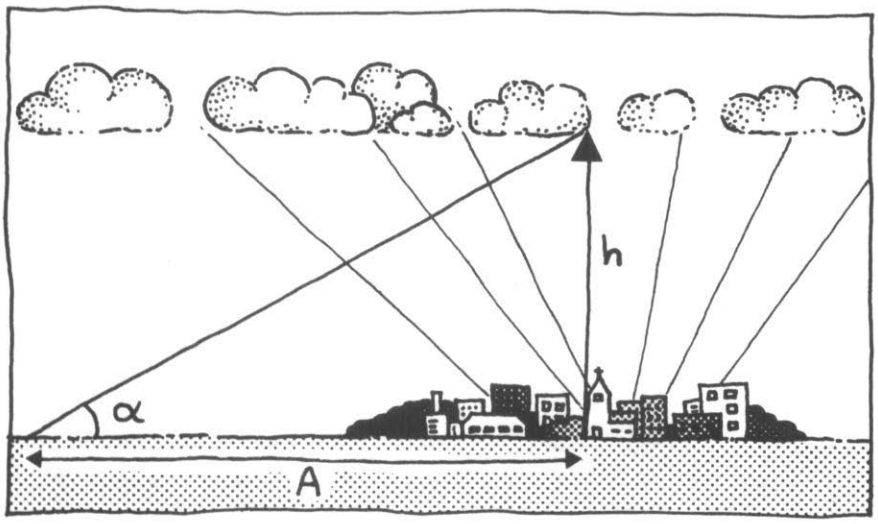
$$\frac{X_1X_2}{A_1A_2} = \frac{PR}{PQ}$$

Daarbij is *PR* de wolkenhoogte, *PQ* de lengte van het stokje, X_1X_2 de afstand die het punt van de wolk in 30 s aflegt en A_1A_2 de afstand tussen de twee punten A_1 en A_2 op de spiegel.

- Maak nu een schatting van de wolkenhoogte op basis van de vorm van de wolk (met behulp van de wolkentabel uit paragraaf 3.3) of door T en T_d te bepalen en de hoogte te berekenen met de formule van Ferrel (zie paragraaf 3.2).
- Bereken de snelheid van de wolk.
- Welke factoren zijn van belang voor de onnauwkeurigheid in de gevonden resultaten?
- Hoe zou je de bepaling nauwkeuriger kunnen doen?

2. WOLKENLICHT

Dit instrument is alleen 's nachts bruikbaar. Het bestaat uit een verticaal schijnend zoeklicht, dat een lichtvlek op de onderkant van het wolkendek werpt. Door op een bekende afstand (bijv. 100 m) van het zoeklicht de hoek a tussen het horizontale vlak en de lichtvlek te meten kan de hoogte van de vlek en daarmee de hoogte van de wolkenbasis worden bepaald.
Als je de beschikking kunt krijgen over een sterke schijnwerper, zou je kunnen



Bepaling van de wolkenhoogte bij avond.

proberen deze proef op een avond te doen.
Bij een gelijkmatige bewolking is een verwante methode bruikbaar, ook als je niet over een sterke schijnwerper beschikt. Daarvoor moet je op een avond door het open veld wandelen. Je kunt dan vaak in de verte de lichtschijn zien van een stad of groot dorp. Deze lichtschijn wordt veroorzaakt door de weerkaatsing van het licht van de stad tegen de gelijkmatige bewolking.

- Bepaal de hoek α tussen lichtschijn en grond. Reken deze hoek om in radialen (1 rad = 57°).
- Bepaal de afstand A (in m) tot de stad met behulp van een kaart.
- Bereken de wolkenhoogte h (met: $h = \alpha \cdot A$).
- Op welke manier zou je deze meting zo nauwkeurig mogelijk kunnen doen?
- Bereken als voorbeeld de wolkenhoogte wanneer je op 7 km van een stadje een hoek α van 6° zou meten.

Zelf een weerballon oplaten.

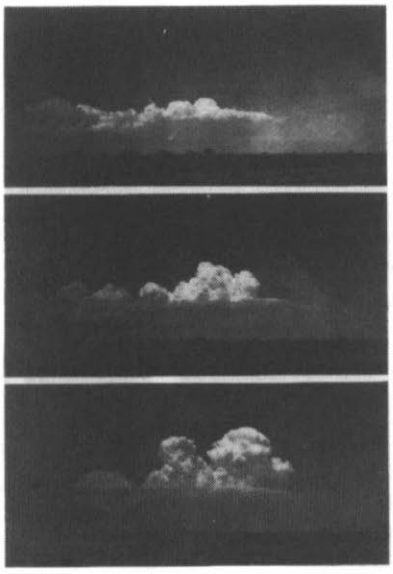
3. WEERBALLON

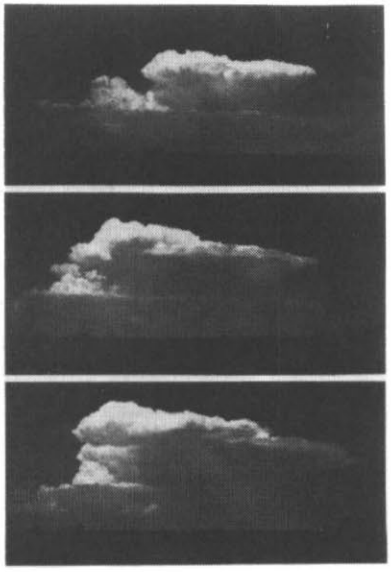
Door een weerballon op te laten en deze te volgen van de grond tot hij in de wolken verdwijnt, kan de wolkenbasis worden bepaald.

- Vul een weerballon met een hoeveelheid gas (He, H_2 of CH_4). Niet te hard oppompen. Wees voorzichtig met H_2 of CH_4.
- Bindt een touw van 10 meter lengte aan de ballon en laat de ballon op terwijl hij aan het touw bevestigd is. Touw natuurlijk wel vasthouden. Meet met een stopwatch de tijd die verloopt tussen het oplaten en het strak spannen van het touw aan de ballon op een windstille plek.

Daarmee kun je de stijgsnelheid van de ballon berekenen. Herhaal deze meting nog viermaal en bereken de gemiddelde stijgsnelheid.

- Vorm twee groepjes, ieder met een prismakijker en een stopwatch. Een groepje loopt een paar honderd meter van de 'lanceerbasis' weg met de wind in de rug.
- Op een afgesproken teken wordt de ballon losgelaten en worden de stopwatches ingedrukt. Volg de ballon met de kijker en druk de stopwatch weer in wanneer de ballon in de wolken verdwijnt.
- Middel de beide tijdmetingen en bereken de hoogte van de wolkenbasis met behulp van de eerder bepaalde stijgsnelheid.
- Vergelijk deze berekening met
  – een bepaling van de wolkenhoogte door meting van T en T_d en door berekening met de formule van Ferrel;
  – een schatting van de wolkenhoogte op grond van de wolkentabel (uit paragraaf 3.3).





4. WOLKENFOTO'S

• Kies een dag uit waarop de bewolking veranderlijk is.
Maak een serie wolkenfoto's waarbij de ontwikkeling van bepaalde wolken zichtbaar wordt. Cumuluswolken zijn hiervoor heel geschikt.
Enkele suggesties voor de opnamen:
– gebruik zo mogelijk een statief
– gebruik een geschikt filter
– kies een tijdsduur tussen de opnamen die past bij de mate van veranderingen van de wolken
– volg een wolk zo nodig door de camera mee te draaien
– sommige filmcamera's bieden de mogelijkheid om de paar seconden een opname te maken; misschien kun je zo'n camera van iemand lenen.

• Noteer de volgende gegevens:
tijdstip, relatieve vochtigheid, temperatuur.
Bepaal hiermee de wolkenhoogte door de formule van Ferrel toe te passen.

• Verzamel met behulp van bijvoorbeeld een wolkenatlas informatie over de namen en karakteristieken van de wolken die je hebt opgenomen. Presenteer deze informatie tezamen met je foto's aan je klasgenoten.

3.5 WOLKEN EN HET WEER

bewolkingsgraad

In het weerbericht wordt aandacht besteed aan de bewolking. Daartoe wordt geschat hoeveel achtsten van de hemel met wolken bedekt zijn: de *bewolkingsgraad*. Verder wordt bepaald welke soorten bewolking zichtbaar zijn. Deze informatie wordt uitgedrukt in de termen uit onderstaande tabel.

Bewolkingstermen

	bewolkingsgraad
veel bewolking	5/8 – 7/8
wisselende bewolking	3/8 – 7/8
licht tot half bewolkt	1/8 – 5/8
weinig bewolkt	< 3/8

Informatie over bewolking wordt tegenwoordig ook verkregen met behulp van satellietfoto's. Depressies (lagedrukgebieden) worden op deze foto's zichtbaar als centra van spiraalpatronen. De wolken bevinden zich in banden van enkele tientallen km breed. Ook zijn op deze foto's gebieden te zien waar lucht sterk opstijgt: koufronten zijn te herkennen aan een wolkenmassa van 100 à 200 km breed en soms wel 1000 km lang.
Aan de grond kan uit de wolkenpatronen veel worden afgeleid over het te verwachten weerbeeld. Enkele voorbeelden:
– Een goed ontwikkelde cumuluswolk leidt vaak tot regen als de randen rafelig worden. Dit wijst op ijsvorming en ijs bevordert de neerslagvorming.
– Een naderende depressie is te herkennen aan ijle cirrus-draden die soms kommavormig zijn. Later gaan die over in cirrostratus (soms gepaard gaande met een krans om de zon). Geleidelijk wordt de bewolking dikker (altostratus). Daarna wordt dit nimbostratus en heeft het regengebied ons bereikt.

– Cumuluswolken met een vlakke onderkant en zonder hoge toppen duiden op redelijk mooi weer.

Veel meer voorbeelden hiervan zijn te vinden in:
– Alan Watts, Zelf weervoorspellen, De Boer Maritiem, Bussum, 1975.

1.
Maak een schatting van de bewolkingsgraad gedurende enkele dagen op een aantal vaste tijdstippen. Vergelijk jouw schattingen met die uit meteorologische bronnen.

2.
Waarom lossen wolken vaak op in het centrum van een hogedrukgebied?

3.
Verklaar de wolkenvorming bij de nadering van een kou- of warmtefront.

rapporteren
Het is de bedoeling, dat je een rapportage verzorgt over je werk aan dit hoofdstuk. Daarbij moet je je vooral richten op de leerlingen, die aan de hoofdstukken 4 en 5 hebben gewerkt.
Let bij het voorbereiden van de rapportage op het volgende.
– Rapporteer over het *werk* dat je hebt gedaan: de gebruikte methode, je resultaten en je conclusies.
– Het is onder andere de bedoeling van de rapportage, dat je klasgenoten er ook iets van *leren*. Je hebt immers een onderwerp bestudeerd, waar zij minder mee te maken hebben gehad in hun hoofdstuk. Besteed daarom aandacht aan de volgende onderwerpen:
– ontstaan van wolken
– wolkenhoogte
– wolkenvormen
– wolken als weervoorspellers.

Hoofdstuk 4

NEERSLAG

inhoud

		blz.
4.1	inleiding	46
4.2	neerslagvorming	46
4.3	soorten neerslag	48
4.4	neerslagmetingen	50
4.5	neerslagverwachting	51

neerslag

Aan de orde komt:
- waarom regent het niet uit elke wolk?
- hoe wordt regen gevormd?
- hoe ontstaan hagel en sneeuw?
- hoe meet je de grootte van regeldruppels?
- wanneer is regen te verwachten?

Hoe verder het zicht, des te dichterbij de regen

aktiviteiten:

- onderzoek doen naar de vorming van sneeuw en ijzel
- rekenen met neerslaghoeveelheden
- metingen aan de grootte van regendruppels
- opgaven

4.1 INLEIDING

Jaarlijks valt in Nederland ca. 770 mm neerslag. Deze neerslag kan allerlei vormen hebben: motregen, regen, hagel, sneeuw, rijp enz. Deze vormen van neerslag vinden alle hun oorsprong in wolken. De vorm die de neerslag aanneemt, is te verklaren uit de toestand in de betreffende wolken en uit de toestand in de onderste laag van de atmosfeer.
In dit hoofdstuk gaan we in op de fysische processen die een rol spelen bij neerslagvorming. Ook komen de verschillende vormen van neerslag aan bod. Tenslotte staan we even stil bij de neerslagverwachting in het weerbericht, een verwachting die van belang is voor uiteenlopende groepen mensen. Dat belang kan soms tegenstrijdig zijn. Denk maar aan zonnebaders en boeren, schaatsliefhebbers en invalide bejaarden, regenkledingfabrikanten en kermisexploitanten.

Als je meer over optische bijverschijnselen bij neerslag (zoals de regenboog) wilt weten, dan kom je niet aan je trekken in dit hoofdstuk. Veel hierover is (voor de liefhebbers) te vinden in:
– M. Minnaert, Natuurkunde van 't Vrije Veld, deel I, Thieme, Zutphen, 1968.

4.2 NEERSLAGVORMING

wolken
Voor neerslagvorming zijn wolken nodig, maar uit lang niet alle wolken valt neerslag. Uit de meeste zelfs niet. Hoe komt dat?
Wolken bevatten vaak heel veel kleine druppeltjes. Met klein bedoelen we hier een straal van ca. 10 μm (0,01 mm). Dergelijke druppeltjes zijn te klein om vallend de aarde te bereiken. Ze zijn immers een gemakkelijke prooi voor opstijgende lucht in de wolken. En als ze wel zover gevallen zijn, dat ze onder de wolkenbasis zijn uitgekomen, dan

zijn ze door hun trage val al lang verdampt in de drogere lucht *onder* de wolk voordat ze op aarde zijn beland (zie ook paragraaf 2.4).

1.
Bereken hoeveel gram vloeibaar water 1 m^3 van een wolk bevat. Neem aan dat in 1 cm^3 van een wolk 100 druppeltjes met een straal van 10 μm zitten. Gebruik bij je berekening dat het volume V van een bol gegeven wordt door $V = \frac{4}{3}\pi.r^3$, waarbij r de straal van de bol is.

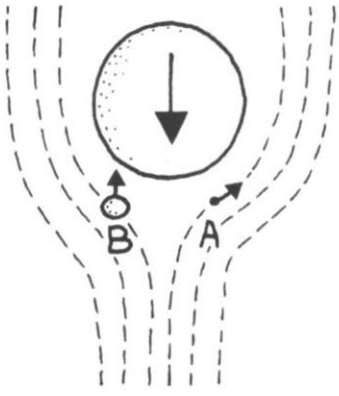
2.
Hoe lang zou een druppeltje met een doorsnede van 20 μm er over doen om vanuit een wolk op 1 km hoogte op aarde te vallen? Neem aan dat de valsnelheid van zo'n druppeltje konstant 1 cm/s is.

neerslagvorming

Wanneer wordt er eigenlijk neerslag gevormd? Aan twee processen voor neerslagvorming zullen we aandacht besteden in deze paragraaf: het *coalescentie-* en het *Bergeronproces*.

coalescentieproces

Het *coalescentie-proces* heeft te maken met het aangroeien van druppels. Daarbij moet je bedenken dat niet alle druppeltjes in een wolk even groot zijn. Hun diameter varieert van ca 1 μm tot enkele tientallen μm. De grotere druppeltjes vallen sneller dan de kleinere en halen deze daarbij in. Drie dingen kunnen dan gebeuren:
– De druppeltjes kaatsen tegen elkaar en vallen afzonderlijk verder.
– Zeer kleine druppeltjes worden meegesleurd door de luchtstroming die ontstaat rond een vallend groter deeltje, botsingen met de allerkleinste druppeltjes zijn dan onwaarschijnlijk.
– De druppeltjes botsen, vloeien samen en vallen als grotere druppeltjes verder. Het samenvloeien noemt men *coalescentie*.



Zeer kleine druppeltjes (A) hebben een grotere kans om een vallende, grote druppel te ontwijken dan minder kleine druppeltjes (B).

Het coalescentie-verschijnsel kan zich vele malen herhalen en doorgaan tot een grote druppel uit een wolk valt.
Uit berekeningen volgt, dat dit coalescentie-proces slechts onder bepaalde omstandigheden op gang kan komen. Voorwaarden zijn dat de wolk minstens 1 km dik is en dat de wolk druppeltjes van ca. 35 μm diameter bevat. Deze laatste voorwaarde is niet eenvoudig te vervullen door gewone condensatie. Wateraantrekkende deeltjes (*hygroscopische* kernen), zoals zoutdeeltjes boven zee, bevorderen de vorming van deze grotere druppels. Overigens speelt het coalescentieproces in de tropen een belangrijker rol dan in het Nederlandse klimaat.

3.
Hoeveel waterdruppeltjes met een straal van 10 μm zijn nodig om een regendruppel met een diameter van 2 mm te vormen?

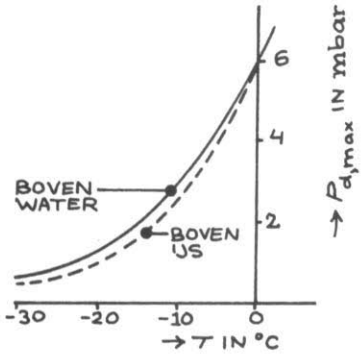
4.
Bedenk verklaringen voor de twee voorwaarden waaraan een wolk moet voldoen, wil het coalescentieproces optreden.

Bergeron-proces

In onze streken speelt een ander proces een belangrijke rol bij neerslagvorming. Dit proces berust op het aangroeien van ijsdeeltjes: het *Bergeron-proces*, genoemd naar de Zweedse onderzoeker die rond 1935 deze verklaring publiceerde.
IJsvorming treedt op in hooggelegen wolkendelen. Meestal gebeurt bevriezing van wolkendruppels niet bij 0°C, maar pas bij veel lagere temperaturen. Wolken bevatten dan ook vaak water met een temperatuur beneden 0°C, zogenaamd *onderkoeld* water. Deze onderkoelde druppeltjes kunnen bevriezen, wanneer ze *vrieskernen* bevatten. Dit zijn dikwijls klei- en leemdeeltjes die in de atmosfeer zweven. De concentratie van deze deeltjes is niet groot: ca. 10 deeltjes per liter lucht. Zonder deze deeltjes kunnen onderkoelde druppeltjes van −40°C voorkomen in wolken.
Wanneer zo'n ijsdeeltje gevormd is, groeit dit vaak aan als gevolg van de verdamping van naburige druppeltjes. Dit aangroeien van een ijsdeeltje wordt bevorderd doordat de

onderkoeling

vrieskern



maximale dampdruk van ijs lager is dan die van water (zie het diagram en de tabel hieronder).

Het verband tussen maximale waterdampdruk $p_{d,\,max}$ boven water en ijs en de temperatuur T

T		−20	−15	−10	−5	0	5	°C
$p_{d,\,max}$	boven water	1,25	1,91	2,86	4,21	6,11	8,61	mbar
$p_{d,\,max}$	boven ijs	1,03	1,65	2,60	4,01	6,11	–	mbar

De dampdruk rond druppeltjes is dus groter dan rond ijskristalletjes. Dat leidt tot een stroming van waterdamp van de druppeltjes naar de ijskristalletjes. In 20 minuten kunnen zo kristallen met een diameter van 1 mm worden gevormd.
Dergelijke kristallen vallen. Tijdens hun val botsen ze met druppeltjes en kleinere kristallen. De druppeltjes vriezen vast en de kristallen blijven na een botsing ook vaak aan elkaar kleven. Steeds meer deeltjes worden zo ingehaald en ingevangen. Als de wolk dik genoeg is ontstaan zo neerslagdeeltjes die de aarde kunnen bereiken.

Valstrepen.

5.
IJsdeeltjes kunnen buiten een wolk voorkomen zonder te verdampen. Verklaar dit met behulp van de maximale waterdampdruk boven water en ijs.
Bij welke relatieve vochtigheid zal een ijsdeeltje nog net niet verdampen wanneer de temperatuur −15°C bedraagt?

6.
Hoe zou men langs kunstmatige weg regenval kunnen bevorderen?

7.
Soms zie je in de verte het verschijnsel, dat valstrepen van buien vóór de grond ophouden. Verklaar dit verschijnsel.

4.3 SOORTEN NEERSLAG

sneeuw

Als gevolg van het Bergeronproces vallen uit sommige wolken ijskristalletjes, meestal in de vorm van vele aan elkaar geklitte kristalletjes: *sneeuw*. Zodra deze sneeuw in een luchtlaag komt met een temperatuur boven de 0°C zal de sneeuw beginnen te smelten.

regen

Een 100 m dikke luchtlaag met een temperatuur boven 0°C is al voldoende om de sneeuw geheel te smelten. Het smeltwater vervloeit tot een *regendruppel*. Op deze wijze wordt in onze streken de meeste regen gevormd.
Deze regen kan afkomstig zijn uit gelaagde bewolking (stratus) of uit stapelbewolking (cumulus) (zie de foto's bij paragraaf 3.3). De aard van de neerslag verschilt echter wel voor beide soorten wolken. Uit stratuswolken valt gelijkmatige neerslag. Cumuluswolken leiden tot ongelijkmatige, buiige neerslag (dat wil zeggen: afwisselend veel en weinig).

motregen

Men spreekt van *motregen* als de druppels een diameter hebben van 0,1 à 1 mm. Grotere druppels noemt men regen.

1.
De volgende vormen van neerslag kunnen optreden wanneer aan bepaalde voorwaarden voor grond- en luchttemperatuur is voldaan:
- droge sneeuw
- natte sneeuw
- ijzel.

Beschrijf voor elk van deze neerslagvormen hoe ze ontstaan.

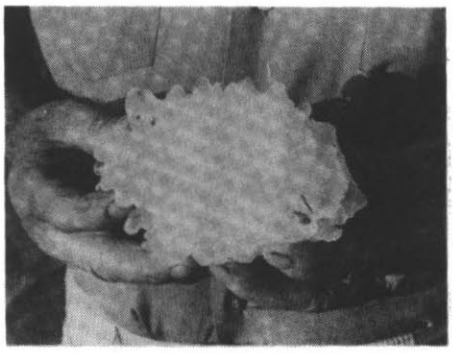
2.
Bereken hoeveel water op een oppervlak van 1 m^2 valt, wanneer de neerslagmeter 1 mm regen aanwijst.

3.
Regentonnen worden vaak te klein gekocht. Hoeveel liter water zou een regenton opvangen van een schuur met een dak van 3 bij 4 m als een wolkbreuk een neerslag van 25 mm tot gevolg heeft.

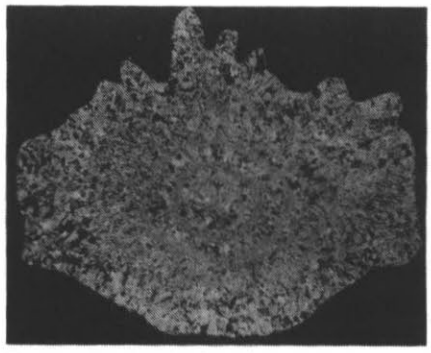
4.
Een grote druppel verdampt minder snel dan eenzelfde hoeveelheid water in de vorm van kleine druppeltjes. Kun je hiervoor een reden bedenken?

hagel

Over het mechanisme van *hagel*vorming bestaat onder vakmensen nog geen grote eenstemmigheid. De meeste hagel begint als een vallend ijskristal. Op zijn valweg raakt het kristal onderkoelde waterdruppels, die vastvriezen aan het kristal. Als dit bevriezen langzaam gebeurt, ontstaat een doorzichtig laagje ijs om het kristal. Bij snelle bevriezing wordt het ijslaagje troebelwit door kleine belletjes. Grote hagelstenen met een diameter van 1 à 5 cm, die in de zomer wel eens voorkomen zijn vaak opgebouwd uit schillen van doorzichtig en troebelwit ijs.



Hagelsteen.



Doorsnede van een hagelsteen.

Dergelijke grote hagelstenen worden gevormd in buienwolken met een grote verticale afmeting: op zijn minst enkele kilometers. In dit soort wolken komen sterke stijgstromen voor, waardoor de groeiende steen wordt opgetild en zo langdurig de gelegenheid tot groeien krijgt. Bovendien bevatten deze wolken veel onderkoeld water.
Hagelstenen kunnen allerlei grootten hebben, tot wel 10 à 15 cm diameter toe. Ook de vormen lopen uiteen: kegel, druppel, ellipsoide enz. Het oppervlak kan glad zijn, ruw of gegroefd. Ook 's zomers kunnen hagelstenen kilometers vallen door lucht boven het vriespunt, zonder veel te smelten.

5.
Waarom krijgen regendruppels zelden een diameter groter dan 3,5 mm, terwijl hagelstenen veel grotere afmetingen kunnen krijgen?

4.4 NEERSLAGMETINGEN

1. ONDERKOELD WATER

Vet een metalen plaat in met paraffine. Besprenkel de plaat met druppeltjes gedestilleerd water. Plaats de plaat in een zeer koude omgeving (bijv. een vrieskist). Ga na verloop van tijd na hoeveel druppeltjes nog niet zijn bevroren. Bedenk een methode om zo'n onderkoeld druppeltje snel te laten bevriezen.
Waarom bevriezen grote druppels meestal eerder dan kleine?

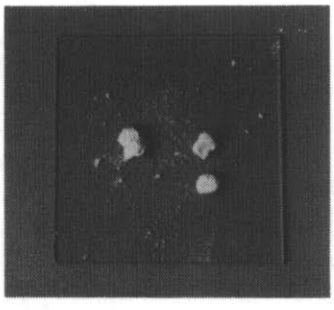
2. GROOTTE VAN REGENDRUPPELS: SPORENMETHODE

Een regendruppel die op een gladde baksteen of op cement valt, laat een spoor na. De diameter D van dit spoor hangt af van de diameter d van de druppel.

Bij benadering geldt $d = \frac{1}{7}D$.

Bepaal bij een regenbui de gemiddelde grootte van de druppels met deze methode.

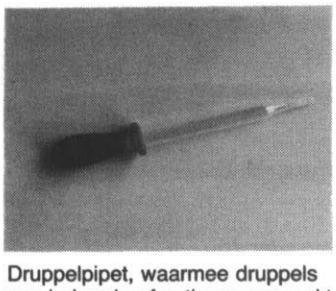
3. GROOTTE VAN REGENDRUPPELS: MEELMETHODE


Meelmethode.

Vul een doosje met een laag droge tarwebloem van een paar centimeter hoog. Zeef de bloem zonodig. Breng het doosje buiten op een plaats waar het niet te veel waait, en geef regendruppels ca. 5 s de kans in de bloem te vallen. Elke druppel vormt in de bloem een bolletje, dat met een vergrootglas duidelijk te onderscheiden is. Wacht tot de bolletjes bloem droog en enigszins hard zijn geworden. Giet ze uit op een zwart papiertje. Door tegen het papier te tikken valt de aankledende bloem van het bolletje af.
Experimenteel is aangetoond dat de grootte van de bolletjes vrijwel gelijk is aan de grootte van de regendruppels.

- Bepaal de afmetingen van de regendruppels.
- Rangschik ze in grootte-orde door ze op millimeterpapier te leggen.
- Ga na of tijdens een regenbui de grootte van de druppels verandert, door bijv. om de 5 minuten de druppelgrootte te bepalen.

4. GROOTTE VAN REGENDRUPPELS: FILTREERPAPIERMETHODE


Druppelpipet, waarmee druppels van bekende afmetingen gemaakt kunnen worden.

Leg een stuk filtreerpapier in een doosje en dek het af. Breng het doosje in de regen en open het deksel: een paar seconden bij een bui, langere tijd als er minder regen valt. Iedere druppel maakt het papier nat en de grootte van de vlek hangt af van de grootte van de druppel. Bestuif het papier daarna binnen met een poederkleurstof, zodat de natte gedeelten van het papier verkleuren. De rest van het poeder kan worden afgeschud om een andere keer weer te worden gebruikt. Bepoeder het papier snel omdat de druppels anders verdampt zijn. Meet de diameter D van de gekleurde vlekken.
Om na te gaan welke druppelgrootte met een bepaalde diameter van een vlek overeenkomt, gebruiken we een druppelpipet. Laat daaruit op een stukje ander filtreerpapier een paar druppels vallen en bepaal de vlekkengrootte.
Meet nu het volume van een druppel door te tellen hoeveel druppels moeten vallen uit de pipet om het water in de pipet met bijv. 5 ml te verminderen.

- Bereken hieruit de diameter d van een druppel.

(Gebruik $V = \frac{4}{3}\pi.r^3$ en $d = 2r$).

- Bereken nu de verhouding $\frac{D}{d}$ voor de druppels uit de pipet.
- Bereken de diameter van de regendruppels.

5. OPBOUW VAN HAGELSTENEN

Druk een hagelsteen tussen twee glazen plaatjes die niet gekoeld zijn. Laat de hagelsteen zo aan beide kanten afsmelten tot er een vrij dun plaatje overblijft. In

Wachten tot ze een ons wegen ...

schuin opvallend of doorvallend licht is de bouw van de hagelsteen het best te zien. Gebruik een vergrootglas en teken de opbouw van de hagelsteen. Geef aan of de lagen doorzichtig of matglasachtig zijn.

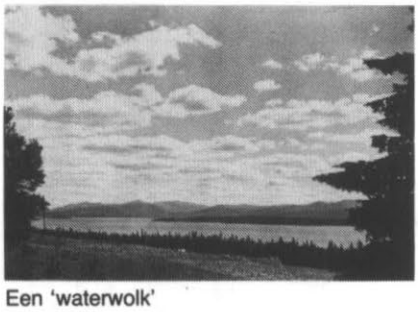
4.5 NEERSLAGVERWACHTING

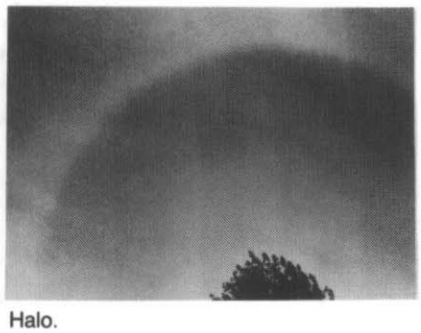
In het weerbericht wordt ondermeer aandacht besteed aan de neerslagverwachting. Vaak worden daarbij termen gebruikt, die de plaatselijkheid van de verwachting aanduiden. Met deze termen wordt dan de kans bedoeld dat op een bepaalde plaats regen valt. In de tabel hieronder vind je enkele van deze termen.

Termen voor de neerslagverwachting

neerslagkans	
0 – 30%	hier en daar slechts op enkele plaatsen slechts enkele verspreid voorkomende
25 – 75%	plaatselijk lokaal
70 – 100%	op vele plaatsen op de meeste plaatsen bijna overal

Het is niet mogelijk om optreden, hoeveelheid en aard van de neerslag zeer nauwkeurig te voorspellen. Er treden daarvoor lokaal te sterke variaties op wat betreft begin, duur en hoeveelheid neerslag. Een rol daarbij speelt onder andere de temperatuur op verschillende hoogten in de atmosfeer.
Er zijn wel een aantal verschijnselen aan de hemel, waaraan een verwachting kan worden ontleend omtrent neerslag. Wolken zijn een voorbeeld hiervan. Uit een dunne bewolking zal weinig regen vallen (vergelijk paragraaf 4.2). Ook uit wolken die geheel uit waterdruppels bestaan, valt zelden regen. Deze 'waterwolken' zijn te herkennen aan duidelijke contrastverschillen (dus opvallende tegenstellingen tussen lichte en donkere plekken). Bovendien zijn hun randen scherp begrensd.


Een 'waterwolk'


Halo.

Vezelige randen.

Wanneer in wolken ijsvorming plaats vindt, worden de randen vezelig en rafelig. Soms vervloeien de randen heel geleidelijk met de omringende lucht. In dit stadium is het neerslagmechanisme op gang gekomen, en kan na ca. een kwartier regen verwacht worden. Neerslag kan ook verwacht worden bij naderende fronten en depressies. Fronten worden vaak voorafgegaan door cirrusbewolking, waarin soms halo's te zien zijn. Vandaar het spreekwoord: 'Ring om de zon, water in de ton'. Halo's doen zich voor in de vorm van kringen en worden veroorzaakt door ijskristalletjes.
Fronten en depressies zijn via satellietfoto's te zien en worden op weerkaarten ingetekend. De snelheden van fronten en depressies zijn van belang voor de duur van de neerslag. Wanneer een depressie blijft hangen in onze streken, kan de regen dagen duren.

Vliegtuig-wolkenspoor.

1.
Ga na welke wolkentypen regen kunnen brengen. Wellicht kunnen klasgenoten die zich met hoofdstuk 3 bezig houden, je op het spoor zetten.

2.
Waarom valt uit dunne wolken geen regen?

3.
Verklaar waarom vliegtuigwolkensporen meestal veel langer zichtbaar blijven dan rookpluimen uit elektriciteitscentrales.

4.
Welke processen zorgen er voor dat naderende fronten en depressies neerslag brengen?
Wellicht kunnen klasgenoten die met hoofdstuk 5 bezig zijn, je hier op het spoor zetten.

5.
In ons land valt gemiddeld 770 mm regen per jaar. Hoeveel m^3 regen valt er dan per jaar in Nederland (Stel het oppervlak van Nederland op 40 000 km^2.)
Ga na of deze hoeveelheid meer of minder is dan het water dat per jaar via de Rijn bij Lobith ons land binnenkomt. (De 'stroomsnelheid' van dat water is gemiddeld 1000 m^3/s.)

6.
Luchtstromen die boven vlak land geen neerslag veroorzaken, kunnen wél regen produceren wanneer ze gedwongen worden om over heuvelruggen te trekken. Verklaar dit verschijnsel.

rapporteren
Het is de bedoeling, dat je een rapportage verzorgt over je werk aan dit hoofdstuk. Daarbij moet je je vooral richten op de leerlingen, die aan de hoofdstukken 3 en 5 hebben gewerkt.
Let bij het voorbereiden van de rapportage op het volgende.
– Rapporteer over het *werk* dat je hebt gedaan: de gebruikte methode, je resultaten en je conclusies.
– Het is onder andere de bedoeling van de rapportage, dat je klasgenoten er ook iets van *leren*. Je hebt immers een onderwerp bestudeerd, waar zij minder mee te maken hebben gehad in hun hoofdstuk. Besteed daarom aandacht aan de volgende onderwerpen:
– coalescentieproces
– Bergeron-proces
– grootte van regendruppels
– neerslagverwachting.

hoofdstuk 5

FRONTEN EN DRUKGEBIEDEN

inhoud

		blz.
5.1	inleiding	55
5.2	fronten	55
5.3	drukgebieden	57
5.4	fronten en drukgebieden op weerkaarten en satellietfoto's	58
5.5	weersverwachting	63

fronten en drukgebieden

Aan de orde komt:
- wat zijn fronten?
- welke soorten fronten zijn er?
- wat zijn hoge- en lagedrukgebieden?
- hoe ontstaan depressies?
- welke gevolgen hebben naderende fronten en drukgebieden op het weerbeeld?

Zoek toch in de vreemde niet, wat uw eigen hoge druk gebiedt

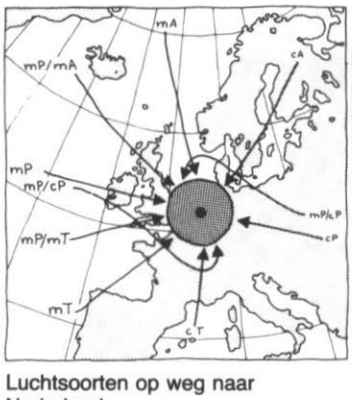
aktiviteiten:

- interpreteren van weerkaarten
- interpreteren van satellietfoto's
- koufront simuleren
- opgaven

5.1 INLEIDING

Vrijwel dagelijks vragen mensen zich af of het weer zal blijven zoals het is, of dat het zal veranderen. De oorzaken van de weersverandering kunnen van lokale aard zijn, maar meestal staan ze in nauw verband met atmosferische verschijnselen die van invloed zijn op een groot gebied. Op een weerkaart zijn enkele van deze verschijnselen in beeld gebracht. Zo'n weerkaart wordt gekarakteriseerd door *fronten* en *drukgebieden*. Fronten worden afgebeeld door dikgedrukte lijnen. Drukgebieden zijn zichtbaar als een soort eilandjes op de kaart, onderscheiden in lagedrukgebieden L (zogenaamde depressies) en hogedrukgebieden H.
In dit hoofdstuk komt aan de orde wat fronten en drukgebieden zijn, hoe ze ontstaan, hoe ze zich verplaatsen en hoe ze van invloed zijn op wind, wolken, neerslag en verticale luchtbewegingen. Met name de samenhang tussen deze verschijnselen komt aan bod. Inzicht in deze samenhang kan van nut zijn bij interpretatie van weersverwachtingen.

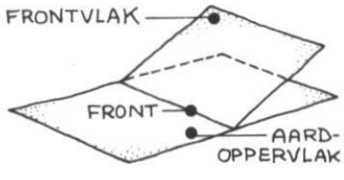
5.2 FRONTEN

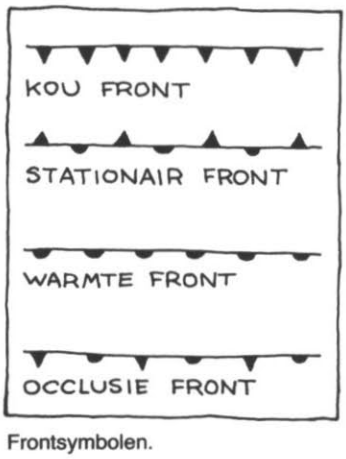


Luchtsoorten op weg naar Nederland.

Door luchtstromingen langs het aardoppervlak worden grote hoeveelheden lucht van verschillende herkomst en met verschillende eigenschappen over grote afstanden verplaatst. Het wisselend karakter van het weer in Nederland hangt nauw samen met wisselingen in de aangevoerde *luchtsoort*. Verschillende luchtsoorten zijn voor ons land van belang:
- *arctische* lucht (A)
- *polaire* lucht (P)
- *(sub)tropische* lucht (T).

Hiernaast zie je de herkomst van deze luchtsoorten. De toevoegsels 'm' en 'c' duiden op maritiem en continentaal, en geven aan of de banen van de toegevoerde lucht over zee of over land lopen. Voor ons land is maritieme polaire lucht het meest belangrijk, vooral in de zomer, herfst en lente.
Bij de verplaatsing van deze luchtsoorten, die elk een verschillende temperatuur en vochtigheid hebben, komen ze elkaar tegen. De luchtmassa's zijn zo omvangrijk, dat ze door een relatief dunne grenslaag van elkaar gescheiden zijn. Deze grenslaag noemen we een *frontvlak*. De snijlijn met het aardoppervlak heet een *front*. Het frontvlak is maar een paar km dik, omdat lucht een slechte warmtegeleider is en omdat menging wordt bemoeilijkt door het dichtheidsverschil tussen koude en warme lucht: de warme lucht stijgt op.
Het frontvlak is niet horizontaal of verticaal maar maakt een kleine hoek (ca. 2°) met het aardoppervlak. Daarbij bevindt zich de warme lucht *boven* de koude.

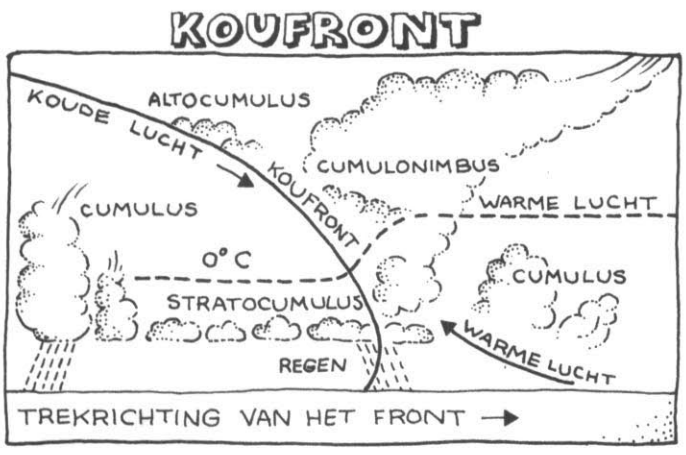


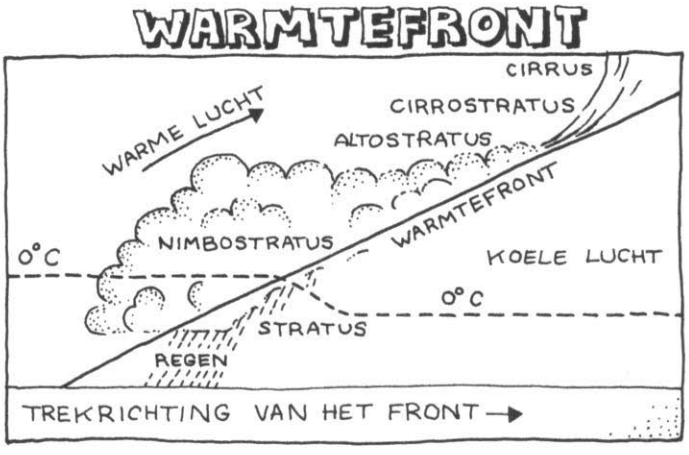


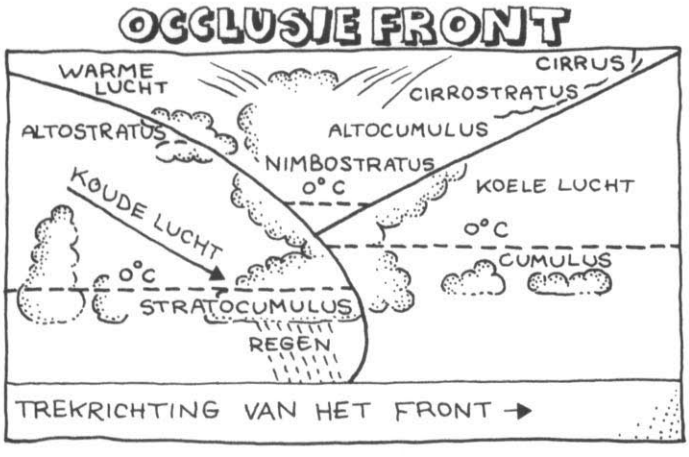
Frontsymbolen.

Meestal zal het front zich langs het aardoppervlak verplaatsen. We onderscheiden daarbij verschillende fronten. We spreken van een *koufront* als warme lucht wordt vervangen door koude. In het omgekeerde geval hebben we te maken met een *warmtefront*. Op weerkaarten geeft men fronten aan met dikke lijnen. Daarbij worden driehoekjes en halve cirkeltjes gebruikt om te verwijzen naar de bewegingsrichting van een front.
Wanneer een front zich nauwelijks verplaatst spreken we van een *stationair front*. Een vierde soort front komt voor wanneer een warmtefront wordt ingehaald door een (meestal sneller bewegend) koufront. De warme lucht wordt dan massaal opgetild. We noemen dit een *occlusiefront*.

Als voorbeeld zullen we wat langer stilstaan bij een koufront. Op blz. 56 is een schematisch overzicht gegeven van weersverschijnselen rond een koufront.
Zo'n front trekt met een snelheid van ca. 30 km/h in de zomer en ca. 60 km/h in de winter over het aardoppervlak. Zoals de figuur laat zien, vertoont het frontvlak een voorwaartse uitstulping op ca. 1 à 2 km hoogte. Deze wordt veroorzaakt door de afrem-

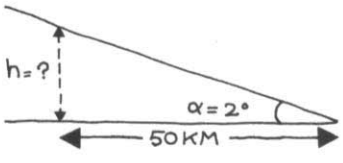






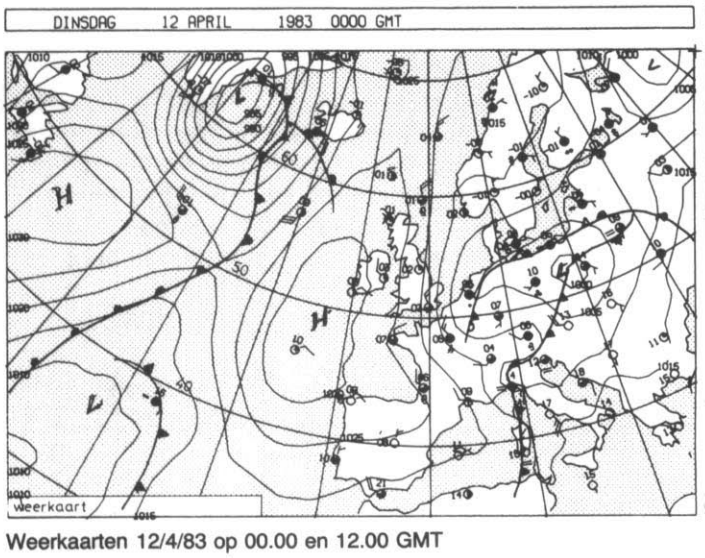
Fronten in doorsnede.

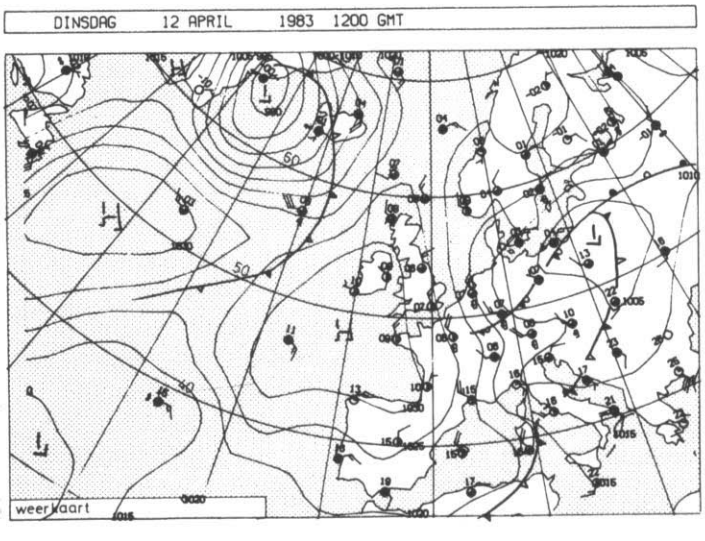
mende werking van het aardoppervlak op het oprukken van de koude lucht.
Deze koude lucht dwingt de warme lucht op te stijgen. De warme lucht koelt daarbij af. Dit leidt tot condensatie van de aanwezige waterdamp en vaak tot neerslagvorming. Des te sneller het koufront opdringt, des te heftiger zijn de weersverschijnselen. Enorme wolken (cumulonimbus) kunnen zich dan vormen, die buien met onweer en hevige windstoten tot gevolg kunnen hebben.
Op een satellietfoto is een koufront vaak te herkennen aan een wolkenband van 100 à 200 km breed en soms wel 1000 km lang.



1.
Hieronder zie je twee weerkaarten, die de toestand weergeven op twee momenten die 12 uur van elkaar liggen. Welke fronten kun je herkennen?
Schat de snelheid waarmee de fronten zich hebben verplaatst.

2.
Wanneer het frontvlak een hoek maakt van 2° met het aardoppervlak, boven welke hoogte bevindt zich dan warme lucht op een plaats die 50 km achter een oprukkend koufront ligt?





Weerkaarten 12/4/83 op 00.00 en 12.00 GMT

3.
Ga na welke weersverschijnselen gepaard gaan met een warmtefront. Waarom zijn voorboden van een warmtefront al op zeer grote afstand te zien?

4.
Waarom zijn de luchtmassa's bij frontvlakken boven oceanen scherper van elkaar gescheiden dan boven land?

5.
Winterse koufronten uit het westen verliezen boven het vasteland veel van hun weersactiviteit. Bedenk een verklaring hiervoor.

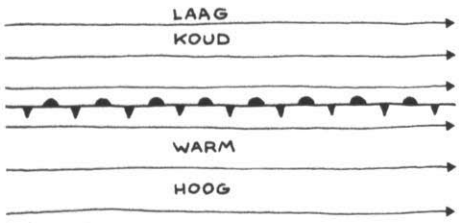
5.3 DRUKGEBIEDEN

De luchtdruk kan op zeeniveau variëren van 970 tot 1050 mbar. Een hoge druk betekent, dat het gewicht van de luchtkolom boven 1 m^2 op het aardoppervlak groter is dan normaal. Vandaar dat men hogedrukgebieden ook wel eens voorstelt als een luchtberg, met een top boven de plaats op aarde waar de luchtdruk het hoogst is. Een depressie vormt in dit beeld dan een holle schaal waarvan het diepste punt overeenkomt met de laagste druk aan het aardoppervlak.

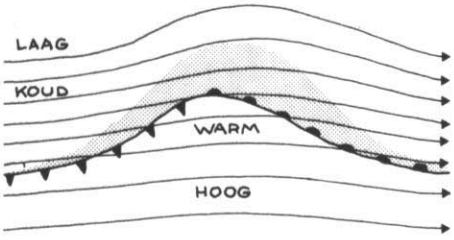
hogedrukgebied

In *hogedrukgebieden* vindt een voortdurende dalende luchtbeweging plaats, vanuit de hogere luchtlagen naar de aarde toe. De lucht wordt bij daling samengeperst en stijgt dan in temperatuur. Het omgekeerde effect werd beschreven in paragraaf 2.3. Bij hogere temperatuur kan lucht meer waterdamp bevatten. Het gevolg is dat in hogedrukgebieden de bewolking afneemt of verdwijnt.
Dit verdwijnen van bewolking in de hogere luchtlagen kan juist tot wolkenvorming leiden op lagere hoogte, vooral in de winter. Bij een wolkenloze hemel kunnen het aardoppervlak en de laagste luchtlaag 's nachts sterk afkoelen door uitstraling. De lucht raakt dan verzadigd van waterdamp en er ontstaat mist of laaghangende bewolking (stratus). 's Winters is de laag invallende zonnestraling niet in staat door de bewolking heen het aardoppervlak te verwarmen. De bewolking blijft hangen. 's Zomers lost de mist of bewolking in de loop van de ochtend op, omdat de zonnestraling er dan wel in slaagt het aardoppervlak voldoende te verwarmen. Het maakt uiteraard wel veel uit of de luchtsoort van vochtige of droge aard is.
Kenmerkend voor een hogedrukgebied op het noordelijk halfrond is de spiraalvormige beweging van de lucht met de wijzers van de klok mee. De lucht stroomt van het centrum af *(divergentie)*. In een *depressie* (een lagedrukgebied) gebeurt het tegenover-

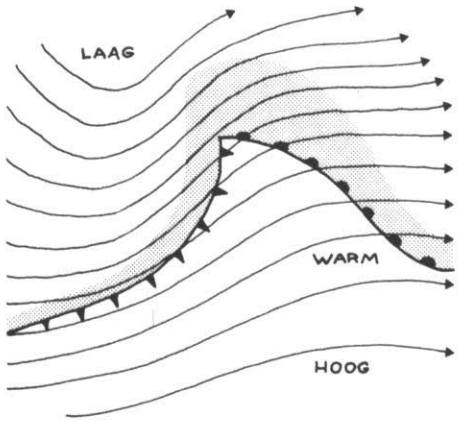
depressie



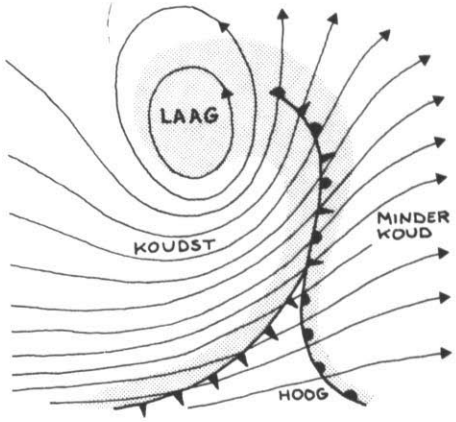
Depressies vormen zich dikwijls langs de frontale overgangszone tussen warme en koude luchtmassa's.



Langs het oorspronkelijke strakke front vormen zich golven. Ze doen zich voor als uitstulpingen van de warme lucht die zich in de koude luchtmassa's dringen.



De golf krijgt een wigvorm. Het koufront dat de achterste begrenzing vormt (links), wint geleidelijk terrein op het langzamer oprukkend warmtefront (rechts). De zogenaamde 'warme sector' wordt smaller. Aan de top van de warme sector gaan de luchtdrukdalingen in versneld tempo door.



Als het koufront het warmtefront inhaalt, wordt de warme lucht van het aardoppervlak opgetild. Het front heet dan 'occlusiefront'. In dit geval is het een koufront-occlusie (koudste lucht aan de achterzijde, links). De golf is uitgegroeid tot een volledig ontwikkelde depressie.

gestelde. De lucht stroomt tegen de wijzers van de klok in naar het centrum van de depressie toe. Daar stijgt de lucht op en koelt door uitzetting af. De lucht raakt verzadigd met waterdamp, wolkenvorming vindt plaats en bij verdere afkoeling treedt het neerslagproces in werking. Depressies kan men met recht daarom grote slecht-weergebieden noemen.
Langs fronten kunnen nieuwe depressies *ontstaan*. Deze frontale depressies zijn belangrijk voor het weer in de gematigde breedten. Onderaan blz. 57 is schematisch de vorming van zo'n depressie weergegeven. Het begint met een stationair front, waarlangs koude en warme lucht stroomt in de richting van de pijlen. Een kleine uitstulping groeit uit tot een soort golf. Er ontstaat een warmtefront en een koufront. Vervolgens haalt het koufront het warmtefront in. Een occlusiefront wordt gevormd, met aan de rand hiervan een depressie.

1.
Op satellietfoto's zijn depressies beter te zien dan hogedrukgebieden. Wat zou hiervan de reden zijn?

2.
Welke windrichting zou je verwachten wanneer een depressie ons land vanuit het westen nadert?

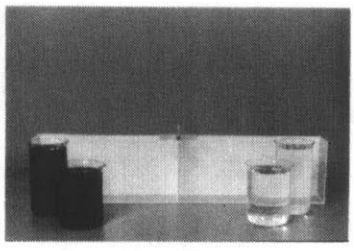
3.
Noem twee redenen waarom luchtverontreinigingsklachten toenemen, wanneer zich in de buurt van Nederland een hogedrukgebied bevindt.

4.
Welke invloed zal de snelheid van een depressie hebben op het weerbeeld?

5.4 FRONTEN EN DRUKGEBIEDEN OP WEERKAARTEN EN SATELLIETFOTO'S

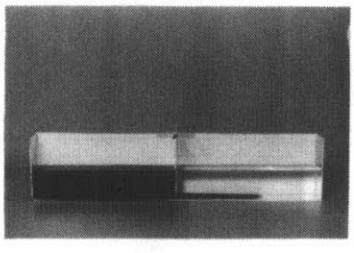
1. WEERKAARTEN

Verzamel de weerkaarten van één week.
- Beschrijf de ontwikkeling van elk van de depressies en hogedrukgebieden gedurende de week. Hoe zijn ze ontstaan, hoe verplaatsen ze zich en hoe verdwijnen ze?
- Welke fronten kwamen voor in deze week? In welke richting en hoe snel verplaatsten ze zich?
- Ga na of er een samenhang te zien is tussen depressievorming en frontverplaatsing. Breng dit eventueel op een flap in beeld.



2. EEN MODEL VAN EEN FRONT

Neem een bak met doorzichtige wanden, die door een wegneembare wand in twee gedeelten is gescheiden. Vul de ene zijde met gekleurd en gezouten leidingwater en de andere zijde met gewoon leidingwater. Licht de scheidingswand een paar cm op, en beschrijf wat er gebeurt. Welke overeenkomsten en verschillen zijn er met frontvlakken tussen luchtsoorten?



Model van een front.

3. SATELLIETFOTO'S

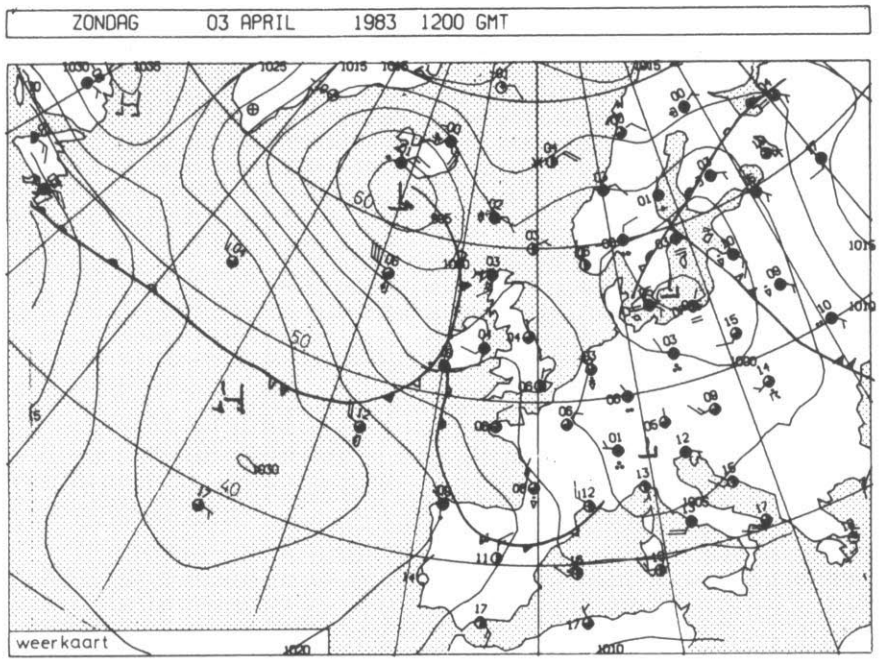
Satellietfoto's zijn nuttig om depressies en fronten op te sporen. Bekijk een aantal satellietfoto's, en vergelijk ze met de bijbehorende weerkaart. De foto's zijn genomen met de Amerikaanse NOAA-6 satelliet.
Dit is een polaire satelliet, die dus steeds een ander deel van de aarde binnen het bereik van haar camera heeft. Vandaar dat de tijden waarop de foto's zijn genomen niet precies overeenstemmen met de tijden waarop weerkaarten worden gemaakt (namelijk 0.00 en 12.00 GMT).

OPNAME A: NOAA-6 (zichtbaar licht), 3/4/83, 9.02 GMT.

- Bekijk de foto. Welk deel van de aardbol bestrijkt de foto? Welk deel van Europa is onbewolkt?
- Op welke plaats bevindt zich een depressie? Waar bevinden zich enkele fronten?
- Vergelijk je antwoorden op de vorige vraag met de gegevens van de weerkaart op blz. 60.

opname A

NOAA-6
(zichtbaar licht)
3/4/83, 9.02 GMT



Weerkaart 3/4/83, 12.00 GMT (behorend bij opname A).

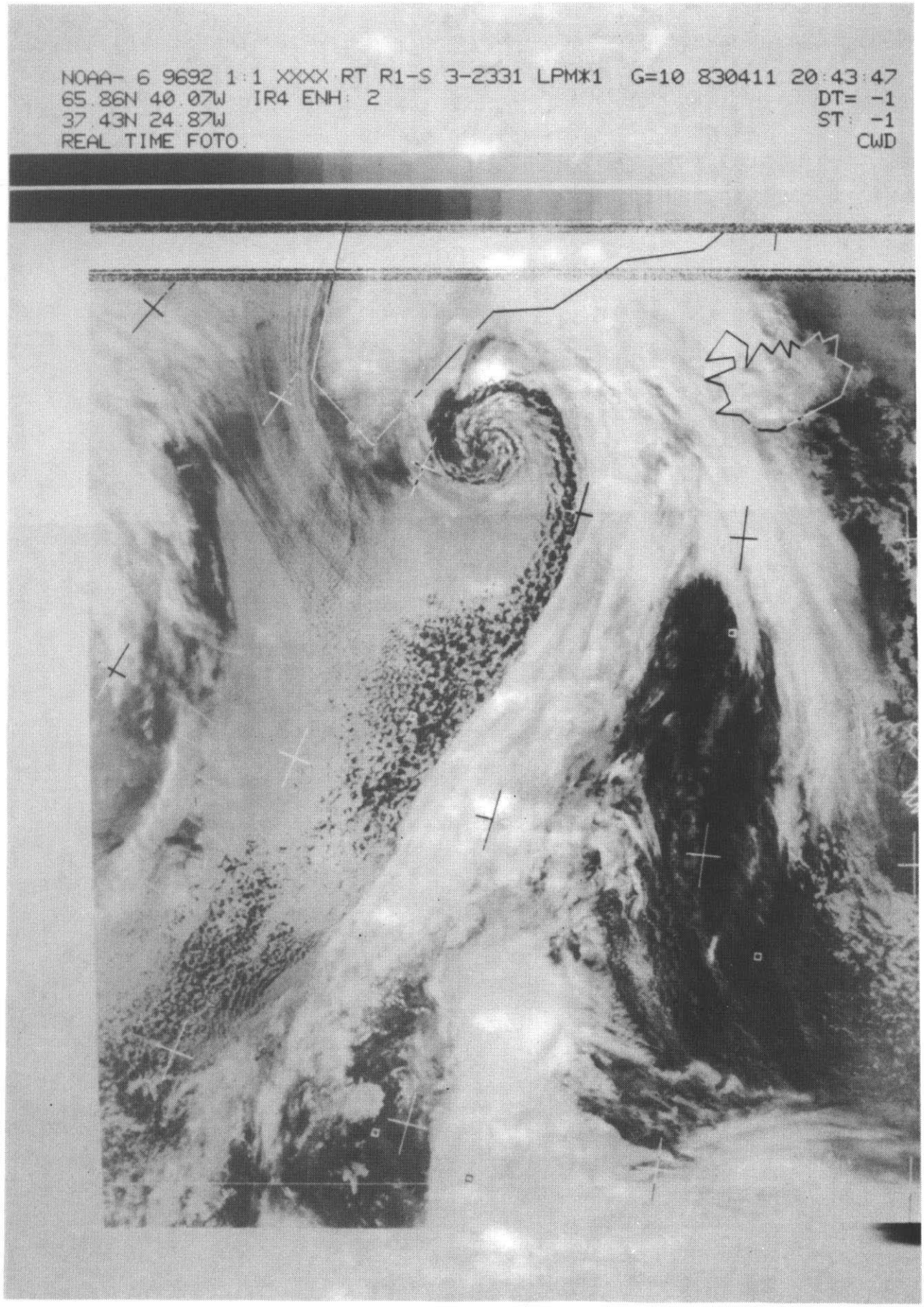
- Het front boven Scandinavië is op de weerkaart anders getekend dan de satellietfoto schijnt aan te geven. Kun je het verschil in dit geval verklaren?
- Op de satellietfoto zijn behalve de ruwe contouren van land en snijpunten van meridianen ook vierkantjes te zien, die plaatsen aanduiden waar zich weerstations bevinden. Vergelijk voor deze plaatsen de gegevens van de foto met die van de weerkaart.

OPNAME B: NOAA-6 (infrarood) 11/4/83, 20.44 GMT.

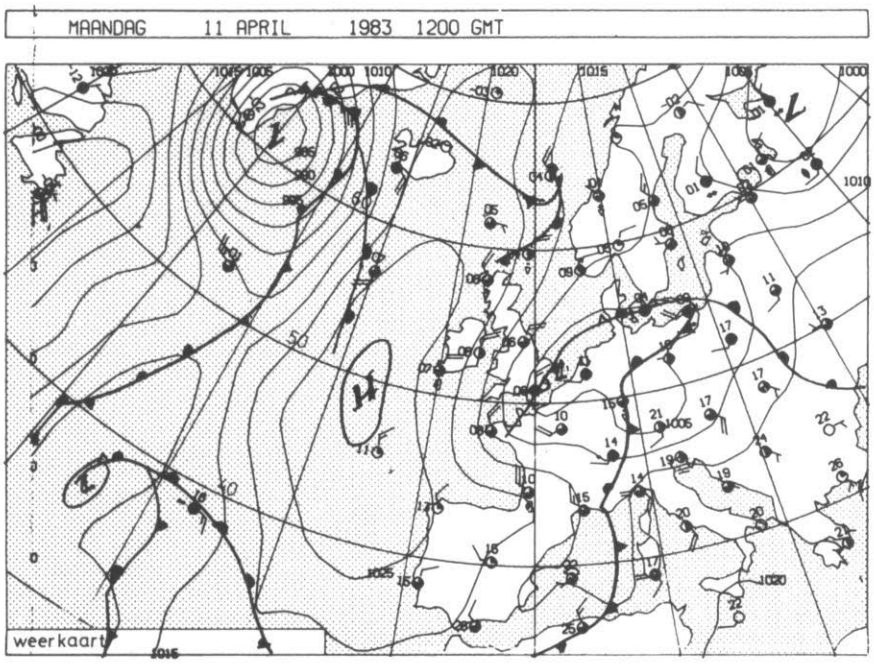
- Welk deel van de aardbol bestrijkt de foto op blz. 61?
- Waar bevindt zich een depressie?
- In de buurt van deze depressie treden krachtige winden op. Hoe kun je dit zien op de foto en op de weerkaart op blz. 62?
- Op de foto zijn een zeer lang en een kort front zichtbaar. Hoe lang is het eerste front ongeveer?
- Wat voor soort lucht bevindt zich tussen beide fronten? Controleer je antwoord met behulp van de gegevens van de weerstations op de weerkaart.
- Vergelijk het systeem van de depressie en de beide fronten met de figuren op blz. 57 over het ontstaan van een depressie. Met welke van die figuren komt de situatie op de foto en weerkaart overeen?

OPNAME C NOAA-6 (zichtbaar licht), 11/4/83, 10.53 GMT.

- Welk tijdsverschil is er met opname B?
- In welke richting heeft de depressie zich verplaatst?
- Maak een schatting van de snelheid van de depressie. Gebruik hierbij, dat op de 60° breedtegraad (die over de punt van Groenland loopt) de snijpunten met de getekende lengtegraden op circa 550 km van elkaar liggen.
- Opname C is een ander soort opname dan B. Bij welke opname is iets over de hoogte van de wolken te zeggen? (Zie paragraaf 2.2.)



opname B
NOAA-6 (infrarood) 11/4/83, 20.44 GMT.



Weerkaart 11/4/83, 12.00 GMT (behorend bij opname B).

opname C
NOAA-6
(zichtbaar licht)
11/4/83, 10.53 GMT

5.5 WEERSVERWACHTING

krimpen

ruimen

Als een front nadert, krimpt de wind dikwijls en wakkert daarna aan. *Krimpen* betekent: tegen de draairichting van de wijzer van de klok in van richting veranderen, bijv. van west naar zuidwest. Bij het passeren van het front *ruimt* de wind: het tegengestelde van krimpen. De mate van ruiming zegt iets over de *weersactiviteit* van het front: hoe meer ruiming, des te groter de kans op veel wind en regen. Deze activiteit van het front neemt toe, wanneer het front snel beweegt. Ook wordt de activiteit bevorderd door de nabijheid van een depressie. De opstijgende lucht in depressiegebieden werkt als het ware samen met opstijgende warme lucht bij het front. Nabij een hogedrukgebied onderdrukt de heersende, dalende luchtbeweging juist de weersactiviteit.
Fronten gaan vaak gepaard met wolkenvorming en neerslag. De figuren op blz. 56 brachten dit in beeld voor een kou- en een warmtefront.
De nadering van een depressie gaat meestal met een aantal verschijnselen gepaard. De luchtdruk neemt af. Eerst zijn ijle cirrus-draden te zien, die later overgaan in een meer gelaagde bewolking op grote hoogte (cirro-stratus). Kringen rond de zon (zogenaamde halo's) kunnen zichtbaar zijn. Geleidelijk wordt de bewolking dikker en daarna egaal grijs. Het regengebied bereikt ons dan spoedig. Als de depressie snel overtrekt, kan die met enkele uren voorbij zijn. Maar wanneer de depressie tot stilstand komt kan het regengebied ons dagenlang in de greep houden.

rapporteren
Het is de bedoeling, dat je een rapportage verzorgt over je werk aan dit hoofdstuk. Daarbij moet je je vooral richten op de leerlingen, die aan de hoofdstukken 3 en 4 hebben gewerkt.
Let bij het voorbereiden van de rapportage op het volgende.
- Rapporteer over het *werk* dat je hebt gedaan: de gebruikte methode, je resultaten en je conclusies.
- Het is onder andere de bedoeling van de rapportage, dat je klasgenoten er ook iets van *leren*. Je hebt immers een onderwerp bestudeerd, waar zij minder mee te maken hebben gehad in hun hoofdstuk. Besteed daarom aandacht aan de volgende onderwerpen:
- koufront
- hoge- en lagedrukgebieden
- depressievorming
- gevolgen van de nadering van fronten en drukgebieden voor het weer.

hoofdstuk 6

WEERSVOORSPELLING

inhoud

		blz.
6.1	voorspellingsmethoden	65
6.2	de betrouwbaarheid van de weersverwachting	69
6.3	zelf het weer voorspellen?	71

weersvoorspelling

Aan de orde komt:
- wat zijn de synoptische, statistische en numerieke voorspellingsmethoden?
- kun je de betrouwbaarheid van de weersverwachting bepalen?
- kun jij in jouw situatie nu meer doen met het weerbericht dan voorheen?

HET WEER

Weerrapporten van gisteren 19 uur

Afkortingen in eerste kolom: lb = licht bewolkt, hb = half bewolkt, zb = zwaar bewolkt, gb = geheel bewolkt, ob = onbewolkt, on = onweer, re = regen, sn = sneeuw, ha = hagel, mi = mist. In de tweede kolom: maximumtemperatuur; in de laatste: neerslag tussen 7-19 uur.

Amsterdam	gb	9	6	Kopenhagen	zb	7	0
De Bilt	gb	—	6	Lissabon	ob	18	0
Deelen	zb	10	5	Locarno	ob	12	0
Eelde	re	9	12	Londen	gb	11	0.2
Eindhoven	re	11	0.5	Luxemburg	re	7	0.5
Den Helder	zb	8	7	Madrid	ob	—	0
Rotterdam	zb	10	2	Malaga	ob	16	0
Twente	re	9	7	Mallorca	ob	18	0
Vlissingen	gb	9	2	Malta	zb	15	0
Zd. Limburg	re	10	2	München	gb	9	1
Aberdeen	re	9	0.1	Nice	hb	16	0
Athene	lb	15	0	Oslo	zb	6	0
Barcelona	ob	16	0	Parijs	zb	11	0.9
Berlijn	re	9	3	Rome	gb	13	0
Bordeaux	re	12	2	Split	lb	14	0
Brussel	gb	10	0.2	Stockholm	gb	4	0
Frankfort	re	10	0.1	Wenen	zb	12	0.1
Genève	zb	13	0	Zürich	zb	12	0
Helsinki	ob	1	0	Casablanca	lb	17	0
Innsbruck	hb	9	0	Istanboel	re	9	0.2
Klagenfurt	hb	4	0	Las Palmas	lb	20	0

Regen uit het oosten, 48 uur zonder vertroosten

aktiviteiten:

- lezen
- de verzamelde weerberichten analyseren op hun betrouwbaarheid
- goed kijken naar weersomstandigheden en weerkaarten

6.1 VOORSPELLINGSMETHODEN

Een van de meest bekende aspekten van de meteorologie is de weers*voorspelling*. Je moet daarbij niet direkt denken aan een waarzegster die met een glazen bol de ontwikkeling van het weer kan voorspellen. Vaak wordt dan ook gesproken van een weers*verwachting*: op grond van talrijke *weerswaarnemingen* op bepaalde momenten en op grond van wat men weet over het verloop van allerlei *weersprocessen*, stelt men een weersverwachting op. Tegenwoordig kunnen we drie belangrijke manieren onderscheiden om tot een weersverwachting te komen: de synoptische, de statistische en de numerieke methode. We zullen elke methode kort behandelen.

de synoptische methode

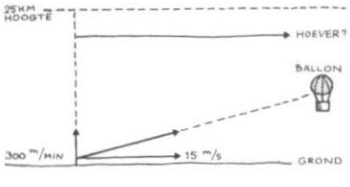
Al in de loop van de 17e eeuw begon men de mogelijkheden te krijgen om aan het weer metingen te verrichten. De barometer werd uitgevonden in 1643. De uitvinding van de thermometer volgde, waarvoor Fahrenheit in 1714 en Celsius in 1742 hun beroemde temperatuurschalen maakten. In de tijd van de Franse Revolutie ontstond het idee om op vele plaatsen op aarde tegelijk weerswaarnemingen te verrichten. Pas na de uitvinding van de telegraaf (1832) konden de verschillende waarnemingen van één tijdstip

Eerste Nederlandse synoptische weerkaart.

De verspreiding van synoptische weerstations over de aarde.

worden overgeseind naar een centraal punt, waar een weerkaart werd opgesteld. In 1863 werden de eerste *synoptische* (= samenvattende) weerkaarten gepubliceerd. Heeft men zo'n synoptische beschrijving van het weer voor verschillende plaatsen en op verschillende momenten, dan kan men iets zeggen over hoe men verwacht dat het weer verandert. De synoptische methode is daarna nog sterk verbeterd. Eén oorzaak daarvan is de grote uitbreiding van het aantal weerstations.
Maar ook de uitvinding van de radiosonde in 1927 heeft daar sterk aan bijgedragen. Tegenwoordig wordt in De Bilt tweemaal per dag, omstreeks het middaguur en omstreeks middernacht, een weerballon opgelaten met daaraan vast een radiosonde bestaande uit een zendertje en instrumenten om temperatuur, luchtvochtigheid en luchtdruk te meten. De ballon gaat met een snelheid van ongeveer 300 m per minuut omhoog en klapt op een hoogte van zo'n 25 km uit elkaar. De sonde daalt dan weer per parachute naar de aarde.

1.
Verklaar dat de stijgende weerballon tenslotte uit elkaar klapt.

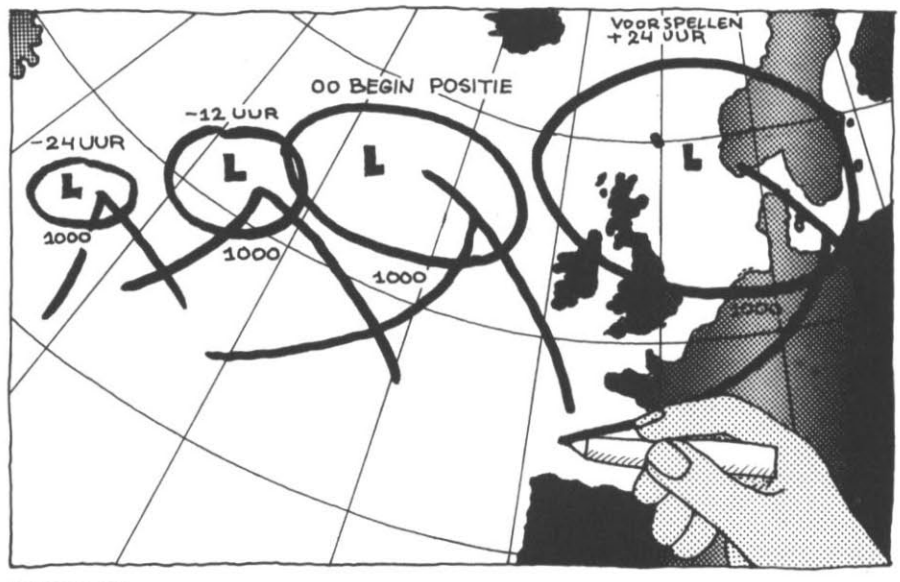


2.
Hoe ver drijft een ballon af van de lanceerplaats bij een konstante windsnelheid van 15 m/s?
Bereken daarvoor eerst de totale stijgtijd.

3.
In de vorige vraag mocht je aannemen, dat de windsnelheid konstant was gedurende het opstijgen.
Zal de ballon in werkelijkheid minder ver of verder komen? Bedenk hoe het met de windsnelheid op grote hoogte is gesteld.

synoptische methode

Tenslotte leveren vanaf 1960 de satellieten ook nog een schat aan waarnemingen op. Met name zijn die waarnemingen belangrijk in gebieden waar zich weinig synoptische weerstations bevinden. Mede daardoor is ook nu nog de *synoptische methode* van grote betekenis.
Als alle gegevens van de diverse grondstations, van de weerballonnen en van de satellietfoto's binnen zijn, kunnen de diverse weerkaarten worden getekend en geanalyseerd; dat wil zeggen dat de isobaren en fronten erin worden getekend. Door de weerkaarten van verschillende tijdstippen met elkaar te vergelijken, kan de meteoroloog (de 'weerman/vrouw') door *extrapolatie* een verwachting uitspreken.
De synoptische methode vereist wel een grote ervaring van de weerkundige, en is in zekere zin *subjektief*: verschillende weerkundigen kunnen in principe tot iets verschillende voorspellingen komen.

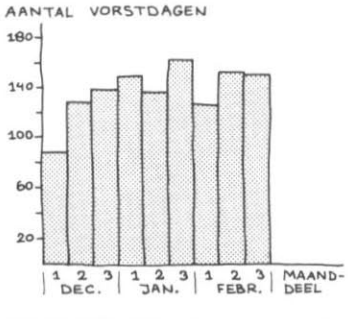


Extrapoleren ...

de statistische methode

Omdat er weergegevens zijn van een groot aantal jaren, is het mogelijk het weerbeeld van het moment te vergelijken met vroegere situaties. Vind je een situatie van vroeger die goed overeenkomt met de situatie van het moment, dan kun je verwachten dat het weer zich net zo ontwikkelt als toen in die situatie. Nu zijn er zoveel faktoren die het weer en zijn veranderingen bepalen, dat men meestal zoekt naar combinaties van weerswaarnemingen die tot een bepaalde weersverandering leiden.
Doet zo'n combinatie zich weer voor, dan is het te verwachten dat het weer ook weer zó zal gaan veranderen. Een voorbeeld: uit talrijke waarnemingen blijkt, dat er meestal *mist* ontstaat bij *bepaalde* combinaties van waarden voor windrichting en bewolkingsgraad. Andere combinaties geven géén mist. Als men nu op een bepaald moment de windrichting en de bewolkingsgraad meet, dan zal men kunnen voorspellen of er mist ontstaat. Die verwachting is dan dus gebaseerd op de statistiek van gegevens uit het verleden. Vandaar de naam: de *statistische methode*.

statistische methode



Vorstdagen. De gegevens worden bepaald door de maanden december, januari en februari op te delen in drie perioden van 10 dagen elk (1, 2 en 3) en in elke periode het aantal vorstdagen te tellen gedurende de jaren 1931 tot 1960. Optellen van de aantallen vorstdagen per periode over de reeks van jaren leverde de gegevens voor het diagram.

4.

In het diagram hiernaast staat het totale aantal vorstdagen per 10 dagen in de maanden december, januari en februari, voor de periode van 1931 tot 1960.
Welke van de onderstaande spreuken dankt waarschijnlijk aan deze statistiek zijn bestaan:
– als de dagen lengen, gaan de nachten strengen
– Sebastiaan (20 januari) die het weer maakt, doet het vriezen dat het kraakt
– ruig vriezen is kort vriezen.

de numerieke methode

Het principe achter de numerieke methode is al langer bekend.
Uitgangspunt is dat je de luchtdrukverdeling (vertikaal en horizontaal) in de atmosfeer kent. Op basis hiervan is in theorie te voorspellen hoe de luchtstromingen er uit zullen zien. Een voorbeeld daarvan zagen we in paragraaf 2.5, waar we de windrichting en -snelheid konden afleiden uit de luchtdrukgradiënt.
In werkelijkheid is het echter wel veel ingewikkelder. Ook de luchtstromingen op een geheel halfrond van de aarde, bijvoorbeeld ontstaan door verschillen in zonbestraling, moeten meegerekend worden. Daarnaast moeten ook de effekten van aardoppervlak, obstakels en andere kleine verstoringen meegerekend worden. Alles hangt dus met alles samen!
Temperatuur, zonnestraling en vochtigheid beïnvloeden allemaal de drukverdeling. En de winden die dan ontstaan, veranderen op hun beurt ook weer de drukverdeling. Wat de natuurkundige processen betreft ligt alles wel vast, maar er zijn zó veel faktoren die

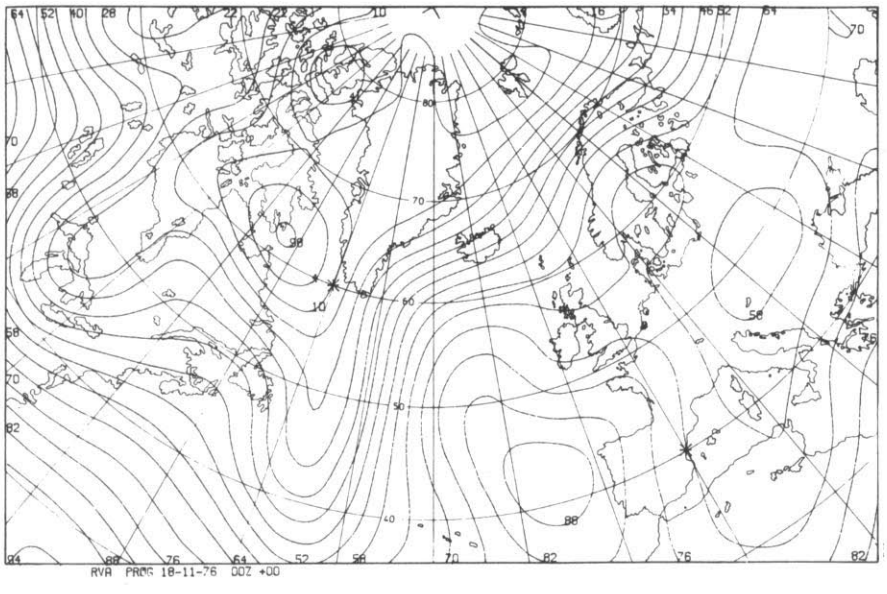
numerieke methode

De pionier van de numerieke voorspelmethode was L.F. Richardson. Op 20 mei 1910 om 1.00 uur had hij alle waarnemingen beschikbaar over de luchtstroming boven West-Europa. Op grond van natuurkundige modellen berekenden hij en zijn assistenten (zonder computer!) in enige weken, wat het weer op 20 mei 1910 om 7.00 uur (6 uur later dus) zou zijn geworden. Dat zijn uitkomst niet bleek te kloppen, doet weinig af aan het fundamentele werk dat hij hiermee verrichtte.

invloed uitoefenen, dat het vaststellen van het eindresultaat (de weersverwachting) bij de *numerieke methode* zeer moeilijk is. *Rekenen* aan die veranderingen heeft alleen maar zin als het in *kleine stapjes* gebeurt en met behulp van tamelijk ingewikkelde *natuurkundige modellen*, waarin zo veel mogelijk met alle faktoren rekening wordt gehouden. Deze modellen worden uitgewerkt in ingewikkelde wiskundige vergelijkingen. (Een voorbeeld daarvan zie je hieronder.)

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\nabla^2 h + f\frac{2\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{1}{\gamma_o}\frac{\partial h}{\partial p}\right)\right)\right) = \left]\left(\frac{g}{f}\nabla^2 h + f, h\right) + gf\right]\left(\frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{1}{\gamma_o}\frac{\partial h}{\partial p}\right), h\right)$$

De opkomst van de computer heeft het pas echt mogelijk gemaakt dit soort berekeningen uit te voeren. Vanaf 1981 is het zelfs mogelijk om het weer met een redelijke betrouwbaarheid vijf dagen vooruit te voorspellen. Daarvoor was het wel nodig om een Europese samenwerking tussen de verschillende meteorologische diensten tot stand te brengen. Het Europees Centrum voor Meerdaagse Verwachtingen, gevestigd in Reading (Engeland), zorgt voor deze vijfdaagse voorspellingen.
Wat levert de computer nu als produkt op?
Omdat hij rekent aan het stromingspatroon, geeft de computer kaarten van de *verwachte luchtstroming* op verschillende hoogtes. De vertaling naar een *weersverwachting* moet dan nog gemaakt worden door de meteoroloog.



Computerkaart.

5.
We zullen proberen de verschillende voorspelmethodes te vergelijken. Neem daarvoor de onderstaande vergelijkingstabel over, en probeer de gestelde vragen te beantwoorden.

Vergelijking van voorspelmethodes.

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

6.2 DE BETROUWBAARHEID VAN DE WEERSVERWACHTING

Zon bleef uit: KNMI waarneming is te grof

(Van een onzer verslaggevers)
DE BILT — Het wijdmazige waarnemingsnet is er nog altijd de oorzaak van dat het KNMI in De Bilt er met de weersvoorspellingen wel eens naast zit. Dat is het excuus van meteoroloog H. Daan voor het feit dat het voor zondag aangekondigde zomerse weer letterlijk in het water viel.

Het zou volgens de laatste verwachting van zaterdagavond de volgende dag stralend weer worden met een temperatuur rond de twintig graden. Maar een wolkenband boven Frankrijk werd door opstijgende lucht dikker en vochtiger, zodat het zondagmorgen tot veler teleurstelling regende. En dat meldden de weerkaarten uit de computer niet.

Volgens Daan ligt de kans dat de weersvoorspellingen voor de volgende dag juist zijn op 85 procent. „Maar dat is nog geen honderd procent", voegde hij er aan toe. De enige instantie die zondag profijt had van het plotseling omslaande weer was de PTT. Het telefoonnummer 003 met de weerberichten stond roodgloeiend. Veel mensen weigerden kennelijk te geloven dat het KNMI er zo naast kon zitten.

Slechte voorspellingen?

Veel mensen vinden dat de weersverwachtingen nogal eens slecht uitkomen. Dat komt vaak omdat het eerder opvalt als een voorspelling *niet* uitkomt, dan wanneer er gewoon gebeurt wat er verwacht werd. Dikwijls ook hecht men een te absolute waarde aan de verwachting: een verwachte temperatuur van 15°C betekent bijvoorbeeld dat de *kans* groot is dat er een temperatuur tussen 13 en 17°C zal heersen. Niet iedereen kent de betekenis van de gebruikte weertermen erg goed. In paragraaf 2.1 beschreven we de verschillende windsnelheden met woorden (matige wind, stormachtig enz.). In paragraaf 3.5 werden uitdrukkigen genoemd die met bewolking en zonneschijn te maken hebben. In paragraaf 4.5 werden de termen genoemd, die een bepaalde kans op neerslag aangeven. Zo zijn er ook vaste uitdrukkingen en woorden voor zicht en voor vorst (zie de tabel linksonder).
Ook is het belangrijk in welk deel van het land je woont. Het weer kan in Nederland van plaats tot plaats namelijk erg verschillen (zie de tabel rechtsonder).

Termen voor zicht en vorst.

Zichttermen

zicht < 2000 m: nevel zicht < 1000 m: mist	} nevelig weer
zicht < 200 m: dichte mist zicht < 60 m: zeer dichte mist	} te gebruiken in de waarschuwing voor het verkeer

Vorsttermen

temperatuur om

het vriespunt	: temperatuur van + 2°C tot − 2°C
lichte vorst	: temperatuur van 0°C tot − 5°C
matige vorst	: temperatuur van − 5°C tot −10°C
strenge vorst	: temperatuur van −10°C tot −15°C
zeer strenge vorst	: temperatuur beneden −15°C

Plaatselijkheidstermen.

Delen van het land

Noorden	: Groningen, Friesland, Drente, Kop van Overijssel, Noordoostpolder, Kop van Noord-Holland.
Zuiden	: Zeeland, Noord-Brabant, Limburg.
Westen	: Noord-Holland, Zuid-Holland, Zeeland.
Oosten	: Oost-Veluwe, Oost-Betuwe, Salland, Twente, Achterhoek.
Midden	: Utrecht, West-Veluwe, West-Betuwe, Flevoland.
Noordoosten	: Groningen, Drente (uitgezonderd Zuid-west-Drente).
Zuidoosten	: Oostelijk Noord-Brabant en Limburg.
Zuidwesten	: Zeeland, Westelijk Noord-Brabant en de Zuidhollandse eilanden.
Noordwesten	: Kop van Noord-Holland, grote Waddeneilanden, Noordwest-Friesland.
Vlak aan zee	: strand.
Aan de kust	: strand en duinen.
De kuststrook	: strook met een breedte van 15 km langs de kust van de Noordzee.
Kustprovincies	: Groningen, Friesland, Noord-Holland, Zuid-Holland, Zeeland.
Noorden en midden	: hele land behalve het zuiden.
Zuiden en midden	: hele land behalve het noorden.
Westen en midden	: hele land behalve het noordoosten, oosten en zuidoosten.
Oosten en midden	: hele land behalve het westen.

Niet iedereen waardeert de weersverwachting precies hetzelfde. Voor de een vergalt een regenbui zijn hele dag (en regen is heel moeilijk lokaal te voorspellen), voor de ander is een wisselende wolkenhemel het einde. Iemand die veel auto rijdt, let vooral op de mistverwachting en op gladheid. Iemand die ijs verkoopt, zal vooral op de maximum temperatuur letten.
Tenslotte blijft een weersverwachting natuurlijk een beschrijving van het meest *waarschijnlijke* weer dat je verwachten kunt. En soms kunnen heel kleine storingen in de atmosfeer, die nauwelijks opgemerkt worden, grote gevolgen hebben voor het hele weerbeeld: de voorspelling komt dan niet uit. Je kunt dat vergelijken met de gevolgen die een brandende sigarettepeuk in een droog bos kan hebben.

Af en toe zon

Weersverwachting tot vanavond:
Enkele buien, mogelijk met onweer, maar ook af en toe zon. Middagtemperatuur ongeveer 12 graden. Matige zuidwestelijke wind, aan zee van tijd tot tijd krachtig.
Vooruitzichten voor dinsdag tot en met vrijdag:
Af en toe regen. Na dinsdag geleidelijk hogere temperaturen.
Weeroverzicht op pagina 4.
MIESJE: ...en het aardigste cadeautje kreeg de Koningin van het KNMI!

1.
Hierboven staan een aantal redenen genoemd, waarom het weerbericht volgens mensen niet altijd klopt. Zet die nog eens op een rij.

2.
Het hiernaast afgebeelde weerbericht van 2 mei 1983 maakt gebruik van verschillende termen. Wat zegt het volgens jou precies over: de bewolkingsgraad, de temperatuur, de neerslag en de windsnelheid?

Om eens wat objektiever te bekijken wat de betrouwbaarheid is van de weersverwachting, kun je de voorspellingen die je tijdens dit thema in de klas hebt verzameld vergelijken met de uiteindelijke weersgesteldheid, zoals die vaak de volgende dag in de krant staat in de vorm van weerrapporten.

3. WEERSVERWACHTING BEOORDELEN

Het is bijna ondoenlijk om alle elementen uit de weersverwachting te beoordelen. We zullen er daarom maar een paar bekijken.
Volg onderstaande 'beoordelingsprocedure' op de voet. Uitgangspunt is dat een volledig juiste verwachting een score haalt van 100.

- Zoek een aantal weersverwachtingen, waarvan je ook de weerrapporten hebt, op in je logboek (zie hoofdstuk 2).
- Kies één of meer weerstations uit (hangt af van je gegevens).
- Selekteer de verwachtingen voor temperatuur, windkracht en bewolking.
- 'Vertaal' de verwachting voor een weersgrootheid in getalswaarden, door de gebruikte termen te analyseren (zie de tabellen op blz. 69, 18 en 43).
- Vergelijk de getalswaarden of de voorspelde grootheden met het bijbehorende weerrapport.

Trek punten af voor verkeerde verwachtingen volgens onderstaande tabel.

Puntenaftrek verkeerde voorspellingen.

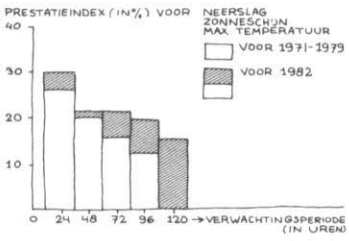
temperatuur	voor elke °C afwijking tussen voorspelling en uitkomst: 4 punten aftrek, tot een maximum van 40 punten
windkracht	voor elk punt afwijking op de schaal van Beaufort: 10 punten aftrek, tot een maximum van 30 punten
bewolking	voor elke 1/8 afwijking van de gemiddeld voorspelde bewolkingsgraad: 10 punten aftrek, tot een maximum van 30 punten

- Bedenk zelf eventueel voor andere weersgrootheden een beoordeling. Zorg ervoor, dat het totaal te behalen aantal punten steeds 100 is.
- Het aantal behaalde punten zou je de *betrouwbaarheid* van de weersverwachting kunnen noemen.
Vergelijk de door jou bepaalde betrouwbaarheid met die van je klasgenoten.

Professionele weervoorspellers kijken natuurlijk zelf ook achteraf wat de betrouwbaarheid van hun voorspelling is geweest. Zoals je misschien al hebt gemerkt bij aktiviteit 3, is het niet zo makkelijk een weersverwachting in woorden te vergelijken met de uiteindelijke beschrijving van hoe het weer is geweest. En er is nog een ander probleem. Bij een voorspelling van droog weer of regen kun je vrij eenvoudig kijken naar het aantal *treffers*. Men spreekt van een treffer, als er regen voorspeld is en er vált ook regen.

treffer

Maar met temperatuur is het al iets moeilijker. Is een afwijking van 1°C nu een treffer of niet? Of mag de afwijking wel 3°C zijn? De meteorologen zelf hebben een beoordelingssysteem, waarmee ze met dit soort problemen rekening proberen te houden. Zij vinden dan een betrouwbaarheid van ca. 80% bij weersverwachtingen voor 24 uur vooruit; bij de vijfdaagse verwachtingen komen ze uit op ca. 60%. Dit laatste percentage is overigens pas bereikt dankzij de ontwikkelingen in de numerieke voorspelmethode.



Prestatie-index van 1982, vergeleken met het gemiddelde van 1971-1979. De prestatie-index is een maat voor het aantal treffers op *onverwachte* weersveranderingen.

Je kunt ook op een andere manier tegen die betrouwbaarheid aankijken. Het is natuurlijk geen kunst om in de zomer te voorspellen dat het niet zal vriezen. Of om bij aanwezigheid van een hogedrukgebied te voorspellen, dat het de volgende dag even warm is. Veel moeilijker is het om onverwachte weersveranderingen te voorspellen. Bekijk je de betrouwbaarheid op dit soort voorspellingen, dan blijkt het aantal treffers veel kleiner. Uit het diagram hiernaast blijkt, dat de trefkans vooral bij de voorspellingen van 48 tot 72 uur vooruit in verhouding wat kleiner is. Dit komt doordat kleine storingen, die het weer op korte termijn sterk beïnvloeden, vaak moeilijk precies te voorspellen zijn. Ook het tempo waarmee een bepaalde verandering zich voltrekt is vaak een onzekere faktor. Op de langere termijn zijn het meer de grote cirkulaties in de atmosfeer die het weer bepalen, en die zijn wat minder wisselend.

4.
Vergelijk de beoordeling van de weersverwachting die je zelf hebt gemaakt met de bovengenoemde betrouwbaarheidspercentages. Komt dat met elkaar overeen?

Kun je misschien ook verklaren waarom er verschillen zijn?
Kijk ook of er bij de door jou gebruikte weerberichten sprake was van plotselinge veranderingen, die immers veel moeilijker te voorspellen zijn.

6.3 ZELF HET WEER VOORSPELLEN

Het is inmiddels wel duidelijk geworden, dat je voor een goede weersverwachting veel waarnemingsgegevens nodig hebt, goed inzicht moet hebben in allerlei processen en eigenlijk tegenwoordig zonder computer nogal hulpeloos bent. Kun je zelf nu ook voorspellingen doen, die boven de gokkans uitkomen? En wat heb je daarbij aan alle kennis die je in dit boek over weersveranderingen hebt opgedaan?
Waarschijnlijk kun je op *drie* manieren wat meer over de te verwachten weersveranderingen zeggen dan voorheen:
– door te kijken naar de *wolken* en door *temperatuur-* en *drukveranderingen* bij te houden; soms kunnen spreuken en gezegden je daarbij wat helpen.
– door de beschikbare *weerkaarten* beter te bekijken.
– door het *algemene weerbericht* beter te kunnen '*vertalen*' naar de plaats en het tijdstip van jouw eigen omstandigheden.

Van elke manier zullen we wat voorbeelden bespreken. Maak daaruit eventueel je eigen keuze. Deze voorbeelden dienen er ook voor om datgene, wat jij of anderen voor jou in de hoofdstukken 3, 4 en 5 hebben gedaan, te verwerken.

Cirrus en cirrostratus.

goed kijken

1.
Wat betekent een snelle daling van de barometer?

2.
Wat kun je afleiden uit het verschijnen van cirrusbewolking, gevolgd door stratus aan een heldere hemel?

3.
Wat betekent het verschijnen van cumulonimbusbewolking aan het einde van een warme zomerdag? Ken je een toepasselijke Nederlandse naam voor deze bewolking?

Cumulonimbus.

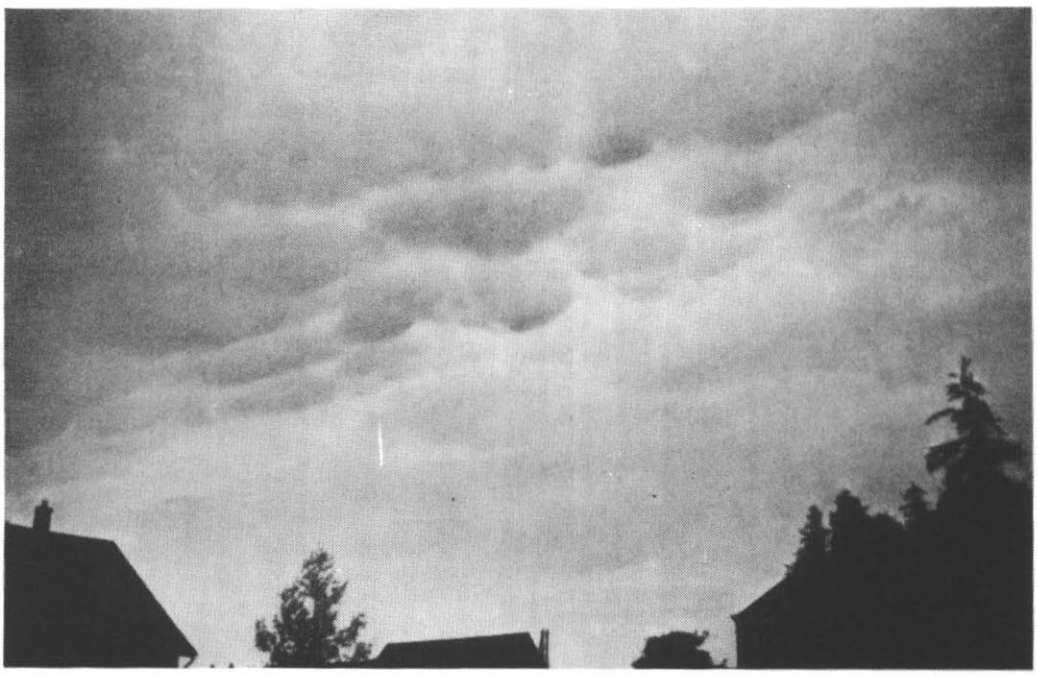
4.
Er is een gezegde: 'wind in de nacht, water in de gracht'. Er is 's nachts gewoonlijk minder wind dan overdag. Kun je dit gezegde nu begrijpen?

5.
In de zomer heeft men het er wel over dat 'de zon steekt'. Ook zou er dan regen komen. De weersomstandigheden zijn dan meestal: windstilte, hoge relatieve vochtigheid en hoge temperatuur. Inderdaad is dat een gunstige combinatie voor warmte-onweer. Hoe zou nu dat gevoel van een stekende zon worden veroorzaakt?

6.
Waarom zal uit mooiweer-cumulus geen regen vallen?

Mooiweer-cumulus.

7.
Bewolking die aan de onderzijde scherp afgetekende uitwassen vertoont, betekent vaak dat het niet zal gaan regenen. Kun je dat verklaren?



Bewolking met uitwassen.

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

Dins dag 12 april 1982

Op de nadering van een in betekenis afnemend hoge drukuitloper mogen morgen perioden met zon tegemoet worden gezien. Vooral aan zee schijnt de zon. In het binnenland is de bewolking wisselend en er is nog een kleine kans op een bui.
In de komende nacht wordt de minimumtemperatuur ongeveer 2 graden waarbij plaatselijk nachtvorst kan optreden.
De middagtemperatuur wordt een graad of 8.
De wind draait naar het westen en neemt tot matig, windkracht 4, af. Aan zee is de wind noordwest en neemt af tot vrij krachtig, windkracht 5.
Voor de rest van de week ziet het er naar uit dat er eerst nog zonnige perioden komen, maar in het weekeinde wordt de kans op regen groter, mogelijk wordt het dan iets zachter.

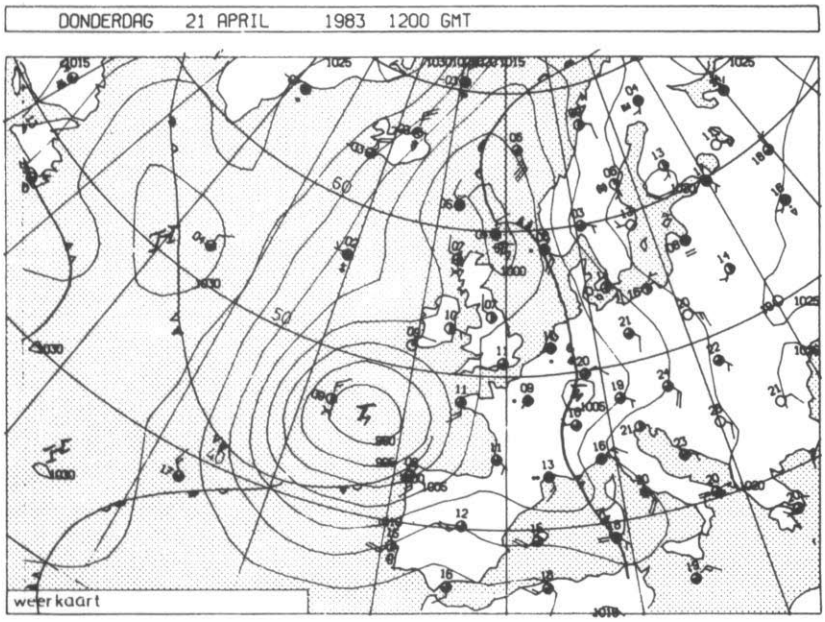
STL

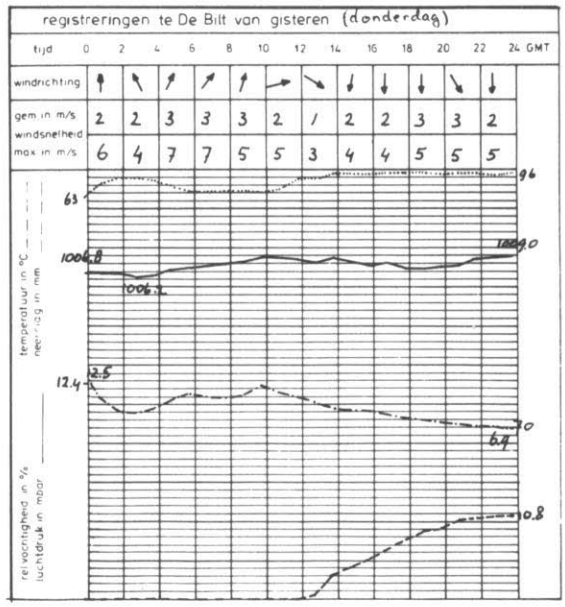
8.
Op een avond met rustig weer is de afkoeling groot en de atmosfeer stabiel. Boven weiland en ook boven industriegebied kan dan makkelijk mist en nevel ontstaan. Probeer dat te verklaren.

weerkaarten interpreteren

9.
Bekijk nog eens de weerkaarten van aktiviteit 1 van paragraaf 5.2 op blz. 56. Hiernaast staat het weerbericht in woorden voor de volgende dag.
Probeer van de elementen uit dat weerbericht te begrijpen hoe ze met de ontwikkelingen op de kaartjes samenhangen.

10.
Bij het kaartje op blz. 74 van 21/4/83 12.00 GMT hoort een grafische weergave van de windrichting, vochtigheid, luchtdruk, temperatuur en neerslag van die dag.
- Op het kaartje is een front boven Nederland getekend.





Is dit een kou- of warmtefront? Is het een stationair front?

- Kun je de verandering van de windrichting rond 12.00 GMT verklaren?
- Verklaar het vallen van neerslag in de middag.
- De depressie bij Ierland komt langzaam naderbij. Wat voor invloed zal dat hebben op de luchtdruk en de windkracht van de komende dagen, denk je?

Zwaarste storm sinds 1976

Door onze weerkundige medewerker
HARRY OTTEN

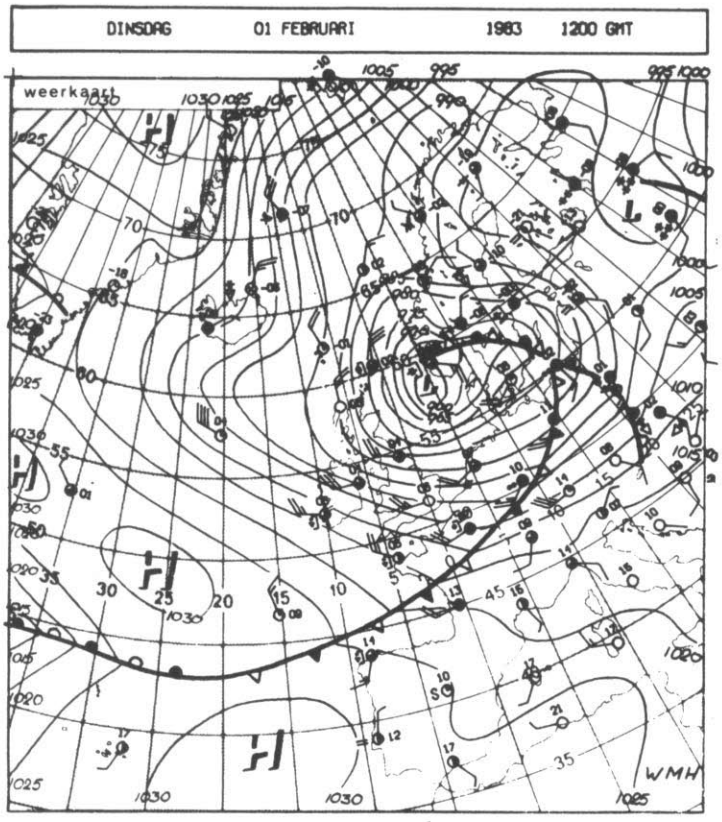
DE BILT, 2 feb. — Het afgelopen etmaal heeft het hele land last gehad van de zware storm. Het hoogtepunt van de storm werd gisteren aan het einde van de middag bereikt. Diverse kuststations maten windkracht 11 en er kwamen windstoten voor tot circa 140 kilometer per uur.

De ontwikkeling van de depressie die de storm veroorzaakte was klassiek. Zij vormde zich zondag op de oceaan en begon maandag in de buurt van Schotland zeer sterk uit te diepen. Gisteren trok de kern over de Noordzee en nu bevindt ze zich al bij Finland.

De stormdepressies van 1953 en 1976 ontstonden op soortgelijke wijze. Toch waren die nog ongunstiger voor de waterstanden langs het grootste deel van de Nederlandse kust. Ze trokken namelijk iets langzamer waardoor de storm langer doorstond en op het noorden van de Noordzee een stuk sterker was.

Door de trechterwerking van de Noordzee bij noordwester stormen bepaalt namelijk niet alleen de wind aan onze kust maar ook de wind op de rest van de Noordzee hoe hoog het water komt. Ondanks een bijna 10 millibar lagere drukwaarde in de kern dan in 1976 en ondanks het springtij waren de waterstanden in 1976 over het algemeen wat hoger.

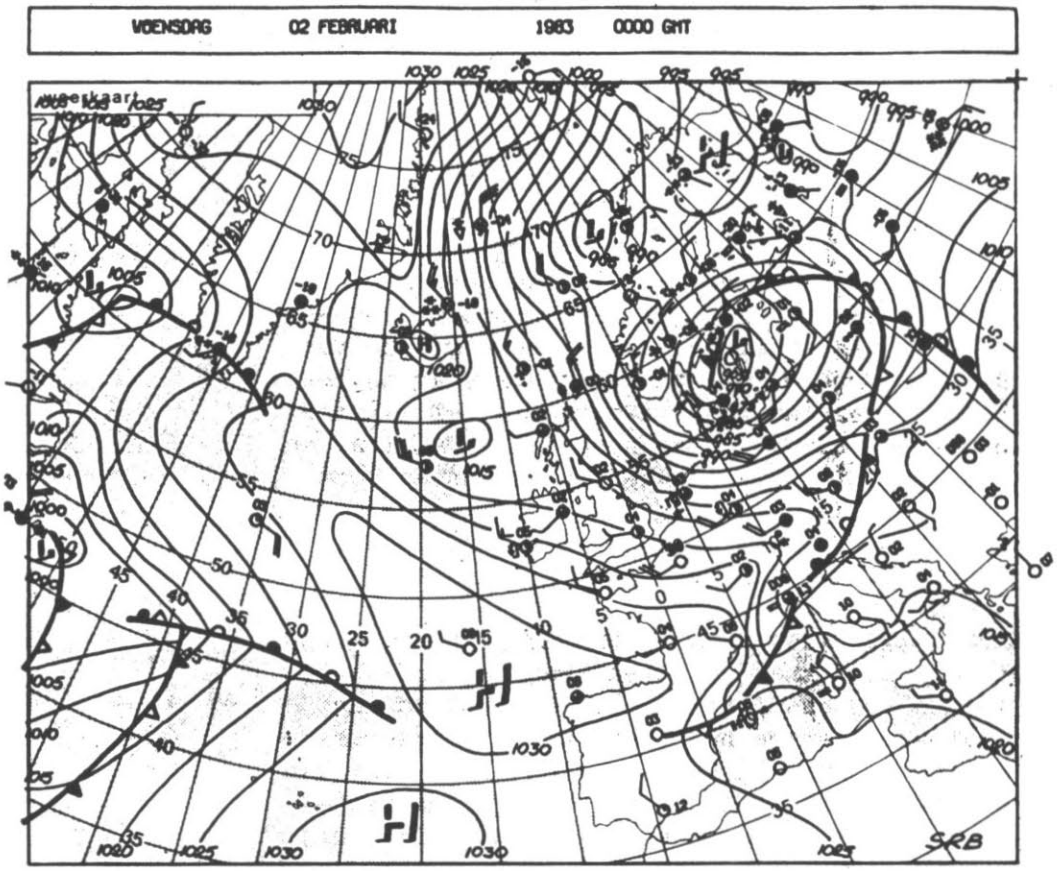
Ter vergelijking volgen hierna de hoogste waterstanden in centimeters boven NAP van enkele kuststations in respectievelijk 1953, 1976 en 1983. Vlissingen 455, 398 en 376; Hoek van Holland 385, 298 en 260; Den Helder 325, 297 en 273; Harlingen 366, 369 en 352; Delfzijl 327, 435 en 389.



11.

Op 1 februari 1983 woedde er een zware storm over ons land (zie het artikeltje uit de N.R.C. en het weerkaartje van 12.00 GMT).

- Hoe groot was de windsnelheid om 12.00 GMT in De Bilt? En hoe groot de luchtdruk?
- Waait de wind rond de depressie met



Weersverwachtingen voor dinsdag tot en met vrijdag.

Wisselend bewolkt en enkele buien. Middagtemperatuur ongeveer 7 graden. Harde zuidwestelijke wind, aan de kust en op het IJsselmeer zuidwesterstorm.

Verwachtingen voor:
Dinsdag: wisselend bewolkt; neerslagkans 80 procent; temperaturen tussen 2 en 5 graden.
Woensdag: wisselend bewolkt; neerslagkans 70 procent; temperaturen tussen 1 en 4 graden.
Donderdag: neerslagkans 70 procent; temperaturen tussen 0 en 3 graden.
Vrijdag: neerslagkans 70 procent; temperaturen tussen 0 en 3 graden.

de wijzers van de klok mee (rechtsom) of juist tegen de wijzers van de klok in?

- In het kranteartikel wordt gesproken over 'zware storm', windkracht 11 en windstoten tot 140 km/h. Kloppen die aanduidingen met elkaar?
- Op 2 februari om 00.00 GMT lag het centrum van de depressie al aan de oostkant van Zweden. Schat de snelheid, waarmee de depressie bewoog.

het weerbericht voor jouw situatie

12.

We hebben drie weersverwachtingen uitgezocht. Je ziet of hoort ze 's morgens vroeg. Probeer te beslissen wat voor kleren je aantrekt, of je die dag je huiswerk maar laat zitten of niet, en wat je dan zou kunnen gaan doen (dat moet wel met het weer te maken hebben!); je kunt denken aan zwemmen, zeilen, vissen, bruinbakken, in de tuin werken, eindelijk die regenproeven doen of die wolkenfoto's maken enz. Houd ook rekening met hoe de verwachting is voor de regio, waarin jij woont.

HET WEER

VERWACHTING
TOT HEDENAVOND:
Zwaarbewolkt en op veel plaatsen mist. In de kustprovincies een lokale sneeuwbui. Maxima om het vriespunt.

VOORUITZICHTEN VOOR
MORGEN EN OVERMORGEN:
Plaatselijk sneeuw. Temperaturen om het vriespunt.

Het blijft mooi

Droog en zonnig. Middagtemperatuur ongeveer 18 graden maar op de Waddeneilanden iets lager.
Vooruitzichten voor zaterdag tot en met dinsdag:
Zonnige perioden en mogelijk een bui. Middagtemperatuur ongeveer 17 graden.

hoofdstuk 7

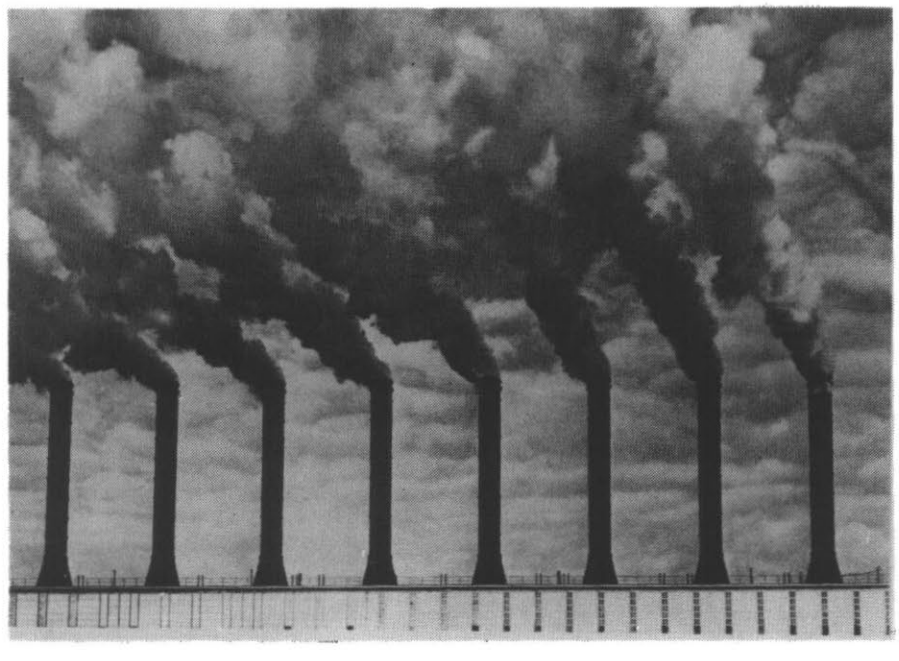
WEERSBEINVLOEDING

inhoud

		blz.
7.1	inleiding	77
7.2	weersbeheersing	77
7.3	luchtverontreiniging en het weer	78
7.4	zure regen	81
7.5	broeikaseffect	83

weersbeïnvloeding

Aan de orde komt:
- hoe kan regenvorming worden bevorderd?
- hoe kan mist worden bestreden?
- wat is luchtverontreiniging?
- welke effecten heeft luchtverontreiniging?
- welke weersomstandigheden bevorderen luchtverontreiniging?
- hoe ontstaat zure regen?
- welke problemen veroorzaakt zure regen?
- wat wordt bedoeld met het broeikaseffect?
- welke gevolgen zou toename van de CO_2-concentratie kunnen hebben?



Wanneer de rook naar d'aarde slaat, weet zeker dat 't reeg'nen gaat.

aktiviteiten:

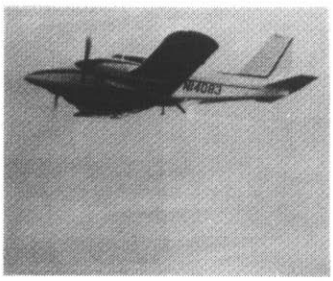
- bediscussiëren van de aanvaardbaarheid van weersbeïnvloeding
- luchtverontreiniging in de omgeving onderzoeken
- resultaten van recent onderzoek interpreteren
- opgaven

7.1 INLEIDING

Van oudsher hebben mensen geprobeerd om in te grijpen in hun natuurlijke omgeving. Kanalen werden aangelegd, polders drooggelegd, kunstmest gebruikt, wind benut, grondstoffen gedolven enz. De natuur werd aangepast aan de behoeften van de mens.
Vanwege het grote belang van het weer bij allerlei menselijke aktiviteiten, ligt het voor de hand dat ook geprobeerd wordt het weer te beïnvloeden. Want het weer schijnt weinig rekening te houden met belangen van mensen. Soms is er te veel regen, dan weer te weinig; hagel kan oogsten en kassen vernietigen; orkanen richten grote verwoestingen aan. In de loop van de tijd kon de mens zich beter beschermen tegen het weer, leerde het weer ook enigszins voorspellen. Maar is het weer ook te *beheersen*?
Dit hoofdstuk gaat op enkele mogelijkheden hiertoe in. Naast deze gewilde weersbeïnvloeding is er ook een weersbeïnvloeding die niet gewenst is, maar die wel het gevolg is van menselijke aktiviteiten. Zo heeft *luchtverontreiniging* invloed op het weer. Maar ook heeft het weer invloed op luchtverontreiniging.
Tenslotte zullen we nog stilstaan bij de processen die een rol spelen bij de vorming van *zure regen* en bij het zogenaamde *broeikaseffect*.

7.2 WEERSBEHEERSING

Regendanser.



Regenmaker.

regen maken
Al heel lang geleden waren er priesters, tovenaars enz., die beweerden over de gave te beschikken om regen te maken. Ook in deze tijd wordt er naar gestreefd om langs bovennatuurlijke weg regen te maken. Wij zullen ons richten op de natuurkundige processen van regenvorming en op de mogelijkheden om in deze processen in te grijpen.
De volgende methoden van *regenmaken* zijn tot nu toe gebruikt:
– *Vast koolstofdioxide (temperatuur ca. −60°C) uitstrooien over wolken.*
De bedoeling is daarmee onderkoelde druppeltjes in wolken verder af te koelen (tot beneden −40°C). Dit leidt tot extra ijsdeeltjes die het neerslagproces in gang kunnen zetten.
– *Zilverjodide (AgI) kristallen verstrooien in wolken.*
Deze kristallen werken als vrieskernen bij temperaturen rond −6°C. Daardoor worden extra ijsdeeltjes gevormd uit onderkoelde druppels.
– *Waterdruppeltjes verstuiven in wolken.*
Deze druppels zijn groter dan die welke in wolken in het algemeen aanwezig zijn, en kunnen het aangroeien van druppeltjes bevorderen. Deze methode werkt ook in wolken met een temperatuur boven 0°C.

1.
Met welke processen van regenvorming komen de drie bovengenoemde methoden overeen?

De resultaten van deze methoden zijn nog weinig bevredigend. Het is natuurlijk ook niet zo simpel aantoonbaar dat regen op een bepaald moment valt dankzij of ondanks één van de gebruikte methoden. De methoden vereisen in elk geval wolken. Bij het doseren van vrieskernen is bovendien een probleem dat een te veel aan vrieskernen leidt tot veel, maar te kleine druppeltjes. Vaak bereiken deze dan niet meer het aardoppervlak.

2.
In sommige staten van de Verenigde Staten is regenmaken langs kunstmatige weg verboden. Welk soort overwegingen zullen bij dit besluit een rol hebben gespeeld?

3.
Probeer in je groep tot een gemeenschappelijk standpunt te komen over de toelaatbaarheid van regenmaken in Nederland. Denk daarbij aan verschillende situaties, aan mogelijke gevolgen en aan belangen van diverse groepen Nederlanders.

mistbestrijding

mistbestrijding

Op vliegvelden kan mist grote hinder opleveren voor het vliegverkeer. De methoden voor *mistbestrijding* die daarbij gehanteerd worden zijn de volgende.

– *Het laten uitsneeuwen van de mist.*

Met droog ijs of AgI-kristallen kan het Bergeron-proces in gang worden gezet. Soms laat men ook propaangas uit cilinders stromen. Door het plotseling uitzetten van het gas koelt het propaan sterk af, en daarmee de mist (zie ook paragraaf 2.3). Ook dit kan tot uitsneeuwen van de mist leiden.

– *Het laten verdampen van de mist.*

Dit kan gebeuren met branders; een vrij dure methode omdat steeds nieuwe mist via wind wordt aangevoerd.

Een andere methode is het vliegen met een helicopter boven de mistlaag. Hierdoor wordt de mist vermengd met de drogere lucht boven de mistlaag, waardoor de mistdruppeltjes verdampen.

4.

Welke methode(n) zijn geschikt voor koude, en welke voor warmere mist?

andere vormen van weersbeheersing

Bomenrij als windbreker.

Behalve de genoemde methoden om regen te maken en mist te laten verdwijnen, zijn er andere manieren waarop de mens invloed probeert te hebben op het weer. Bij boeren zijn op dit gebied voorbeelden te vinden, zoals het plaatsen van rijen bomen om de invloed van de wind te verminderen. Verder gebruikt men grote vellen plastic om de temperatuur van de grond te beheersen. Beide voorbeelden hebben hoofdzakelijk lokale effecten.

Van heel andere grootte-orde zijn de volgende ideeën:

– het bedekken van grote stukken poolijs met zwarte kool;

– het omleiden van grote hoeveelheden water uit warmere streken naar de poolgebieden.

5.

- Welk doel zou beoogd kunnen worden met beide laatste methoden?
- In wiens belang is dat doel?
- Welke gevolgen zou realisatie van deze ideeën kunnen hebben?
- Op welke fysische principes berusten deze methoden?
- Vind je deze methoden aanvaardbaar, of heb je er bezwaren tegen? Beargumenteer je standpunt.

6.

Fruittelers beschikken soms over sproeiinstallaties om hun bomen tegen vorst te beschermen. Verklaar het effect dat deze installaties kunnen hebben.

7.3 LUCHTVERONTREINIGING EN HET WEER

soorten luchtverontreiniging

Onder luchtverontreiniging verstaat men volgens de Wet inzake Luchtverontreiniging: de aanwezigheid in de buitenlucht van stoffen die nadeel voor de gezondheid van de mens en hinder voor de mens kunnen opleveren of schade kunnen toebrengen aan dieren, planten en goederen. Het gaat dan om een afwijking van de normale samenstelling van lucht. Dat kan in de vorm van de aanwezigheid van deeltjes zoals stof en roet. Vaak betreft het gasvormige verontreinigingen zoals zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO en NO_2), koolstofmonoxide (CO), ozon (O_3) en koolwaterstoffen (C_xH_y).

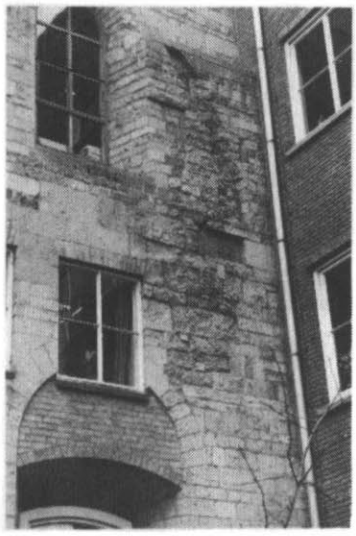
Luchtverontreiniging in het Rijnmondgebied.

bronnen

Luchtverontreiniging kan van verschillende bronnen afkomstig zijn.

– *Ruimteverwarming*: de verwarming van huizen, kantoren, kassen enz.; de stoffen komen meestal op lage hoogte vrij;

– *Industrie*: elke soort industrie heeft kenmerkende soorten verontreiniging, welke


Aangetaste kalksteen.

meestal via (hoge) schoorstenen wordt geloosd;
– *Verkeer*: uit de uitlaatpijpen van auto's, bromfietsen, schepen en vliegtuigen komen diverse vormen van luchtverontreiniging.

effecten

De gevolgen van luchtverontreiniging kunnen van velerlei aard zijn. Bij de mens kan het leiden tot longziekten, oogirritaties, vergiftigingsverschijnselen en psychologische effecten (bijv. door stank). Planten, gewassen en bomen zijn vaak gevoelig voor luchtverontreiniging. Bladeren en bloemen kunnen worden aangetast, wat leidt tot een belemmering van de groei en verminderde vruchtopbrengst. Sommige planten zijn zo gevoelig voor bepaalde vormen van luchtverontreiniging, dat ze als indicator kunnen worden gebruikt om de aanwezigheid van bepaalde gassen aan te tonen. Zo schijnen korstmossen zeer gevoelig te zijn voor SO_2: ze verdwijnen al bij geringe concentraties SO_2.
Verder kan schade aan materialen worden aangericht. Voorbeelden hiervan zijn vervuiling door stof, corrosie van metalen door zure gassen, de verkleuring van verf en de aantasting van rubber.
Luchtverontreiniging kan ook van invloed zijn op het weer. Een lokaal effect is bijv. de vermindering van zonnestraling. In het Rijnmondgebied bereikt 10 tot 15% minder straling de grond dan elders. Soms zijn ook effecten op de regenval aangetoond. Dit schrijft men toe aan het grote aantal deeltjes in de atmosfeer in industriële gebieden.

1.
• Van welke luchtverontreinigingsbronnen in je omgeving (stad, dorp of regio) ondervinden mensen schade of hinder? Welke stoffen zijn de oorzaak hiervan? Zijn er gegevens bekend over de concentratie van deze stoffen?
Probeer via rapporten, interviews of telefoontjes deze informatie te achterhalen.
• Over welke mogelijkheden beschikt de Nederlandse burger om zich te verzetten tegen schade of hinder door luchtverontreiniging?

2.
Informeer bij een docent biologie naar andere voorbeelden van schade aan planten door luchtverontreiniging.

3.
Uit deze eeuw zijn een aantal gevallen van ernstige luchtverontreiniging bekend: Luik (1930), Donora (1948), Londen (1952). Rotterdam (1959, 1962, 1971). Beschrijf een van deze gevallen. Denk daarbij aan de bron, de weersomstandigheden en de gevolgen.

4.
In wetenschappelijke kringen bestaat enig verschil van mening over de lokale weerseffecten van luchtverontreiniging. Sommigen beweren dat de aanwezigheid van veel stofdeeltjes regenvorming bevordert, anderen menen dat het voorkomen van veel condensatie- en vrieskernen regenvorming juist belemmert. Leg uit dat voor beide beweringen wat is te zeggen. Waarom is het zo moeilijk uit te maken wie het bij het rechte eind heeft?

concentratie

De ernst van luchtverontreiniging wordt sterk bepaald door de concentratie van stoffen in de lucht. Vergeleken met bijvoorbeeld stikstof en zuurstof gaat het om zeer kleine hoeveelheden. Zo wordt SO_2 zelden in concentraties hoger dan 0,0001% van het volume aangetroffen. In 1 m^3 lucht bevindt zich dan 1 cm^3 SO_2. Daarom drukt men de *concentratie* niet uit in procenten maar in vpm (volumedelen per miljoen). Vaak gebruikt men de Engelse term hiervoor: ppm (parts per million). Soms drukt men concentratie ook uit in de eenheid mg/m^3 of $\mu g/m^3$.
Onderstaande tabel geeft enkele voorbeelden van concentraties van enkele vormen van luchtverontreiniging.

concentratie

Voorbeelden van concentraties van luchtverontreiniging.

naam	symbool	achtergrond*	praktijk
zwaveldioxide	SO_2	10^{-3} ppm	1,5 ppm (Londen)
stikstofoxide	NO	10^{-3} ppm	0,7 ppm (USA 1952)
ozon	O_3	0,02 ppm	1 ppm (Los Angeles)
koolwaterstoffen	C_xH_y	–	20 ppm (USA)

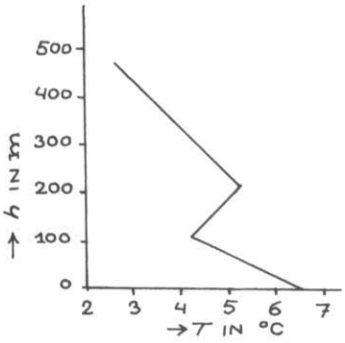
* de concentratie op grond van natuurlijke processen.

5.
Normale lucht bevat ca. 0,03% CO_2. Hoeveel ppm is dit?

6.
Hoeveel maal groter was de concentratie van SO_2 in de smogperiode van 1952 in Londen, vergeleken met de achtergrondconcentratie?

verspreiding van luchtverontreiniging

De concentratie van luchtverontreiniging wordt door veel factoren beïnvloed. Bij de bron zijn belangrijk de hoeveelheid stoffen die wordt geloosd en de hoogte waarop dit gebeurt. Vervolgens spelen de weersomstandigheden een heel belangrijke rol. Voor de hand ligt, dat de windsnelheid van invloed is. Een zwakke wind belemmert de verspreiding van stoffen. Zwakke winden treden veelal op in de buurt van hogedrukgebieden. Deze hogedrukgebieden hebben nog een ander nadeel in dit verband. In het centrum daalt de lucht gestadig met voorspelbare gevolgen voor de concentratie van luchtverontreiniging bij de grond.



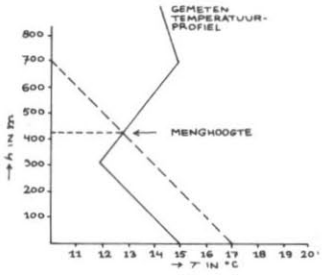
Temperatuurprofiel van de onderste laag van de atmosfeer, met een inversie op ca. 100 m hoogte.

menghoogte

Van grote invloed op de menging van geloosde stoffen met de omringende lucht, is de toestand van de onderste laag van de atmosfeer. Wanneer deze instabiel is, zal er veel lucht in beweging zijn. De lucht kan zonder moeite stijgen tot grote hoogte. Anders is de situatie wanneer zich een stabiele laag op geringe hoogte bevindt.
Hiernaast is zo'n situatie weergegeven met een inversie op ca. 100 m hoogte: op deze hoogte neemt de temperatuur toe met de hoogte (zie ook paragraaf 2.3). Stoffen die geloosd worden beneden 100 m (verkeer, ruimteverwarming) blijven beneden de inversielaag, stoffen die via hoge schoorstenen worden geloosd kunnen daarentegen het aardoppervlak niet bereiken.
Wanneer zo'n inversielaag enkele honderden meters stijgt, blijft álle luchtverontreiniging vlak bij het aardoppervlak.
De hoogte tot op welke de luchtverontreiniging kan worden gemengd door turbulentie, noemt men de *menghoogte*. Deze menghoogte wordt bepaald aan de hand van het temperatuurprofiel van de atmosfeer, gemeten door de weerballonnen die dagelijks door het KNMI in De Bilt worden opgelaten. In het kader op blz. 81 wordt beschreven hoe men deze menghoogte bepaalt.
De menghoogte kan sterk variëren. In onstabiele situaties met buien en krachtige verticale uitwisseling, kan de menghoogte wel op 5 km of hoger liggen. De tabel hieronder geeft aan wat metingen in De Bilt gedurende het jaar 1971 aan menghoogten opleverden.

De dagelijkse maximale menghoogte te De Bilt in 1971.

menghoogte (m)	500	500-1000	1000-1500	1500
aantal dagen	117	110	79	59



bepaling van de menghoogte
Tweemaal per dag meet men met een weerballon het temperatuurprofiel van de atmosfeer. In de tussentijd verandert dat profiel vooral dicht bij de grond, onder invloed van zonnestraling die op de aarde valt of uitstraling bij heldere hemel. In de tekening hiernaast bevindt de menghoogte zich op het moment van meting van het temperatuurprofiel op 300 m. Wanneer de temperatuur dicht bij de aarde stijgt, dan verandert het temperatuurprofiel aan de onderkant. De nieuwe situatie is te benaderen met een lijn die een helling heeft van 1°C per 100 m. Met deze methode kan het temperatuurprofiel van de aarde, en dus ook de menghoogte, worden bepaald op tijdstippen ná het oplaten van de weerballonnen.

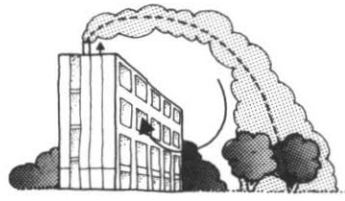
voorbeeld voor het bepalen van de menghoogte
Door de maximum temperatuur aan de grond (hier 17°C) wordt een lijn (streepjeslijn) getrokken met een helling van 1°C per 100 m. In het punt waar deze lijn het gemeten temperatuurprofiel snijdt, ligt de menghoogte: in dit voorbeeld op een hoogte van 400 m.

Het Regionaal Actiecentrum Rijnmond (Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmondgebied) geeft als waarschuwing aan de industrie een vijftal codes uit:
Code 1 De meteorologische omstandigheden ontwikkelen zich zodanig, dat overlast kan worden verwacht in de komende ochtend/middag/avond/nacht.
Code 2 In verband met ongunstige meteorologische omstandigheden wordt de bedrijven verzocht elke, overlast veroorzakende, uitworp beneden de ca. 40 m zoveel mogelijk te beperken.
Code 3 De weersomstandigheden kunnen zich zodanig gaan ontwikkelen, dat overlast kan worden ondervonden van prikkelende lucht.
De desbetreffende industrieën wordt verzocht alle overlast veroorzakende uitworp, ook boven de 40 m, tot een minimum te beperken.
Code 4 Wees bedacht op de door de Commissaris der Koningin te nemen maatregelen ingevolge art. 48 van de Wet inzake de Luchtverontreiniging.
Code 5 Einde van alle waarschuwingen.

De vijf waarschuwingscodes van de Centrale Meld- en Regelkamer.

Op het KNMI wordt dagelijks berekend, hoe groot de kans is dat verontreiniging in de atmosfeer zich ophoopt. In combinatie met het gemeten niveau van luchtverontreiniging, kan door de Centrale Meld- en Regelkamer voor de Rijnmond worden vastgesteld of waarschuwingen aan de industrie nodig zijn. Men gebruikt daarbij vijf codes.

7.
De hoogte van een schoorsteen is van invloed op de mate van luchtverontreiniging bij de grond.
Rond gebouwen treden extra wervelingen van lucht op, die een lage schoorsteenpluim neerwaarts kunnen buigen.



Als veilige hoogte van schoorstenen h_s neemt men daarom $2{,}5 \cdot h_g$ aan, waarbij h_g de hoogte van een naburig gebouw is. Ga in je omgeving na of schoorstenen aan deze eis voldoen.

8.
Beschrijf de weersomstandigheden die er toe zouden kunnen leiden dat je je oom in Schiedam maar een weekje later gaat opzoeken.

7.4 ZURE REGEN

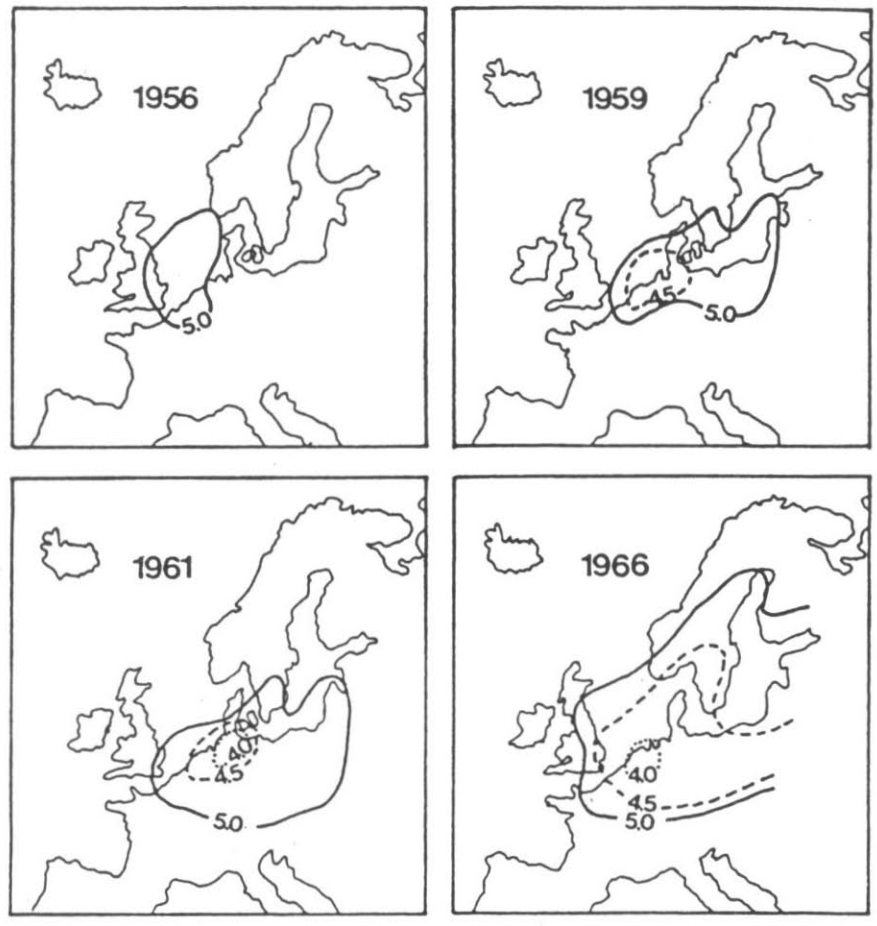
zure regen

Enkele voorbeelden van pH-waarden:
1: sterk zuur
3 à 4: azijnzuur
7: normaal water
13: sterke base

Luchtverontreiniging kan ook gevolgen hebben voor de samenstelling van neerslag. Het kan leiden tot *zure regen*, een ernstige vorm van milieuverontreiniging. Zure regen wordt veroorzaakt door zwaveloxiden en stikstofoxiden. Deze gassen ontstaan bij verbrandingsprocessen van kolen en olie in energiecentrales, fabrieken en verbrandingsmotoren (verkeer). Opgelost in water vormen ze zuren (zwavelzuur H_2SO_4 en salpeterzuur HNO_3). De pH van regenwater daalt dan tot soms wel 4. Op blz. 82 zie je hoe in de loop van de jaren de zuurgraad van de regen in Europa is veranderd.

Zure regen heeft een aantal nare gevolgen. Het tast stenen en metalen oppervlakken aan bij gebouwen, standbeelden enz. In rivieren en meren belemmert het de eivorming bij enkele vissoorten en vermindert het de hoeveelheid plankton in het water. Verder wordt de groei van planten en bomen belemmerd.

De zuurgraad van regen wordt wat geneutraliseerd door ammoniak. Regenwatermetingen van het KNMI en het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid hebben aangetoond, dat aan de kust circa 30% van het zuur in regenwater door ammoniak is geneutraliseerd. Dit percentage loopt op tot meer dan 50% in het binnenland. Dit is minder gunstig dan



Lijnen van gelijke pH voor de neerslag in Europa in 1956, 1959, 1961 en 1966 (Odèn, 1968).

het lijkt. In de bodem kan ammoniak namelijk weer omgezet worden in een zuur, volgens de scheikundige vergelijking:

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow 2H^+ + NO_3^- + H_2O$$

Het ammoniak heeft in de bodem dus weer een extra verzurend effect.
In Nederland wordt op zo'n 90 plaatsen regelmatig de samenstelling van regenwater bepaald. Bij het bepalen van de zuurgraad kunnen zich invloeden doen gelden van:
- insecten
- vogeluitwerpselen
- licht
- bacteriën.

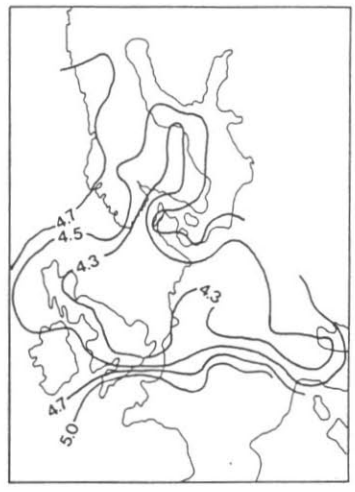
Deze invloeden zijn niet eenvoudig weg te werken. Een mogelijkheid is het snel nemen van een regenmonster, gevolgd door een onmiddellijke analyse.

1.
Informeer bij je scheikunde-leraar welke chemische processen een rol spelen bij de vorming van zure regen.

2.
Zure regen wordt wel genoemd als argument om kerncentrales de voorkeur te geven boven kolencentrales. Wat bedoelt men daarmee? Hoe belangrijk vind jij dit argument?

3.
Zure regen is een internationaal probleem, omdat de luchtverontreinigende stoffen zich niets van landsgrenzen aantrekken.
Bereken in dit verband hoe snel de lucht boven Nederland volledig is ververst bij een Westenwind van 10 m/s. Waarom is 'verversen' hier eigenlijk niet juist?

4.
Met welke maatregelen zou de overheid het probleem van de zure regen kunnen aanpakken?



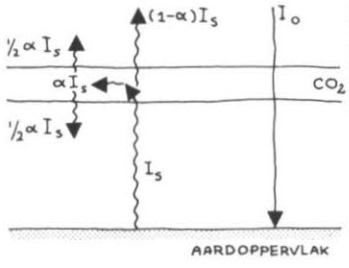
Lijnen van gelijke pH voor de neerslag in Europa in 1974 (OECD, 1979).

5.
Van welke weersomstandigheden is de zuurgraad van de regen in ons land afhankelijk?

6.
Hiernaast zie je het resultaat van recentere metingen aan de zuurgraad dan in het kaartje op blz. 82. Vergelijk de gegevens van 1966 en 1974.
- Wat is de voornaamste verandering ten aanzien van de zuurgraad in diverse gebieden? Wat zou de oorzaak van deze verandering kunnen zijn?
- Hoe denk je dat in de toekomst het probleem van de zure regen zich zal ontwikkelen?

7.5 BROEIKASEFFECT

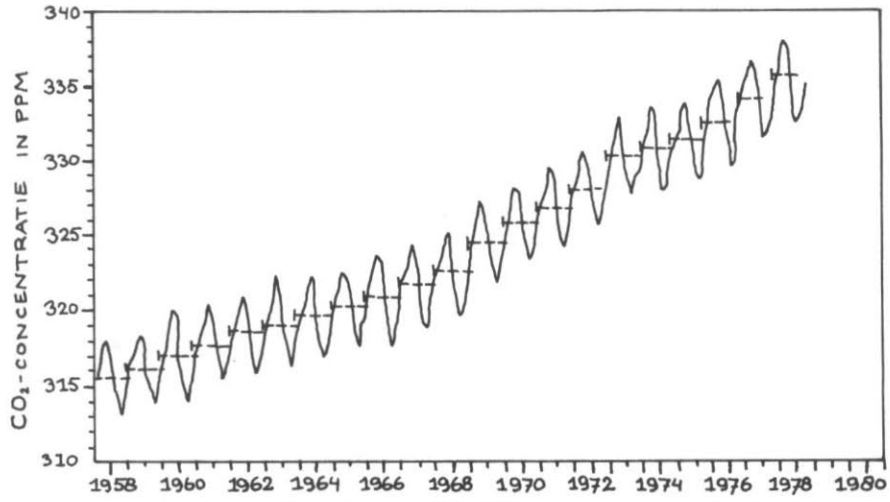
In de vorige paragrafen kwam aan de orde, dat de uitstoot van gassen gevolgen kan hebben voor een gebied dat groter is dan een enkel land. Sommige gassen kunnen zelfs van invloed zijn op het gehele aardse klimaat. Een voorbeeld hiervan is koolstofdioxide (CO_2).
CO_2 is één van de produkten van ons ademhalingsproces, en noodzakelijk voor de groei van planten. In de atmosfeer bevindt zich ca. 0,033% CO_2 ofwel 330 ppm. Deze concentratie is gering, vergeleken met gassen als zuurstof en stikstof. Toch is deze geringe hoeveelheid van grote betekenis voor het aardse klimaat.
Het gas heeft namelijk de eigenschap dat het zichtbaar zonlicht ongehinderd doorlaat, maar *infrarood-straling* deels absorbeert. Infrarood-straling wordt door de aarde uitgezonden, vooral wanneer zij door zonnestraling is opgewarmd. Men noemt haar ook wel *warmtestraling*. De infrarood-straling wordt, na absorptie door CO_2, vervolgens weer uitgestraald in alle richtingen. Hiernaast zie je dit proces. Voor het gemak is de CO_2 getekend, alsof het zich in één laag in de atmosfeer zou bevinden.



broeikaseffect

I_o is de invallende zonnestraling, die door het CO_2 niet wordt geabsorbeerd. Deze bereikt de aarde en wordt daar ten dele omgezet in warmtestraling (infrarood-straling). Deze warmtestraling I_s wordt voor een deel geabsorbeerd door het CO_2: deze hoeveelheid is $a \cdot I_s$. Hierin is a de absorbtiefactor, die afhangt van de CO_2-concentratie en waarvoor natuurlijk geldt: $0 \leqslant a \leqslant 1$. De overige straling ($I_s - a \cdot I_s = (1 - a)\, I_s$) verdwijnt naar het heelal. De geabsorbeerde straling $a \cdot I_s$ wordt naar alle kanten uitgestraald. Effectief betekent dat, dat de ene helft naar de aarde ($\frac{1}{2}\, a \cdot I_s$) wordt uitgestraald.
Deze extra uitstraling omlaag, doet de temperatuur in onderliggende lagen van de atmosfeer stijgen. We noemen dit het *broeikaseffect*, omdat het lijkt op wat in een broeikas gebeurt. Bij een hogere temperatuur stelt zich dan een nieuw evenwicht in tussen I_o en de totale uitgestraalde hoeveelheid straling.

Nu blijkt uit metingen van de CO_2-concentratie, dat deze gestadig toeneemt. Op blz. 84 zie je een diagram van metingen op Hawaii. Duidelijk is een seizoensvariatie te zien. De jaarlijkse toename staat onomstotelijk vast. Minder duidelijk is, wat precies de consequentie van deze toename is. Een eerste beschouwing zou tot het volgende resultaat kunnen leiden. De CO_2-concentratie neemt toe, dus zal de aardse temperatuur gemiddeld toenemen. Berekend is, dat een verdubbeling van de CO_2-concentratie een tempe-



Ontwikkeling CO_2-concentratie in de jaren 1958-1980, zoals gemeten op het Mauna Loa-observatorium op Hawaii.

ratuurstijging van ca. 3°C tot gevolg zou hebben. Deze hogere temperatuur zou leiden tot afsmelting van de poolkappen, waardoor de zeeën stijgen. Minder ijs betekent minder terugkaatsing van zonlicht en meer absorptie: nog meer temperatuurstijging dus, met rampzalige gevolgen voor de Lage Landen bij de Zee.
Zo simpel ligt de zaak echter (gelukkig?) niet. Een hogere temperatuur betekent, dat er meer water zal verdampen. Dit verhoogt de bewolkingsgraad op aarde. Wolken kaatsen zichtbaar zonlicht terug de ruimte in, waardoor een deel van het CO_2-effect te niet wordt gedaan. Verder is nog onvoldoende bekend welke rol planten, bomen en oceanen precies zullen spelen bij een toename van het CO_2-gehalte.
Veel onderzoekers houden zich bezig met de vraag wat de gevolgen van de CO_2-toename zouden zijn. Het vraagstuk is zo ingewikkeld, dat definitief uitsluitsel voorlopig niet te verwachten is. Eén van de problemen is bijv. dat de jaarlijkse variatie van de gemiddelde temperatuur van vrij veel factoren afhangt. Een temperatuursverandering als gevolg van de CO_2-toename is daarom moeilijk aan te tonen.

1.

- Welke bronnen zorgen voor de uitstoot van CO_2 in de atmosfeer?
- Op welke wijzen verdwijnt CO_2 uit de atmosfeer?
- Welke invloed zou ontbossing kunnen hebben op het CO_2-gehalte van de atmosfeer?

2.

Verklaar de jaarlijkse variatie (tussen maximum en minimumwaarden) van de CO_2-concentratie. Verwacht je verschillen tussen Noordelijk en Zuidelijk halfrond?

3.

Probeer in je groep tot een standpunt te komen over de vraag of het gewenst is, dat nu reeds tot een vermindering van verbranding van kolen, gas en olie wordt besloten? Zo nee, waarom niet? Zo ja, welke gevolgen heeft dit en hoe kunnen tastbare resultaten worden geboekt?

hoofdstuk 8

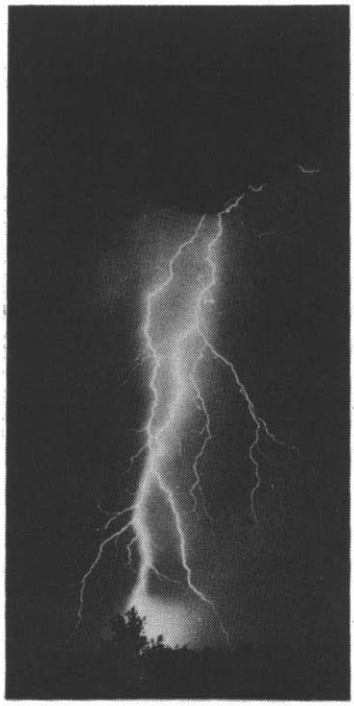
MET HET WEER IN DE WEER

inhoud

		blz.
8.1	inleiding	86
8.2	informatiebronnen	86
8.3	suggesties voor onderwerpen en onderzoeksvragen	87
8.4	bronnenlijst	88

met het weer in de weer

Aan de orde komt:
- hoe ga je om met informatie(bronnen)?
- je eigen onderwerp



spreuk: Als slakken en padden kruipen, zal het spoedig druipen.

aktiviteiten:
- informatie verzamelen, analyseren en verwerken

8.1 INLEIDING

Als je dit thema in zo'n vijf weken hebt gedaan, is dat een hele prestatie. Je bent dan een heel stuk wijzer geworden over het weer.
Toch zul je ook wel gemerkt hebben, dat er over het weer nog veel méér te vertellen is. Op sommige onderwerpen kun je veel dieper ingaan, zoals bijv. wind, satellieten, wolken, weerkaarten. Andere onderwerpen hebben we in dit thema zelfs nauwelijks aangeroerd: te denken valt aan grote circulaties, mistvorming, tornado's, regenbogen. Ook zijn er onderwerpen die niet speciaal op het weer slaan, maar die je wel met de kennis uit dit thema te lijf zou kunnen gaan, bijv. binnenklimaat, ijstijden, weer en gezondheid, enz.
Het ligt dus voor de hand om het thema met een *eigen keuze*-onderwerp af te sluiten. Nu hebben wíj bij het maken en jíj dus bij het doen van dit thema erg vaak gebruik gemaakt van allerlei soorten informatiebronnen. We noemen KNMI-boekjes, weerkaarten, kranteberichten, radio- en tv-nieuws en boekeń over het weer. Het *verzamelen* van en *omgaan* met dat soort informatie vinden we dan ook zo'n belangrijke vaardigheid, dat we die aktiviteit in deze keuzeperiode centraal stellen. Over het onderwerp dat je kiest zul je *zelf* de nodige informatie bij elkaar moeten zoeken. Die informatie moet je gaan analyseren, waarna je in een verslag of rapportage je belangrijkste bevindingen kunt presenteren.
We zullen je daar wel bij helpen. We zullen eerst in het algemeen een aantal *soorten* informatie*bronnen* noemen en een paar *tips* geven over hoe je daar mee om kunt gaan. Daarna geven we een aantal *ideeën* voor onderwerpen en een gedetailleerde lijst van beschikbare informatiebronnen over het weer.

8.2 INFORMATIEBRONNEN

Zonder helemaal volledig te zijn, maken we onderscheid tussen de volgende bronnen van informatie:

in bibliotheken
- encyclopedie
- leerboeken (waaronder dit themaboek)
- populair-wetenschappelijke boeken
- kranten (zowel bij het nieuws, als in de rubrieken over wetenschap)
- informatiemappen en knipselbakken

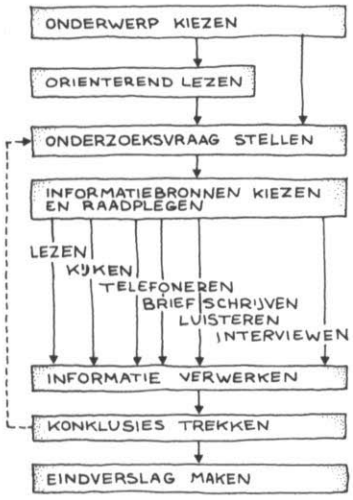
- radio- en televisie
- dia's, fotoseries en posters
- films en video-opnamen
- folders, informatiemateriaal van instanties
- handleidingen bij apparatuur
- bepaalde telefoonnummers

waar staat je leraar?
- deskundigen
- amateurs en hobbyisten
- kennissen (soms wel uitkijken voor schijndeskundigheid!)

- je eigen ervaring en deskundigheid.

Soms is deze informatie in de vorm van tekst, foto's, diagrammen of schema's, soms ook om naar te kijken of om naar te luisteren.

Hoe *kies* je nu uit alle beschikbare bronnen?
Belangrijk daarbij is, dat je weet wat je wilt uitzoeken, wat je *onderzoeksvraag* is (jawel, ook zonder experimenten spreek je daarvan). Als je dat nog niet precies weet, kun je natuurlijk ook over een bepaald onderwerp eerst wat *oriënterend lezen*.
Op basis van je onderzoeksvragen *kies* je de informatiebronnen. Probeer er wel meerdere aan te boren! Misschien moet je daarvoor een afspraak maken met iemand of een brief schrijven (er gaat vaak nogal wat tijd over heen voor je antwoord krijgt). Maak een

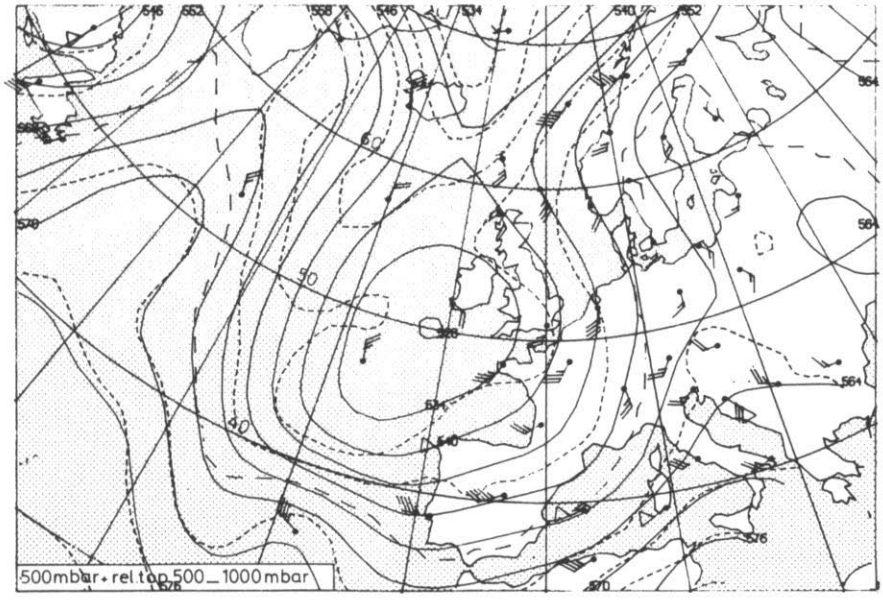


Informatie verzamelen en verwerken.

gedetailleerde lijst van alle bronnen, die je gebruikt.
Om je informatie te *verwerken* moet je een keuze maken uit belangrijke en minder belangrijke bronnen, hoofd- en bijzaken onderscheiden in een tekst, je aantekeningen van een lezing of interview uitwerken en eventueel overleggen met anderen.
Tenslotte kun je komen tot een *samenvattend verslag*, waarin je in ieder geval ingaat op je onderzoeksvraag uit het begin. Vermeld hierin ook duidelijk welke bronnen je hebt gebruikt en waar de informatie precies te vinden is (blz. nummers in een boek of adres van een instantie, enz.).

8.3 SUGGESTIES VOOR ONDERWERPEN EN ONDERZOEKSVRAGEN

Je kunt op een groot aantal zaken, die in het thema al aan de orde zijn geweest, dieper ingaan.
Voorbeelden zijn:



500 mbar-kaart.

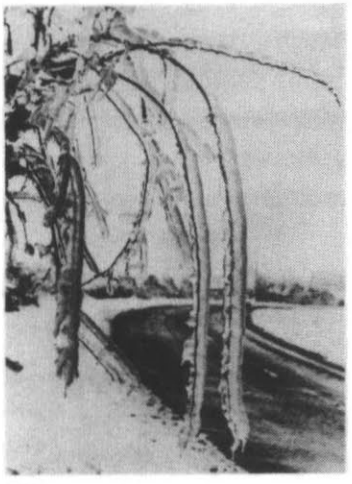
- weerkaarten en satellietfoto's
  – wat is een 500 mbar-kaart en waar dient hij voor?
  – waar komt de informatie voor een weerkaart precies vandaan?
  – hoe kunnen satellieten om de aarde blijven draaien?
  – hoe worden de satellietfoto's gemaakt en naar de aarde overgebracht?

- meetinstrumenten voor het weer
  – hoe worden de diverse weersgrootheden op een professionele manier gemeten?
  – wat is de werking van de verschillende meetinstrumenten?
- wolkengeslachten
  – bestaat er een fijnere indeling van wolken en wat kun je daarmee doen?
- voorspelmethoden
  – van wat voor modellen wordt bij het voorspellen van het weer gebruik gemaakt?
  – hoe ver vooruit zou je kunnen voorspellen?
  – wat is de waarde van de Enkhuizer Almanak?
- luchtverontreiniging, zure regen, broeikaseffekt.
  – waar is de luchtverontreiniging in Nederland het sterkst en wat doet men eraan?
  – hoe kun je het milieu beschermen tegen de gevolgen van zure regen?
  – hoe is het CO_2-gehalte veranderd in de laatste honderd jaar?
  – wat is de rol van de ozonlaag in de atmosfeer?

Maar je kunt ook op andere onderwerpen, die met het weer te maken hebben, ingaan.
Voorbeelden zijn:

- optische verschijnselen in de atmosfeer
  – hoe ontstaat een regenboog?
  – wat is het noorderlicht?
  – hoe ontstaan luchtspiegelingen?

Regenboog.



Rijp.

- onweer
– hoe ontstaat onweer?
– hoe kun je je er tegen beschermen?
- ijstijden en klimaten
– kan er een nieuwe ijstijd komen?
– wat is de invloed van een klimaat op het weer?
- tornado's
– hoe ontstaat een tornado?
– kan men tornado's voorspellen?
- het weerbericht voor maatschappelijke sectoren
– wat is het belang van het weerbericht voor scheep- en luchtvaart?
– is er een verband tussen militaire acties en het weer?
- het KNMI
– wie werken er bij het KNMI en wat doen ze daar?
– wat kost ons de weervoorspelling en is dat het waard?
- straalstromen en Rossby-golven
– wat zijn straalstromen?
– wat zijn Rossby-golven?
– hoe beïnvloeden ze het weer?
- mist
– hoe ontstaat mist?
– wanneer trekt mist op?
- sneeuw, ijzel, rijp
– wat is het verschil tussen 'droge' en 'natte' sneeuw?
– wanneer ontstaat ijzel, wanneer rijp?
- binnenklimaat
– welke klimaat-faktoren zijn belangrijk voor hoe je je in huis voelt?
– hoe zijn die faktoren te regelen?
- het weer en de gezondheid
– wanneer en hoe beïnvloedt het weer de stemming van mensen?
– welke ziekten en gezondheidsafwijkingen hebben rechtstreeks te maken met het weer?

Tenslotte kun je ook nog een eigen onderwerp of eigen onderzoeksvragen bedenken. Overleg in elk geval even met je leerkracht of bepaalde onderwerpen haalbaar zijn.

8.4 BRONNENLIJST

Weerstation Lunteren

LUNTEREN — Het Weerstation Lunteren heeft het volgende overzicht opgesteld over de maand september:

Gemiddelde minimumtemperatuur: 11.78 graden Celsius
Gemiddel maximumtemperatuur: 21.88 graden Celsius
Gemiddelde neerslag: 1.22 millimeter
Totale hoeveelheid neerslag: 36.5 millimeter
Laagste minimum temp.: 4.1 graden Celsius op 23 september 1982
Hoogste minimum temp.: 16.9 graden Celsius op 6 september 1982
Laagste maximum temp.: 16.7 graden Celsius op 30 september 1982
Hoogste maximum temp.: 27.6 graden Celsius op 15 september 1982
Grootste hoeveelheid neerslag op een dag: 8.8 millimeter op 26 september 1982

Overzicht van de maanden september uit voorgaande jaren:

Jaar	gem.min.temp.	gem.max.temp.	gem. neerslag	totale neerslag
1981	10.75	20.57	1.35	40.5
1980	11.77	21.99	1.24	37.2
1979	9.56	19.53	0.94	28.2
1978	10.29	17.88	2.02	56.6
1977	9.48	18.81	0.19	5.6
1976	10.05	18.88	2.01	60.3
1975	12.42	19.58	2.10	62.9

Amateurwaarnemingen.

het KNMI
– aktuele informatie: het dagelijks weerbericht (ook voor kranten, radio en tv), maandelijkse overzichten, jaarboeken
– handleidingen (alleen via je leerkracht te verkrijgen), bijv. over weersatellieten, meteoren, instrumenten, algemene meteorologie
– film: het KNMI in de weer (ook via het NIAM te verkrijgen)
– informatie-envelop
– wolkenplaten
– voorlichtingsbrochure

weeramateurs
– Werkgroep Weeramateurs, inlichtingen bij Stichting de Koepel, Nachtegaalstraat 82 bis, Utrecht
– een waarnemingsstation in jouw omgeving

tijdschriften
– Natuur en Techniek
– Zenith: Stichting de Koepel
– Aarde en Kosmos
– De Jonge Onderzoeker

dia's en films
– veel films en diaseries zijn te koop: informeer bij je leerkracht
– Boven de horizon, Canadese Ambassade, Den Haag over het beheersen van het weer (tegen verzendkosten)
– De grote windstromen, TFC, Velp, bestelnummers 5550 en 5551
– videobanden van de stichting TELEAC

boeken (Bron: KNMI)
Eenvoudig leesbaar:

BAILEY, B. — HET WEER
Mobilé-reeks, Uitg. 'Helmond', Helmond 1974, 48 blz.

BENDA, H.A. — GEZIEN HET WEER
Uit de Agrarische Reeks van het Ministerie van Landbouw, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1976

CLERQ, M. de — HET WEER; VAN BEGRIJPEN NAAR VOORSPELLEN
Uitg. de Sikkel, Reeks: Onze Horizon, Antwerpen, 1970, 123 blz.

PELLEBOER, J.H. — WAT VOOR WEER?
Uitg. Unieboek, Bussum, 1976, 96 blz.
VOLKSWEERKUNDE, KLOPT HET OF NIET
Uitg. Boekencentrum, 's-Gravenhage, 1976, 117 blz.
EXTREMEN IN NOORD-NEDERLAND
Uitg. Nieuwsblad v.h. Noorden, Groningen, 1977, 184 blz.

TITULAER, CHR. — DE MENS EN HET WEER
Uitg. Elsevier, Amsterdam, 1979, 152 blz.

VERSCHUUREN, J. — WEERSPREUKEN
Uitg. C. Zelen, Maasbree, 1980, 85 blz.

Dieper gravend:

BOLLE, B. — BAROMETERS
Uitg. De Haan, Haarlem, 1978, 240 blz.

BUCKNELL, J. — KLIMATOLOGIE
Uitg. Het Spectrum, Aulareeks, Utrecht, 1967.

BUISHAND, T.A.
VELDS, C.A. — NEERSLAG EN VERDAMPING
Deel 1 van de serie 'Klimaat van Nederland', Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1980, 206 blz.

BUISMAN, J. — WEER OF GEEN WEER?
Sesam-boek, Uitg. Bosch en Keunig, Baarn, 1978, 247 blz.

CALDER, N. — DE WEERMACHINERIE en de dreiging van het ijs
Uitg. Bosch en Keunig, Baarn, 1974, 143 blz.

FLOHN, H. — KLIMAAT EN HET WEER
Uitg. Meulenhoff-De Haan, Amsterdam, 1968, 255 blz.

FORSDYKE, A.G. — HET WEER
Uitg. Elsevier, Amsterdam/Brussel, Reeks: Videoboeken, 1971, 157 blz.

GENDEREN, A.M. van — OORZAKEN VAN KLIMAATVERANDERINGEN
Supplement no. 5 op 'Hemel en Dampkring', Uitg. Wolters, Groningen, 1967, 75 blz.

HAM, C.J. van der
en anderen — WIJ EN HET WEER
Cursusboek bij een televisiecursus, Uitg. Stichting Teleac, Postbus 2414, Utrecht, 1977, 208 blz.

JANSSEN, W.D.M.
SCHIMMEL, F.M. — WEERSATELLIETEN: handleiding voor de zelfbouw van een eenvoudig grondstation, Uitg. Kluwer, Deventer, 1973

KEIDEL, C.G. — WOLKEN VOORSPELLEN HET WEER
Reeks Natuurgidsen, Uitg. Thieme, Zutphen, 1981, 130 blz.

KÖNNEN, G.P. — GEPOLARISEERD LICHT IN DE NATUUR
Uitg. Thieme, Zutphen, 1980, 152 blz.

LANE, F.W. — ALS DE ELEMENTEN RAZEN
Uitg. A.M.C. Stok, Den Haag, 1968, 208 blz.

LEHR, P.E.
BURNETT, R.W.
ZIM, H.S. — HET WEER EN DE WEERSVOORSPELLING
Natuurgids, Centrale Uitg. Harderwijk, Zd. Ned. Uitg. Antwerpen, 2e druk, 1971/1972, 144 blz.

MINNAERT, M. — DE NATUURKUNDE VAN HET VRIJE VELD
Deel I: Licht en kleur, 5e druk, 1968, 408 blz.
Deel II: Geluid, warmte, elektriciteit, 3e druk, 1970, 352 blz.
Deel III: Rust en beweging, 3e druk, 1972, 321 blz. Uitg. Thieme, Zutphen.

ROTH, G.D. — ELSEVIERS GIDS VAN HET WEER
Uitg. Elsevier, Amsterdam, 1978, 249 blz.

SCHMIDT, F.H. — INLEIDING TOT DE METEOROLOGIE
Uitg. Het Spectrum, Utrecht, Aulareeks 112, 1976, 316 blz.

THOMPSON, Ph.D.
O'BRIEN, R. — HET WEER
Uitg. Parool/Life, Wetenschapsserie, Amsterdam, 1966, 200 blz.

WATTS, A. — HET TELEWEERBOEK
(Voorspelgids met wolkenfoto's) Uitg. N.V. Teleboek, Bussum, 1968, 64 blz.

WATTS, A. — VOOR DE WIND – goed windgebruik voor zeilers
Uitg. De Boer Maritiem, Bussum, 1976, 96 blz.

ZWART, B. — INFORMATIE IN WOORD EN BEELD OVER HET WEER
Uitg. Moussault, Amsterdam, 1970, 56 blz.

ZWART, B. e.a. — WOLKEN IN DE ATMOSFEER
Uitg. Stichting 'De Koepel', Nachtegaalstraat 82 bis, Utrecht.

DIV. AUTEURS — KLIMAATATLAS
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1972, 69 blz. kaarten + 18 blz. toelichting

DIV. AUTEURS — LUCHTVERONTREINIGING EN WEER
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1979, 324 blz.

Uit de A.O.-reeks:

SCHOUTEN, W.J.A. — BUYS BALLOT-STICHTER VAN HET K.N.M.I. no. 495

WESSELS, H.R.A. — BUIENRADAR, 1964, no. 1023

VELDS, C.A. — LUCHTVERONTREINIGING, meteorologisch bezien, 1968, no. 1199

KAMP, B.M. — HET K.N.M.I. doet nog meer, 1973, no. 1456

SCHUURMANS, C.J.E. — KLIMAATSVERANDERINGEN, 1975, no. 1560

KRUIZINGA, J.H. — HET WEER IN DE VOLKSMOND, 1976, no. 1620

Speciaal voor 6-VWO geschreven:

BOTZEN, A. KOENE, C.P. BACKUS, J.G.E.M.	WEERKUNDE Educaboek Uitg. Tjeenk Willink/Noorduijn, Culemborg, 1981, 61 blz.
OTTEVANGER, W.P.	WEERKUNDE Uitg. Malmberg, Den Bosch, 1979, 42 blz.
WELIE, Th. van	WEERKUNDE Uitg. Wolters/Noordhoff, Groningen, 1980, 79 blz.
HAGE, J.C.H. van der WESSELS, H.R.A.	NATUURKUNDE VAN DE ATMOSFEER Uitg. Wolters/Noordhoff, Groningen, 1980, 67 blz.

deskundigen
- je natuurkunde-leraar
- je aardrijkskunde-leraar, vooral als hij fysische geografie heeft gestudeerd
- je biologie-leraar
- en anderen.

INDEX

absolute temperatuur 14
albedo 23
altus 40
anemometer 17
aneroïde barometer 15

Bergeron-proces 47
bewokingsgraad 43
broeikas-effect 83

cirrus 40
coalescentieproces 47
concentratie 79
condensatiekern 38
coriolis-kracht 33
cumulus 40

dauwpunt 31
depressie 57

energiebalans 26

front 55
frontvlak 55

haarhygrometer 16
hagel 49
hogedrukgebied 57

instabiele atmosfeer 28
inversie 29
isobaar 21

koufront 55
krimpen 63
kringloop 27
kwikthermometer 13

luchtdruk 15
luchtdrukgradiënt 32

menghoogte 80
mistbestrijding 78
motregen 49

nimbus 40
numerieke methode 68

occlusiefront 55
onderkoeling 38, 47

regen 49
regenmaken 77
relatieve vochtigheid 16
ruimen 63

satellietfoto 22
sneeuw 48
stabiele atmosfeer 28
stationair front 55
statistische methode 67
stratus 40
synoptische methode 66

temperatuurgradiënt 28
treffer 71
troposfeer 27

vrieskern 38, 47

warmtefront 55
weerkaart 20
windrichting 17
windsnelheid 17
windvaan 17
wolkenbasis 38

zure regen 81

Begeleidingscommissie S.V.O.-project 0213 (vooronderzoek voor het PLON, 1972-1974)

F. van de Maesen (voorzitter tot 1973); hoogleraar natuurkunde Technische Hogeschool Eindhoven
N.J. Heijkoop (voorzitter 1973-1974); inspecteur voortgezet onderwijs
W.P.J. Lignac (secr.); secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
S. Auer, algemeen didacticus Universiteit van Amsterdam
F. Balkema, inspecteur voortgezet onderwijs
H.P. Hooymayers, lector natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
H.J.L. Jongbloed (1972-1973), mediadeskundige NIAM
J. Schweers, leraar natuurkunde havo/vwo
J. Smit, inspecteur voortgezet onderwijs
E. Warries, hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
M. van Wieringen (1973-1974), mediadeskundige NIAM

Stuurgroep PLON (1974-heden)

H.P. Hooymayers (voorzitter), hoogleraar natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
W.P.J. Lignac (secr. tot 1978), secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
A.A.M. Agterberg (secr. sedert 1978), secretaris Advies Commissie voor de Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde in oprichting
P. Broekman (sedert 1980), hoofd afdeling Bèta en Gammavakken CITO
F. Dekkers (sedert 1979), hoofddocent natuurkunde Moller Instituut
H. Lengkeek (tot 1977), leraar natuurkunde mavo
D.A. Lockhorst (tot 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
J. Schipper (sedert 1980), medewerker A.P.S.
M. Sjamaar (sedert 1982), rector Niels Stensen College te Utrecht
A. Snater (tot 1980), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
F.J. Steenbrink (tot 1978), leraar natuurkunde vwo
J.M.F. Teunissen (tot 1975), onderwijskundige Rijks Universiteit Utrecht
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo te Putten
R. de Vries (sedert 1980), leraar natuurkunde havo/vwo, namens de NVON
E. Warries (tot 1975), hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
S.A. Wouthuysen (tot 1976), hoogleraar natuurkunde Universiteit van Amsterdam

Kerngroep PLON havo-bovenbouw

G. Buisman (sedert 1978), leraar natuurkunde hts
P.G. Hogenbirk (1981-1982), leraar natuurkunde havo/vwo
E. Holl (sedert 1982), leraar natuurkunde havo/vwo
E. Maarschall (1978-1981), leraar natuurkunde hts
H. Poorthuis (1978-1981), leraar natuurkunde havo-top pedagogische academie
J. Scherrenburg (sedert 1978), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
W.J.G. Schraven (sedert 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
M. van Woerkom (sedert 1982), leraar natuurkunde havo/vwo

PLON-team havo-bovenbouw

H.M.C. Eijkelhof (sedert 1981)
R. van Eyck (1981-1982)
A.C.L. van Gameren (sedert 1977)
D. van Genderen, Rijks Universiteit Utrecht
F.L. Gravenberch (1978-1983)
P.G. Hogenbirk (1981-1983)
T. Jörg (sedert 1982)
W.H. Kamphuis (sedert 1978)
P.T. Kloek (sedert 1983)
J. Kortland (sedert 1982)
P.L. Lijnse, Rijks Universiteit Utrecht
B. Pelupessy (sedert 1978)
H. Vermeulen (1981-1983)
R.F.A. Wierstra (sedert 1978)

PLON-administratie

E. van den Broek (1976-1979)
R. Lindeman (1977-1980)
M. Rolff van den Baumen (1974-1979)
N. Rotteveel (sedert 1982)
A.G. Schwering (1980-1982)
B. Schillert (sedert 1980)
H. Veurink (tot 1974)

Tekeningen

A. Lurvink (Onderwijs Media Instituut, Rijks Universiteit Utrecht)
H. de Waal (Onderwijs Media Instituut, Rijks Universiteit Utrecht)

Foto's

A.C.L. van Gameren (PLON)
W.H. Kamphuis (PLON)

PLON-CITO (namens CITO)

F. Boessenkool
P. Broekman
C. Hellingman
T. Heuvelmans
H. Vonken

Proefscholen 1983-1984

Ashram College te Alphen a/d Rijn
S.G. Nijmegen Oost te Nijmegen
Chr. S.G. Revius te Deventer
S.G. Oost Betuwe te Bemmel
Hertog Jan College te Valkenswaard
Marnix College te Ede
Niels Stensen College te Utrecht
Eemland College Noord te Amersfoort
Chr. S.G. Jan van Arkel te Hardenberg
S.G. Huizermaat te Huizen
Chr. Lyceum en Havo te Veenendaal

Overzicht van PLON-thema's voor havo-bovenbouw

VOOR DE 4e KLAS

- Vergelijken
- Weersveranderingen
- Muziek
- Verkeer
- Elektrische Machines
- Energie en Kwaliteit

VOOR DE 5e KLAS

- Lichtbronnen
- Ioniserende Straling
- Elektronica
- Materie
- Repeteerthema

Tevens zijn beschikbaar:

- docentenhandleidingen (AVOL's) en apparatuurgidsen bij elk thema