

leven in lucht



leven in lucht

Samengesteld door de projectgroep van het PLON
voor de 2e klas

Experimentele versie

PROJECT LEERPAKKETONTWIKKELING NATUURKUNDE

- * 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

© 1981 Rijksuniversiteit Utrecht Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde/BV Uitgeverij N I B Zeist

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.

Experimentele uitgave

inhoud

	blz.
Leven in lucht	5
Proeven en opdrachten	11
Leesteksten	39
Woordenlijst	81
	3



WAAROM HET ONDERWERP LEVEN IN LUCHT?

Na 'metalen' en 'water' ga je nu bezighouden met 'lucht'. Lucht vind je overal om je heen. En je gebruikt het voor allerlei dingen:

- we hebben lucht, en liefst schone lucht, nodig om te leven, te ademen
- we kunnen met lucht allerlei dingen doen: windmolens laten draaien, vliegtuigen laten vliegen, banden oppompen
- we hebben lucht nodig om benzine of aardgas te verbranden waardoor allerlei motoren en machines kunnen draaien. Maar de lucht wordt wel smerig van de uitlaatgassen
- het weer wordt bepaald door luchtstromingen, temperatuur en vocht in de lucht

Hoe meer je van lucht afweet, hoe beter je lucht voor allerlei nuttige dingen kunt gebruiken.

Je kunt in dit thema kennis en handigheid opdoen die je, meteen of later, op allerlei gebied kunt toepassen. Enkele voorbeelden:

- gezondheid
 - de werking van je longen
 - roken en luchtvervuiling
 - goede ventilatie in huis
- veiligheid
 - het gevaar van lucht onder druk
 - het gevaar van te warme gasflessen
 - het gevaar van kachels of geisers die onvoldoende lucht-toevoer krijgen
- verwarming
 - warme en koude luchtstromen in huis
 - goed isoleren en zuinig stoken
- hobby
 - vliegeren
 - modelvliegtuigjes
 - muziek maken
- het weer
 - het weerbericht begrijpen
 - de barometer aflezen
 - de windsnelheid meten
- de techniek
 - perslucht
 - windmolens
 - luchtbanden

Een deel van deze onderwerpen vind je in dit boek, een ander deel kun je als onderwerp voor een project voor het tweede deel van dit thema kiezen. Daarover kan je leraar of lerares je meer informatie geven.

WAT GAAT ER BIJ DIT THEMA GEBEUREN?

Dit thema bestaat uit twee 'blokken':

- 1 *het proeven- en opdrachtenblok*. Daarin ligt de leerstof grotendeels vast. Dit blok wordt afgesloten met een proefwerkje
- 2 *het projectenblok*. Daarin ga je je eigen leerstof lezen en opzoeken. Je overlegt met je leraar of lerares in welke vorm je dat aan hem/haar rapporteert

1 *Het proeven- en opdrachtenblok*

Om goed met dit thema aan het werk te gaan is het nodig dat iedereen een aantal dingen van lucht kent. Dat noemen we de *basisleerstof*, die voor iedereen is. Je leraar of lerares zal daarvoor enkele hoofdstukken van het proeven- en opdrachtendeel en de leesteksten aanwijzen. Als basisleerstof zou de leraar bijvoorbeeld kunnen aanwijzen 'lucht is niet niks' en 'de druk van de atmosfeer'.

Daarna kan je uit de andere hoofdstukken er een of twee kiezen om te doen: de *keuzeleerstof*.

Aan het eind van dit blok krijg je een proefwerk dat bestaat uit een gezamenlijk deel over de basisleerstof en een niet gezamenlijk deel over jouw keuzeleerstof.

2 *Het projectenblok*

In het projectenblok ga je met je groepje een project over lucht opzetten en uitvoeren. We bedoelen daarmee dat je een onderwerp kiest waarover je meer wil weten. Je bedenkt hoe je dat gaat doen en wat je ervan wilt leren. Je gaat daarvoor proeven doen, boeken uit de bibliotheek halen of je stapt bijvoorbeeld naar een bedrijf om iets te vragen.

Een project bestaat dus uit verschillende onderdelen.

- 1 *Het kiezen van een onderwerp*. Met je groep ga je overleggen waarover jullie je project gaan houden. Misschien wil je iets waarover je in het proevenblok al wat hebt geleerd, verder uitzoeken, bijv. over je longen, welke instrumenten ze in het ziekenhuis gebruiken om longvolume te meten of hoe de longdruk afhangt van de leeftijd. Maar het onderwerp kan ook gaan over iets waarvan je nog niets in dit boek hebt kunnen vinden, bijv. vliegen of buizenpost.

Als jullie heel veel moeite hebben om iets goeds te verzinnen of om je onderwerp uit te werken, ga dan eens praten met je leraar of lerares.

- 2 *Het opstellen van een onderzoeksvraag*. Na het kiezen van je onderwerp kan je nog niet meteen beginnen. Je moet eerst voor jezelf en je groep vaststellen wát je te weten wilt komen. En ook hoe je daarachter komt: ga je een proef doen, ga je het in een boek opzoeken of ga je het aan iemand vragen? Dat heb je in *Werken met water* al geoefend. Daar ging je een





werkvraag of opzoekvraag opstellen. Als je zo'n vraag opgesteld hebt, blijkt daaruit wat je wilt uitzoeken en hoe je dat gaat doen. Overleg altijd met je leraar of lerares of jouw vraag er één is waarop je, met de tijd en de spullen die je hebt, een antwoord kan vinden.

- 3 *Het uitvoeren van je project.* Je zult boeken moeten vinden, meetinstrumenten en apparatuur moeten pakken om je vraag te beantwoorden. Je leraar of lerares heeft een aantal bladen waarop handige aanwijzingen voor jou kunnen staan.

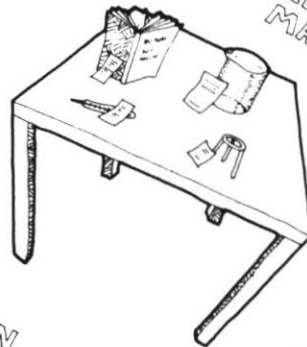
Als je project vlot verloopt, kun je natuurlijk nog andere werk- en opzoekvragen opstellen en uitzoeken.

- 4 *Het maken van een rapportage.* Een van de belangrijkste dingen van onderzoek en dus ook van je project is dat je aan anderen kunt vertellen of schrijven wat je ontdekt hebt. Overleg met je leraar welke vorm je daarvoor kiest: schriftelijk verslag, demonstratie, tentoonstelling en dergelijke. Je leraar zal met jou en met je groepje over je rapportage praten, en je er een beoordeling voor geven.

EEN SCRIPTIE
MAKEN



EEN TENTOONSTELLING
MAKEN



EEN LEZING HOUDEN



EEN KRANT MAKEN



ETC,ETC, BEDENK ZELF,...

In jouw klas kan het anders gaan dan hierboven staat. Dat hoor je dan wel van je leraar of lerares.

OVER DIT BOEK

Dit boek bestaat uit twee delen: een deel met proeven en opdrachten, en een deel met leesteksten. De leesteksten heb je nodig bij het uitvoeren van de proeven en opdrachten, en bevatten verder nog meer informatie over lucht, die je bij je project kunt gebruiken.

Het gebruik van de leesteksten in het proeven- en opdrachtenblok

In ieder hoofdstuk van het deel met proeven en opdrachten staat: 'Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd. De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken'. Als je dat doet, kan je de proeven beter en sneller uitvoeren.

Laten we een voorbeeld nemen. Je gaat met hoofdstuk 3 beginnen. Je leest daarvan de proeven door en je ziet een paar keer het woord 'manometer' staan. Dat apparaat ken je niet. Vóórdat je met de proeven gaat beginnen moet je dus weten wat dat is.

Daarom zoek je in de woordenlijst het woord manometer op. Daarachter zie je een cijfer staan. Dat betekent dat je op die bladzijde een tekst kunt vinden wat we met een manometer bedoelen.

OP EEN TABEL
VAN PAKKEN

druk in atm	volume in liter
0	
1	
2	
3	

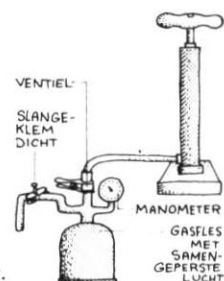
PROEF 3.3 hoe meer lucht...

Je hebt nodig:

- een fietspomp
- een gasfles met ventiel, manometer en kraan
- een slang met twee slangklemmen
- een 'spirometer'

- * Pomp lucht in de gasfles tot de manometer bijv. 2 atm aangeeft.
- * Verbind de gasfles nu via de slang met de spirometer.
- * Laat de gasfles leeglopen en meet hoeveel lucht eruitloopt.
- * Herhaal de proef voor andere drukken.

— Wat is je conclusie?



Door die tekst goed door te lezen kan je er achter komen waarvoor je een manometer gebruikt en hoe die werkt.

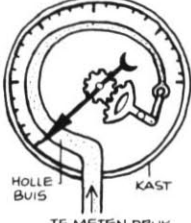
Bij de proeven moet je dus steeds de leesteksten gebruiken.



Rolpieper

DE MANOMETER

Een manometer is een gasdrukmeter. En wel voor gassen die in een ruimte opgesloten zitten, bijv. in gasflessen of autobanden.



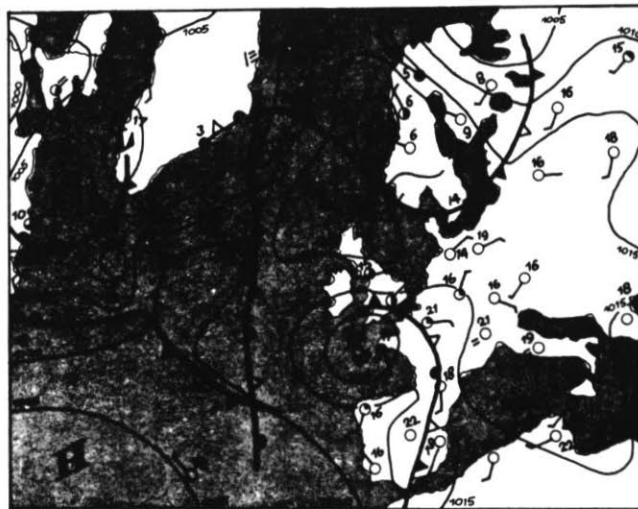
De werking van een manometer

Hoe werkt een manometer?

In de manometer zit een opgerolde metalen buis. Als je daar hard op blaast wil de buis wel uitrollen. Je kent dat, ook wel van zo'n papieren speelgoedding of 'rolpieper'. Als je nu aan de buis een wijzer maakt, ben je klaar. Want hoe harder je blaast, hoe harder je tegen de buis duwt, hoe verder de buis uitrolt en hoe verder de wijzer uitslaat. Dus als een gas hard tegen de manometer duwt (we zeggen dan: *een grote druk heeft*), dan geeft de wijzer dat aan.

Sommige opdrachten gaan over dingen waarover je geen proef hebt gedaan, maar die wel met de proeven te maken hebben. Bij die opdrachten is het de bedoeling je te werpen op belangrijke stukken uit de leesteksten. Door zo'n opdracht uit te voeren kan je zelf controleren of je het begrepen hebt.

Soms kom je ook in een leestekst een woord tegen dat je niet kent en dat in die tekst niet duidelijk uitgelegd wordt. Zoek dat woord dan ook op in de woordenlijst, want misschien staat er in een andere tekst wel meer over. Je kan het ook aan je klasgenoten vragen of in een woordenboek opzoeken. Probeer er zo zelf achter te komen. In het geval dat dat niet lukt, kan je het aan je leraar vragen.



Het gebruik van de leesteksten in het projectblok

Er zijn meer leesteksten dan je voor het proeven- en opdrachtenblok nodig hebt. Die leesteksten kan je gewoon voor je plezier lezen en je kan ze gebruiken tijdens het projectenblok:

- om een onderwerp te verzinnen.

Er zijn leesteksten over het weer, over vliegtuigen en over de lucht in huis. Je kunt er ideeën uit opdoen

- om een onderwerp uit te werken.

Uit de leesteksten kan je een idee krijgen wat je over je onderwerp zou kunnen lezen. Je kan de leesteksten ook als 'bron' gebruiken, waarin je informatie kunt opzoeken (gebruik de Woordenlijst) of waarin staat hoe je dingen kunt meten (bijv. de zonneshijmeter, de regenmeter).

Je ziet dat dit boek je tal van mogelijkheden geeft. En natuurlijk kan je verder nog andere boeken uit de bibliotheek erbij gebruiken. Veel plezier bij dit thema.

inhoud

	blz.
1 Lucht is niet niks	13
2 De druk van de atmosfeer	17
3 Pompen voor druk	21
4 Lucht in onze longen	25
5 Zweven op een luchtstroom	28
6 Lucht en geluid	32
7 Koude lucht – warme lucht	35



1 lucht is niet niks

Overal om je heen is lucht. Je ziet de lucht weliswaar niet, maar je kunt lucht wel degelijk voelen. Je merkt of de lucht koud of warm is. Je voelt de wind. Je ademt lucht in en uit.

Je kunt aan nog veel meer dingen merken dat er lucht om je heen is. Hieronder vind je daarvoor een aantal proeven. Sommige van die proefjes heb je misschien al eens eerder gedaan, van andere proefjes leer je iets nieuws. We hebben deze proefjes bij elkaar gezet om op zo veel mogelijk manieren te laten zien dat lucht 'niet niks' is.

Voor de proeven 1.1 t/m 1.9 heb je nodig:

- plastic zakken
- een paar flinke glazen (of potjes)
- een bak water
- een fles en een trechter
- een kurk
- een plastic of rubber slang
- een fles met een klepje in de dop
- een fietspomp met een 'omgekeerd' leertje



Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.
De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.

PROEF 1.1

Zwaai met je hand heen en weer. Wat voel je op je hand? Hoe komt dat?

PROEF 1.2

Neem een plastic zak in je hand. Maak hem goed open. Zwaai met de plastic zak heen en weer. Wat voel je? Hoe komt dat?

PROEF 1.3

Maak de plastic zak goed open. Neem de bovenkant weer bij elkaar en bind hem dicht. Knijp in de zak, gooi ermee, voel eraan, luister eraan ... en doe er verder alles mee wat je wilt. Beschrijf wat je waargenomen hebt. Wat is je conclusie?



PROEF 1.4

Laat een kurk drijven op een bak water. Zet een glas omgekeerd over de kurk op het water in de bak. Druk het glas naar beneden. Wat zie je? Hoe komt dat?

lucht is niet niks



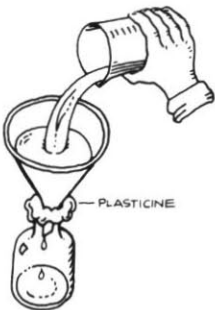
PROEF 1.5

Hou één glas op z'n kop onder water (zonder lucht erin). Duw het andere onder water met lucht erin. Vul onder water het andere glas met lucht. Wat leer je van deze proef?



PROEF 1.6

Blaas een glas onder water vol met lucht door de plastic slang. Wat is je conclusie?



PROEF 1.7

Zet de trechter op de fles. Sluit de hals rond de trechter goed af met wat plasticine. Giet nu water in de trechter. Wat zie je? Hoe komt dat?



PROEF 1.8

Blaas een ballon op die je in een fles hebt gestopt. Wat merk je? Hoe komt dat?



PROEF 1.9

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?

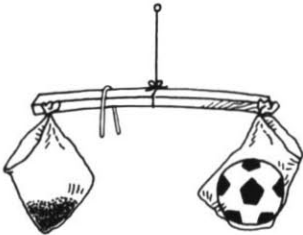
lucht is niet niks

PROEF 1.10

Misschien is er een grote vacuümpomp bij jullie op school. Vraag je leraar om een demonstratie daarvan. Je kunt daarbij het zelfde doen als bij proef 1.9. Als je in plaats van een plastic zak een dichtgebonden plastic handschoen neemt, geeft dat een aardig effect. Je kunt ook een pak vacuümverpakte koffie onder de luchtklok leggen.

Verzin zelf nog andere proeven voor de vacuümpomp. Vraag je leraar of hij ze wil proberen.

PROEF 1.11



Je hebt nodig:

- een lange lat of iets dergelijks
- twee flinke plastic zakken of tasjes
- een opgepompte voetbal
- een stukje ijzerdraad
- wat zand
- pomp voor de voetbal

- * Hang de lat in het midden op.
- * Bevestig de plastic zakken aan de uiteinden.
- * Controleer of de voetbal flink hard is opgepompt.
- * Doe de voetbal in een van de plastic zakken en doe wat zand in de andere totdat de lat in evenwicht hangt. Als je de lat niet goed in evenwicht krijgt, kun je het stukje ijzerdraad op de lichtste kant leggen en hem als 'ruiter' gebruiken.
- * Haal de voetbal uit de ene zak en laat hem leeglopen tot hij geen spanning meer heeft. Maar zorg wel dat hij niet ingedeukt is en nog ongeveer even groot is. Anders vergelijk je niet eerlijk, want je verandert dan niet alleen de hoeveelheid lucht in de bal, maar ook de vorm van de bal.
- * Doe hem nu terug in de plastic zak.
 - Wat zie je gebeuren?
 - Hoe komt dat, denk je?
 - Is lucht zwaar vergeleken met water?

Uit al deze proeven zie je dat lucht niet niks is. Vacuüm is wél niets. Daaruit is alle lucht weggehaald.

lucht is niet niks

OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 1.1 Maak een verslagje van de proeven die je gedaan hebt. Neem ook de antwoorden op de volgende opdrachten in het verslag op.
- 1.2 Noem drie proefjes waarmee je kunt aantonen dat er lucht om je heen is.
- 1.3 Noem twee proefjes waarmee je kunt laten zien dat lucht ruimte inneemt.
- 1.4 Zoek in de leesteksten op wat er staat over 'lege ruimte'. Probeer daarmee uit te leggen wat het verschil is tussen lucht en lege ruimte.
- 1.5 Wat zou er gebeuren als je een plastic zak met lucht erin in een fles stopt en je gaat lucht in de fles erbij pompen?
- 1.6 Zoek de leestekst over 'Hoe zwaar is lucht?' op.
Leg kort uit hoe je het gewicht van 1 liter lucht kunt bepalen.
- 1.7 Hoeveel kilogram lucht zit er in jouw klaslokaal, denk je?
Laat eens zien hoe je dat uitrekent.
- 1.8 Beschrijf in drie regels hoe onze atmosfeer in elkaar zit.
- 1.9 Is een lege fietsband lichter dan een opgepompte fietsband?
Hoe zou je dat kunnen meten? Hoe groot zou het verschil ongeveer zijn: 1 milligram/1 gram/10 gram?



2 de druk van de atmosfeer

De lucht waarin we leven, oefent een flinke druk op ons uit. Daarvan merken we gewoonlijk niets, want we zijn niet anders gewend en ons lichaam is daaraan aangepast. Het zou zelfs onmogelijk zijn te leven als die druk er niet was. Ons lichaam zou 'uitzetten', net als de plastic zak in de fles die je leegpompte (proef 1.9). Maar de lucht drukt aan alle kanten tegen je aan, zodat je lichaam zijn vorm behoudt.

Met proefjes kan je laten zien dat de luchtdruk er inderdaad is en dat de luchtdruk alle kanten op kan duwen.



Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.

De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.

PROEF 2.1

Je hebt nodig:

- een fles
- een stukje papier
- een plastic fles met een gaatje in de bodem

- * Vul de fles tot de rand met water.
- * Sluit de fles af met het papiertje.
- * Draai het geheel om (boven de gootsteen).
 - Wat zie je?
 - Hoe komt dat, denk je?
- * Herhaal de proef met de plastic fles. Houd je vinger steeds op het gaatje.
- * Neem je vinger van het gaatje als je de fles met water omgekeerd houdt.
 - Wat gebeurt er?
 - Hoe komt dat?



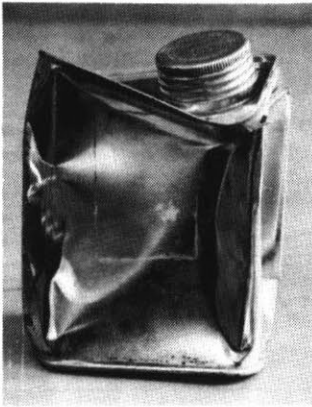
De druk van de lucht is behoorlijk groot. Met de volgende proefjes kun je dat laten zien.



PROEF 2.2

Leg een opgevouwen krant plat op tafel. Zorg dat er zo weinig mogelijk lucht onder de krant zit. Leg er een platte lat onder. Sla nu met een hamer op het uiteinde van de lat. Wat zie je nu? Hoe komt dat?

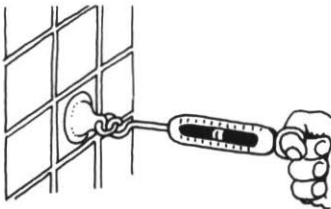
de druk van de atmosfeer



PROEF 2.3

Neem een goed afsluitbaar blik (bijv. verf of olie-blik). 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?



PROEF 2.4

Duw een flinke zuignap, die je een beetje vochtig hebt gemaakt, met een haak stevig op een glad oppervlak. Probeer met een sterke veerunster de zuignap er vanaf te trekken. Hoe groot is de kracht die je moet uitoefenen?

Kan je verklaren hoe het komt dat je zo hard moet trekken?

PROEF 2.5 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 vacuüm-pomp leeg. Dan neem je ieder een handvat en trekt zo hard je kunt. Je kunt ook twee 'gootsteenontstoppers' op elkaar duwen en dan trekken.

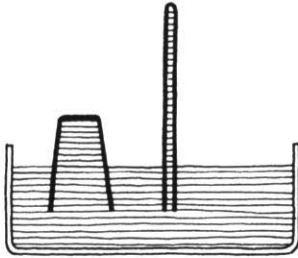
— Wat merk je en hoe komt dat?



de druk van de atmosfeer

PROEF 2.6

- * Dompel een fles of een glas onder water en trek het ondersteboven omhoog.
 - Wat zie je?
 - Hoe komt dat?



Hoe hoog zou de luchtdruk het water omhoog kunnen duwen? Dat kan je gaan meten door een steeds langere fles te nemen. Als je dat wilt proberen, kan je beter een doorzichtige slang in plaats van een fles nemen.

Je moet dan goed doorgekookt water gebruiken. Gewoon water bevat een klein beetje lucht. In doorgekookt water is de meeste lucht eruit. Lucht in het water kan je proef verstoren.

PROEF 2.7 een waterbarometer

Je hebt nodig:

- een flinke emmer
- een dikwandige doorzichtige slang van 12 m lengte
- 5 liter goed doorgekookt water, gemengd met wat kleurstof (ecoline, inkt)

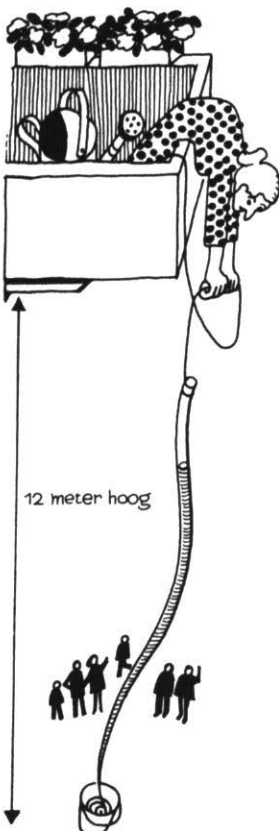
- * Ga naar een plaats waar je minstens 10 m boven de grond kunt komen (trapenhuis, buitenkant flatgebouw).
- * Leg de slang in de bak (opgerold) en zorg ervoor dat hij geheel met water gevuld is.
- * Vul de rest van de slang en de buis tot hij helemaal goed vol is.
- * Sluit de ene kant van de slang met een rubberstopje.
- * Hijs nu de slang aan het afgesloten uiteinde omhoog (hijsen of meenemen de trap op).
- * *Let op!* Zorg dat de open kant van de slang goed onder water blijft (zet hem bijv. vast met een statiefvoet).

Let op het water in de slang. Op een bepaald moment zie je, dat het water niet meer meestijgt als je de slang verder omhooghijst.

- Wat zie je nog meer gebeuren? Hoe komt dat denk je?

Wacht een tijdje, totdat de belletjes zijn uitgewerkt (je kunt tegen de slang kloppen om alle belletjes eruit te krijgen).

- Hoe groot is dan de afstand tussen de waterspiegel in de slang en die in de bak beneden?
- Wat zit er boven het water in de slang?



de druk van de atmosfeer

- Je kunt controleren of dat waar is door de slang weer naar beneden te laten gaan. Kan er boven het water lucht gezeten hebben?
- Hoe groot denk je dat de druk boven het water in de slang was?



De luchtdruk bepaalt hoe hoog het water in de slang komt te staan. Daarom kun je deze opstelling als barometer gebruiken. Stel dan de slang vast op (bijv. bovenin het trappenhuis) met behulp van wat klemmen. Lees regelmatig de stand van het water af. Vergelijk de stand van het water telkens met de barometerstand op dat moment.

PROEF 2.8 druk en hoogte

Hoe hoger je in de atmosfeer komt, des te lager wordt de druk. Dat kun je zelf ook zien in een kerktoeren of een flatgebouw. Neem een metaalbarometer mee. Lees de barometer af wanneer je onderin het gebouw bent. Ga dan de trappen op en lees op elke verdieping de barometerstand af. Wat zie je dan?

OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 2.1 Maak een verslagje van de proeven die je gedaan hebt. Neem ook de antwoorden op de volgende opdrachten in het verslag op.
- 2.2 Noem twee proefjes waarmee je kunt aantonen dat de atmosfeer een druk uitoefent.
- 2.3 Wat kan je meten met een barometer? Hoe werkt een metaalbarometer?
- 2.4 Leg met behulp van de leesteksten uit wat '10 m waterdruk' betekent.
- 2.5 Zoek in de leesteksten op wat er staat over luchtdruk en hoogte. Vat die leestekst in enkele regels samen.
- 2.6 Vliegtuigen die hoog vliegen, hebben een zgn. drukcabine. Wat is dat en waarvoor is die nodig?



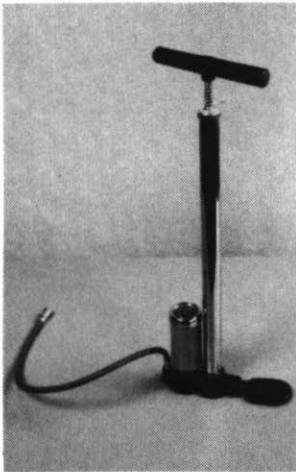


3 pompen voor druk

Als je op een fiets met goed opgepompte banden rijdt, vangen de banden voor een groot deel de schokken van steentjes en andere kleine oneffenheden in het wegdek op. Je profiteert daarbij van een prettige eigenschap van de lucht in de banden: de lucht is veerkrachtig. Daardoor kan een steentje makkelijk een deuk in de band duwen. Daarna duwt de lucht de band weer in zijn oude vorm terug. Je kent dat ook wel als je zelf in een band knijpt. Goed opgepompte banden veren beter dan te zachte banden. Je moet de lucht in je banden dus een extra druk geven door er meer lucht bij te persen. Waarvoor heb je een pomp en een ventiel nodig? Dit hoofdstuk gaat over de fietspomp en het ventiel, over oppompen en over de druk in de band en in de fietspomp.



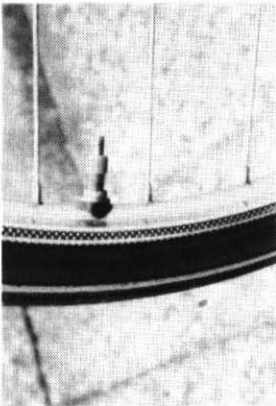
Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.
De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.



PROEF 3.1 de fietspomp

- * Sluit met je vinger de slang van de fietspomp goed af.
- * Duw de zuiger van de fietspomp een beetje omlaag.
 - Wat merk je bij je vinger?
- * Laat vervolgens de zuiger los.
 - Wat gebeurt er dan? Hoe komt dat?
- * Haal de fietspomp uit elkaar en bekijk de onderdelen.
 - Maak een tekening hoe de fietspomp in elkaar zit en schrijf op waar de onderdelen voor dienen.
- * Keer het leertje van de zuiger om en zet de pomp weer in elkaar.
- * Houd je vinger nogmaals op de slang van de fietspomp en trek de zuiger een stukje omhoog.
 - Wat voel je aan je vinger?
- * Laat vervolgens de zuiger los.
 - Wat gebeurt er? Hoe komt dat?
- * Doe het leertje na deze proef weer goed.

pompen voor druk



PROEF 3.2 het ventiel

- * Haal het ventiel van een fietsband uit elkaar en bekijk de onderdelen.
 - Maak een tekening van het ventiel en leg uit hoe het ventiel werkt.
- * Zet het ventiel in elkaar. Pomp de band op.
 - Leg uit hoe de lucht in de band gepompt wordt.

Als je met de fietspomp een band gaat oppompen en je duwt de zuiger omhoog, dan neemt de druk onder de zuiger toe totdat die hoger is dan de druk in de band. Dan gaat het ventiel open en stroomt de lucht in de band en neemt de druk in de band toe. Hoe dat precies zit, gaan we in proef 3.3 bekijken. Maar we gebruiken dan liever geen band, omdat die uitzet als we hem oppompen. Het is makkelijker te kijken naar een blik, dat weinig uitzet als we er meer lucht in pompen.

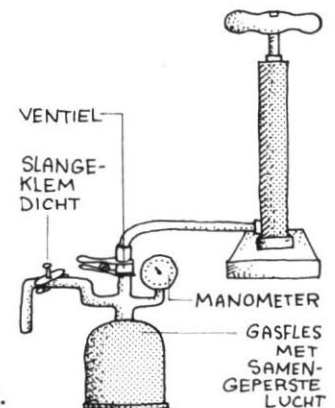
PROEF 3.3 hoe meer lucht...

Je hebt nodig:

- een fietspomp
- een gasfles met ventiel, manometer en kraan
- een slang met twee slangklemmen
- een 'spirometer'

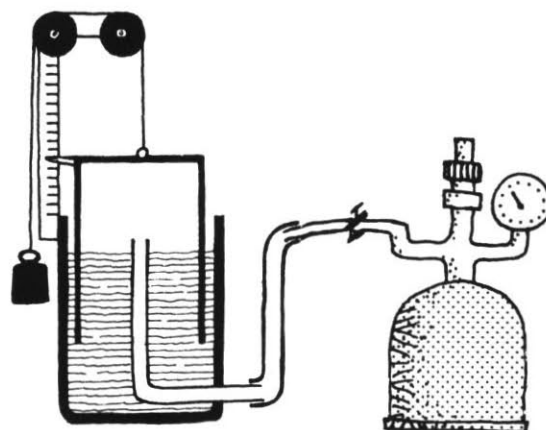
- * Pomp lucht in de gasfles tot de manometer bijv. 2 atm aangeeft.
- * Verbind de gasfles nu via de slang met de spirometer.
- * Laat de gasfles leeglopen en meet hoeveel lucht eruitloopt.
- * Herhaal de proef voor andere drukken.

— Wat is je conclusie?



ER EEN TABEL VAN MUKEN

druk in atm	volume in liter
0	
1	
2	
3	



De spirometer

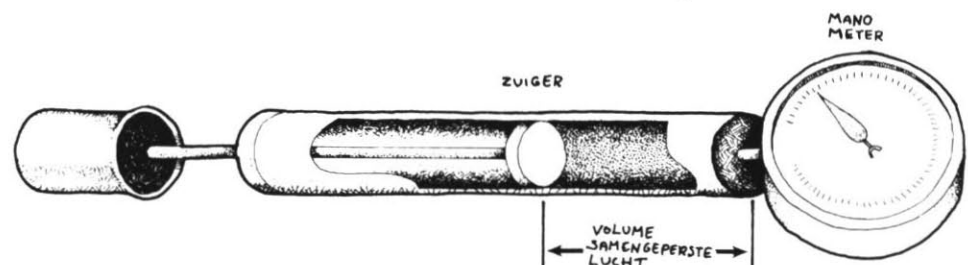
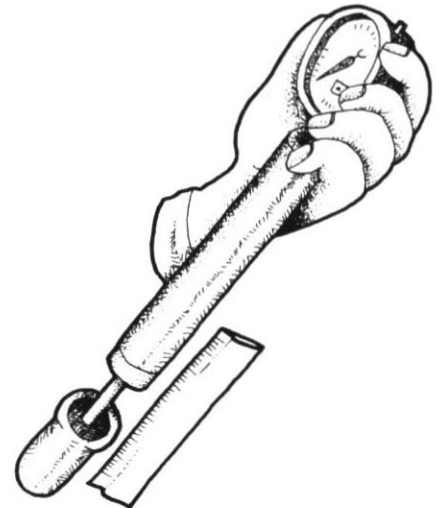
pompen voor druk

Hoe de druk in de fietspomp verandert bij samenpersen, als de lucht er niet uit kan, kan je bekijken in proef 3.4.

PROEF 3.4 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). 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 met de pomp ontsnapt, klopt de meting niet.
- * Doe de meting ook voor andere drukken.
- * Zet je metingen in een tabel.

ER EEN TABEL
VAN MAKEN

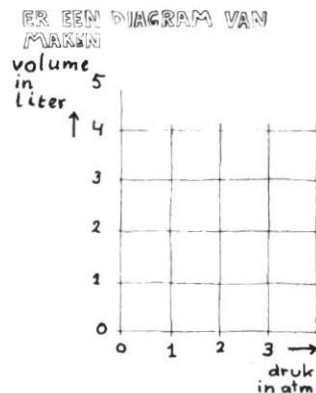
druk in atm	lengte in cm
1	50 cm
2	40 cm
3	

- Wat is je conclusie uit je metingen?

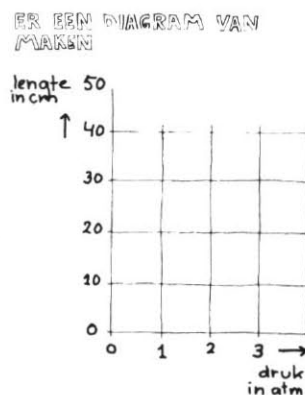
pompen voor druk

OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 3.1 Maak een verslagje van de proeven die je gedaan hebt. Neem ook de antwoorden op de volgende opdrachten in het verslag op.
- 3.2 Zoek in je leestekst op wat er over de fietspomp en het ventiel in staat. Controleer of je de werking ervan goed hebt weergegeven bij de proeven 3.1 en 3.2.
- 3.3 Leg uit hoe je een fles leeg kunt zuigen, zoals de fles in proef 1.9.
- 3.4 Leg de werking van een manometer uit. Wat is het verschil tussen een barometer en een manometer?
- 3.5 Leg uit wat een pneumatisch systeem is. Geef een voorbeeld van het gebruik van een pneumatisch systeem.
- 3.6 In een band kan 3 liter lucht van 1 atmosfeer. Hoeveel liter moet je erbij pompen om de druk 3 atm te maken? Neem aan dat de band daarbij niet groter wordt.
Hoe groot is de bandenspanning dan?
- 3.7 Maak een diagram van de hoeveelheid lucht in de gasfles van proef 3.3 en de druk. Zou je nu de conclusie 'hoe meer lucht, hoe groter de druk' nauwkeuriger kunnen zeggen aan de hand van de grafiek?



- 3.8 Maak ook een diagram van de stand van de zuiger en de druk onder de zuiger van proef 3.4.
Kun je de conclusie 'hoe kleiner het volume, hoe groter de druk' nu nauwkeuriger zeggen met behulp van de grafiek?





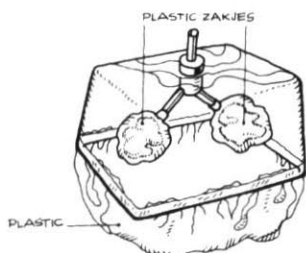
4 lucht in onze longen

Wij hebben lucht nodig om te leven. Daarom ademen we. We zuigen voortdurend lucht in onze longen en blazen de lucht er daarna weer uit. Onze longen bestaan uit talrijke kleine longblaasjes waarin de zuurstof uit de lucht in ons bloed kan komen. Ook het koolzuurgas dat door verbranding van voedsel met de zuurstof in ons lichaam is ontstaan, wordt via de longblaasjes in de lucht gebracht en uitgeademd. Voor een goede werking van de longen moeten de longblaasjes schoon zijn. Daarom is het belangrijk schone lucht in te ademen. De nu volgende proeven gaan over ademen, luchtvervuiling en over je longen.



Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.
De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.

PROEF 4.1 longmodel



In deze proeven kun je aan de hand van een model nagaan hoe je ademhaalt. Je kunt dat model zelf proberen te maken. Het is niet zo moeilijk. Eerst maken we een 'borstkas'. Dat kan op verschillende manieren.

Eén methode is de volgende:

Neem een aquariumbak van plastic. Boor in de bodem een rond gat (voorzichtig: perspex barst gauw).

Nu neem je een luchtpijp — dat is een buisje of rubberslang met een tweesprong — en hangt er de longen (plastic zakjes) aan (plakken met plakband).

Deze luchtpijp hang je in de borstkas met behulp van een doorboorde kurk. Sluit de open kant van de bak goed af met een ruim vallend stuk plastic dat je aan de rand van de aquariumbak met plakband vastzet.

* Beweeg het stuk plastic heen en weer. Je ziet dan dat de longen werken.

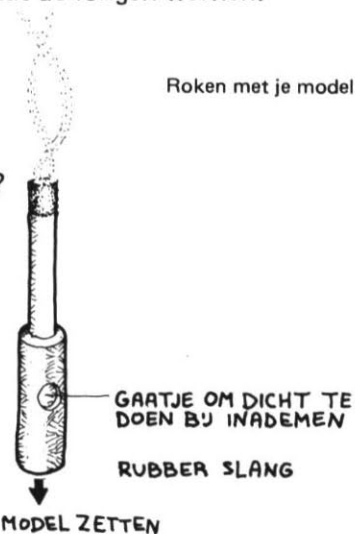
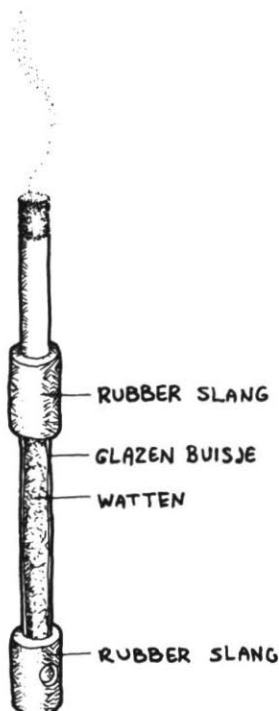
— Leg de werking van deze longen uit.

Je kunt de longen (met watten¹ erin) laten roken.

- Wat zie je gebeuren in de watten van je longen?
- Wat is je conclusie?

Je kunt ook roken door een filter van watten.

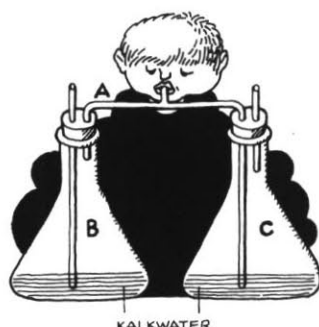
- Wat merk je nu?
- Wat is je conclusie?



¹ Als je watten gebruikt, lijm die dan losjes binnen de plastic zakjes, anders 'kruipen ze in elkaar'. Beter is te gebruiken: dralonvulling voor aquariumfilters, te verkrijgen bij winkels voor aquaria.

lucht in onze longen

PROEF 4.2 het uitgeademde koolzuurgas



De samenstelling van de lucht die wij uitademen, is anders dan de samenstelling van de buitenlucht. Er zit bijv. veel meer koolzuurgas in. Dat koolzuurgas komt uit onze longen. Je kunt dit laten zien met het volgende proefje.

Je hebt nodig:

- twee flessen of erlenmeyers
- rubberstoppen met glasbuisjes
- een U-vormige buis
- kalkwater²

- * Maak de opstelling hiernaast.
- * Adem nu door buis A een aantal malen in en uit.
 - Door welke fles komt de ingeademde lucht binnen? Hoe merk je dat?
 - Door welke fles gaat de uitgeademde lucht naar buiten? Hoe merk je dat?
 - Hoe kun je nu zien dat de uitgeademde lucht koolzuurgas bevat?
 - Er zijn ook manieren om te laten zien dat er nog andere stoffen zitten in de uitgeademde lucht, bijv. zuurstof, water. Hoe zou je dat doen? Doe het en beschrijf dat.



Gasmeter

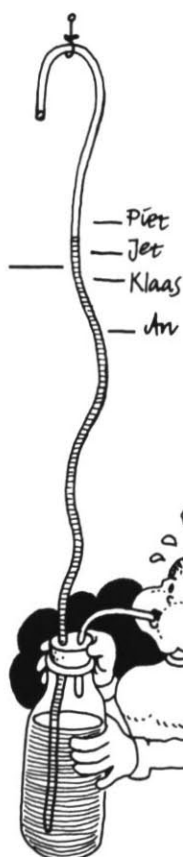
PROEF 4.3 longvolume

Je longen kunnen een bepaalde hoeveelheid lucht bevatten. Bij het uitademen blaas je een deel van de lucht naar buiten. Je kunt met een gasmeter meten hoeveel lucht je maximaal kan uitademen.

- * Adem heel diep in.
- * Adem uit door zoveel mogelijk lucht te blazen door een slangetje dat aan de gasmeter vastzit.
 - Hoeveel lucht is nu door de gasmeter gegaan?
- * Adem ook eens gewoon in en adem daarna door de gasmeter gewoon uit.
 - Hoeveel lucht is nu door de gasmeter gegaan?
 - Welk deel van je longvolume gebruik je dus ongeveer bij gewoon ademen?

² Met kalkwater kun je zien dat in de lucht koolzuurgas aanwezig is. Als je namelijk die lucht met koolzuurgas er doorheenblaast, wordt het kalkwater troebel.

lucht in onze longen



PROEF 4.4 longdruk

Om te weten hoe groot de druk is die je longen kunnen leveren, kan je de volgende proef doen.

Je hebt nodig:

- een fles
- een kurk met 2 gaten
- twee glazen buisjes
- een korte rubberslang
- een lange doorzichtige plastic slang (2,5 m)

- * Maak de lange slang ergens verticaal tegen de muur vast.
- * Blaas zo hard als je kan in de korte slang en houd de druk vast.

- Wat zie je gebeuren?
- Hoe groot is de druk die je longen kunnen leveren?

OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 4.1 Maak een verslagje van de proeven die je gedaan hebt. Neem ook de antwoorden van de volgende opdrachten in het verslag op.
- 4.2 Laat je met het longmodel dat je gebruikt hebt, borstademhaling of buikademhaling zien?
- 4.3 Leg uit hoe jezelf ademhaalt. Gebruik daarbij de woorden borstkas, middenrif, overdruk en onderdruk.
- 4.4 Geef jouw mening over roken en gezondheid.
- 4.5 Waarom meet je bij proef 4.3 niet je totale longvolume?
- 4.6 Bedenk twee redenen waarom er flinke verschillen tussen de longvolumes van je klasgenoten kunnen zijn.
- 4.7 Welke zijn de belangrijkste oorzaken van luchtverontreiniging?
- 4.8 Lucht is een mengsel van een aantal gassen. Noem er daarvan vier die volgens jou de belangrijkste zijn. Zeg erbij waarom jij die het belangrijkste vindt.
- 4.9 Bedenk een proefje waarmee je de onderdruk, die je met je longen kan maken, kunt meten.
- 4.10 Uit één van de drie flesjes kan je geen limonade zuigen. Leg uit waarom niet.





5 zweven op een luchtstroom

Vogels kunnen vliegen. De mensen hebben het van hun proberen te leren. Dat is gelukt. Eerst met vliegers, later met vliegtuigen en luchtkussenvoertuigen. Hoe is vliegen mogelijk? Er is een manier waarbij je gebruik maakt van gasen lichter dan lucht in een ballon (zie ook 7 Hete en koude lucht). In dit hoofdstuk gaan we onderzoeken hoe je kan vliegen met behulp van stromende lucht.



Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.

De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.

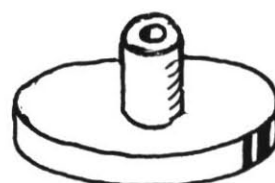


Luchtkussenbaan

PROEF 5.1 een luchtkussenvoertuig

Je hebt nodig:

- een plaatje perspex waarop een buisje gelijmd is
- een stukje slang dat precies om het buisje past
- een grote ballon



- * Maak het stukje slang vast aan het mondstuk van de ballon.
- * Blaas de ballon op.
- * Doe het stukje slang over het buisje zonder dat de ballon leeg loopt.
- * Zet het plaatje met de ballon op een vlakke tafel. Laat de ballon leeglopen.
- * Geef je 'luchtkussenvoertuig' een zetje.

- Wat zie je? Hoe komt dat?

Vliegtuigen maken op een andere manier gebruik van stromende lucht. Door hun bijzondere vormen kunnen hun vleugels het vliegtuig omhoogtillen. Hoe dat precies werkt, kan je in de volgende proeven ontdekken.

zweven op een luchtstroom

PROEF 5.2

- * Neem een reep dun, slap papier.
- * Houd het ene uiteinde bij je mond.
- * Blaas er overheen.

— Wat merk je? Wat is je conclusie?



PROEF 5.3

- * Hang twee bollen, bijv. sinaasappels of pingpongballen, aan twee vrij lange touwtjes vrij dicht tegen elkaar.
- * Blaas tussen de bollen.

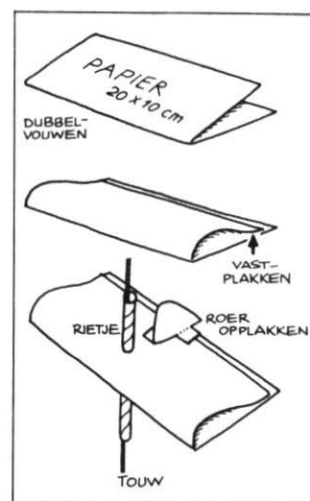
— Wat merk je? Wat is je conclusie?



PROEF 5.4

- * Maak de hiernaast getekende vleugel.
- * Gebruik heel glad touw (bijv. vissersgaren).
- * Plaats je vleugel in een luchtstroom. Je kunt een haardroger, een ventilator of een stofzuiger gebruiken.

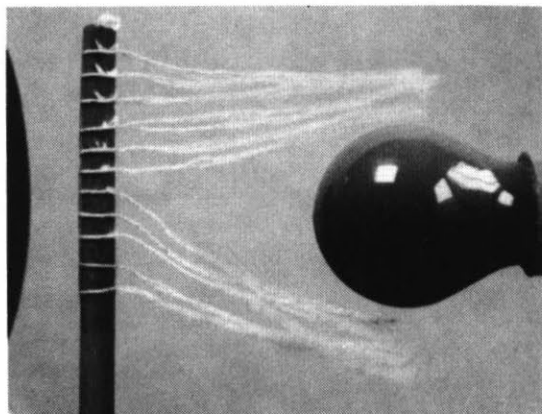
— Wat merk je? Wat is je conclusie?



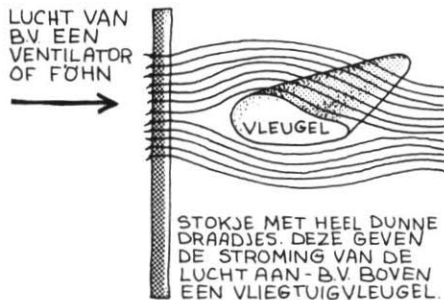
PROEF 5.5

- * Neem een stukje met dunne draadjes.
- * Houd die boven en onder je vleugel.
- * Hoe harder de draadjes fladderen, hoe sneller de lucht stroomt.

— Waar stroomt de lucht het snelst? Wat is je conclusie?



zweven op een luchtstroom



Met wat je in de voorafgaande proeven hebt gezien, kan je de werking van een vliegtuigvleugel verklaren.

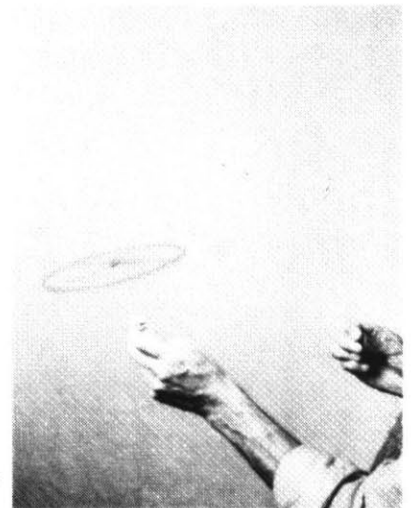
De vliegtuigvleugel heeft een bijzondere vorm. Daardoor gaat de lucht *boven* de vleugel sneller dan de lucht *onder* de vleugel. De lucht die bovenlangs gaat, wordt als het ware *uitgerekt*. Daardoor ontstaat er boven de vleugel een lagere druk dan eronder en wordt de vleugel omhooggedrukt. We noemen dat de 'lift' van de vleugel.

PROEF 5.6

- * Laat de vliegende schotel snel ronddraaien door aan het touw te trekken.
 - Wat gebeurt er? Verklaar dat aan de hand van de vleugelvorm.



Een 'vliegende schotel'



- * Laat de vliegende schotel ook eens de andere kant op draaien.
 - Wat gebeurt er dan? Waarom?

zweven op een luchtstroom

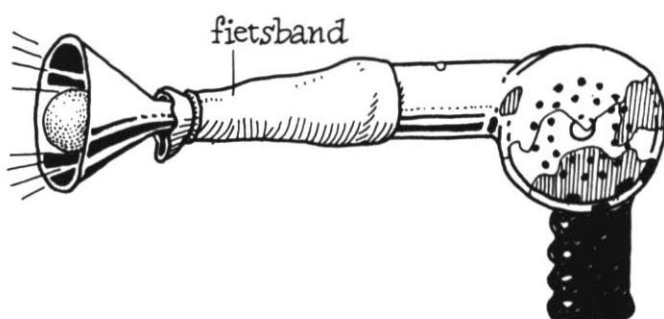


Verrassend is óók wat er kan gebeuren met een pingpongbal in een trechter.

PROEF 5.7

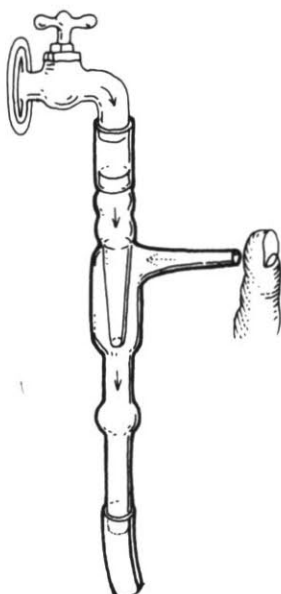
- * Houd de trechter horizontaal of naar beneden.
- * Houd een pingpong- of piepschuimballetje in de trechter.
- * Blaas in de trechter en laat tijdens het blazen het balletje los.

— Probeer het balletje eens uit de trechter weg te blazen.



Je kan ook proberen met de trechter aan de stofzuiger of föhn (een föhn wil wel eens te zwak blazen).

- Waar stroomt de lucht in de trechter het snelste?
- In welke richting wordt het balletje dus geduwd?



OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 5.1 Maak een verslagje van de proeven die je gedaan hebt. Neem ook de antwoorden op de volgende opdrachten in het verslag op.
- 5.2 Hoe werkt een hovercraft?
- 5.3 Leg de werking van een vliegtuigvleugel uit. Teken daarbij hoe de luchtstromen boven en onder de vleugel lopen. Leg uit waarom de luchtstroming zo belangrijk is.
- 5.4 Geef in het kort het verschil tussen de voortstuwing van een vliegtuig met een propeller en met een straalmotor.
- 5.5 Hiernaast zie je een waterstraalpomp getekend. Als je de kraan openzet, kan je door de opening waar de vinger getekend is lucht wegzuigen. Voel maar en probeer het maar eens.
Verklaar de werking van deze pomp met behulp van het principe: Hoe groter de lichtsnelheid, hoe lager de druk. Door de snelheid van het water krijgt de lucht ook een snelheid.

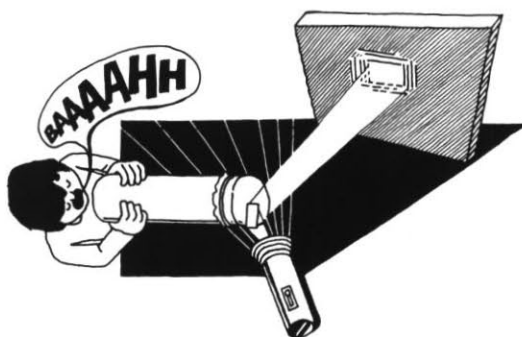


6 lucht en geluid

Een heel belangrijke eigenschap van lucht is dat geluid zich er doorheen kan voortplanten. Geluid speelt een heel belangrijke rol bij het contact dat de mensen met elkaar hebben. Daarom kun je in dit hoofdstuk geluid bestuderen.



Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.
De woordenlijst (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.



PROEF 6.1 geluid zichtbaar maken

Hebben lucht en geluid iets met elkaar te maken? En wat is dat geluid dan? Een 'onzichtbaar' gebeuren proberen we zichtbaar te maken.

Je hebt nodig:

- een kartonnen koker, 20 à 30 cm lang, middellijn minstens 10 cm, liefst groter
- een membraan (elastisch vel) van bijv. rubber
- elastiekjes
- een stukje glas, 2 x 4 cm (bijv. een objectglasje)
- lijm
- een zaklantaarn of een lichtkastje

- * Sluit één kant van de koker af, door er het membraan met de elastiekjes overheen te spannen.
- * Plak het stukje glas op het membraan (naast het midden).
- * Maak de opstelling van hierboven.

Zorg ervoor dat het licht van de lantaarn weerkaatst wordt door het glas en dat je het weerkaatste licht ergens op de muur ziet.

- * Laat iemand vlak voor de koker luid praten of maak allerlei geluiden, zoals een knal of een trommelslag.
 - Wat neem je waar als je tijdens het praten voorzichtig met je vinger aan het membraan voelt?
 - Wat gebeurt er met het lichtplekje op de muur?
 - Wat is je conclusie?

lucht en geluid

PROEF 6.2 stethoscoop



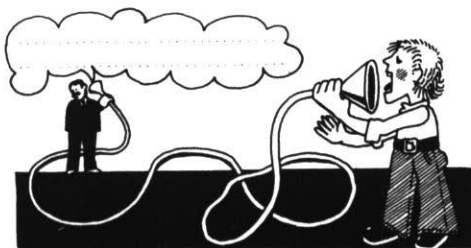
De stethoscoop is een instrument dat door doktoren gebruikt wordt om geluiden uit het inwendige van je lichaam te beluisteren. Zo'n instrument kan je zelf eenvoudig maken en daarmee kan je dan bijv. je hartslag of het in- en uitademen beluisteren.

Je hebt nodig:

- het bovenste stuk van een plastic fles of een trechter
- een stuk slang

- * Maak de slang aan de plastic trechter vast.
- * Beluister daarmee het hart van een klasgenoot.
- * Van deze stethoscoop kun je eenvoudig een soort telefoon maken. Maak namelijk nog zo'n plastic trechter aan het andere eind van de slang. Op deze manier kun je bijv. 'om een hoekje' praten.

- Ga eens na hoe in veel ziekenhuizen de mensen naar de radio kunnen luisteren.

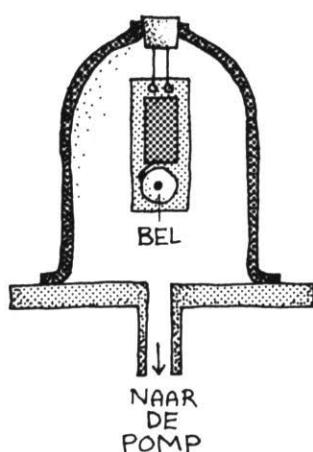


PROEF 6.3 geluid zonder lucht?

Geluid heeft lucht nodig om zich te kunnen voortplanten. Als het goed is, kan je leraar je een proef laten zien waaruit dat blijkt.

Dat gaat zo:

Een bel is opgehangen onder een vacuüm klok. Als we alle lucht onder de klok wegzuigen, horen we de bel niet meer. Laten we de lucht terugstromen dan horen we ook het geluid van de bel weer terugkomen.



PROEF 6.4 de snelheid van geluid

Misschien woon je in een buurt waar gebouwd wordt. Misschien heb je de mensen daar wel eens bezig gezien met heien.

Als je op grote afstand staat, zie je het heiblok eerder neerkomen dan je het hoort.

Dat komt, omdat het geluid niet zo snel gaat door de lucht. Kun je nog meer voorbeelden noemen waaraan je dit kunt merken?

Je kunt op verschillende manieren zelf de snelheid van het geluid meten.

Op bladzijde 34 volgt er één.

lucht en geluid



- * Kies buiten een rustige ruimte uit, die wel heel groot moet zijn (bijv. 500 m lang).
- * Hang een grote slinger aan een boom, bijv. een touw van 1,5 m lengte met een zwaar gewicht eraan.
- * Meet met een stopwatch de tijd die de slinger er over doet om van de ene naar de andere kant te komen.
- * Laat je vriendje telkens bij de slinger een hard geluid (klap, knal) produceren als de slinger aan één kant is. Zorg wel dat hij dat doet met iets dat op een afstand goed zichtbaar is.
- * Loop nu weg van de slinger. Loop net zover, totdat je het geluid hoort op het moment dat de slinger net aan de andere kant is. (Als je geen ruimte genoeg hebt, kan je ook de slinger korter maken. Maar je metingen worden dan wel onnauwkeuriger).
- * Meet nu de afstand tussen de plaats waar je staat en de slinger. Je weet nu de afstand die het geluid aflegt en de tijd die het geluid er over doet.

— Bereken nu de snelheid van het geluid. Hoe groot is die?

OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 6.1 Maak een verslagje van de proeven die je hebt gedaan. Neem ook de antwoorden van de volgende opdrachten in het verslag op.
- 6.2 Noem twee manieren om aan te tonen dat geluid een trilling van lucht is.
- 6.3 Welk geluid heeft het meeste trillingen per seconde, een hoge of een lage toon?
- 6.4 Wat toon je aan met de proef onder de luchtklok?
- 6.5 Hoe kun je aan de hand van de tijd tussen bliksem en donder voorspellen hoever het onweer weg is?
- 6.6 Leg uit wat de rol van het trommelvlies in je oor is.



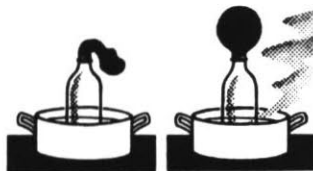
7 koude lucht - warme lucht

Temperatuurverschillen in lucht veroorzaken luchtstromingen. Dat geldt zowel buiten (wind) als binnen (o.a. tocht). Boven een kachel of radiator die aan staat kan je een warme luchtstroom omhoog voelen gaan. Op een warme zomerdag krijg je vaak een koele zeewind aan de kust omdat de lucht boven zee kouder is dan de lucht boven land. In dit hoofdstukje ga je het verschil tussen koude en warme lucht bekijken. Als toepassing daarna ga je werken met een 'hete luchtballon'.



Lees de proeven eerst door. De woorden die je niet kent, worden in de leesteksten uitgelegd.
De **woordenlijst** (blz. 81) helpt je bij het opzoeken.

PROEF 7.1 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 een glazen fles niet springt).

— Wat zie je? Geef een verklaring.

PROEF 7.2 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?

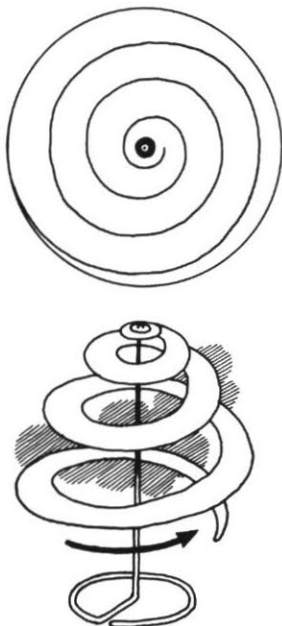
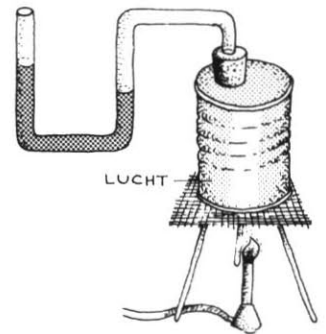
koude lucht - warme lucht

PROEF 7.3 temperatuur en druk

Je hebt nodig:

- een afgesloten blik of fles
- een slang aan het blik of de fles
- buis in een U-vorm met water er in (vloeistofbarometer)

- * Verwarm de lucht in het blik of de fles.
 - Wat merk je? Hoe komt dat?
- * Koel de lucht in het blik of de fles af in ijswater.
 - Wat merk je nu? Wat is je conclusie?



PROEF 7.4 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.

PROEF 7.5 de hete-luchtballon



**DENK OM
BRANDGEVAAR**

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 opgehouden 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.

koude lucht - warme lucht

READY TO *FLY* HOT AIR BALLOON

Made In England

Selected for The Design Centre London



Ballooning is a great outdoor activity for the whole family on a calm day - winter or summer. This hot air balloon is ready to fly - just add some heat and it will float up into the sky to be followed and recovered like a full size balloon.



It is nearly four foot high and has four brilliantly coloured panels of a tough aluminised film, which means it can be flown over and over again.



Fill it with hot air either from a camping stove or put a little methylated spirit on the wick, then 'hands off' and the fun begins. Long flights need a lot of hot air and the recovery team must be energetic - short flights mean less hot air and are ideal for a lazier recovery team.



Een kant-en-klare hete-luchtballon

7 koude lucht - warme lucht

OPDRACHTEN (gebruik de leesteksten)

- 7.1 Maak een verslagje van de proeven die je gedaan hebt. Neem ook de antwoorden van de opdrachten in het verslag op.
- 7.2 Wat weegt meer: 1 liter warme lucht of één liter koude lucht met dezelfde druk? Hoe merk je dat?
- 7.3 Een hoeveelheid lucht wordt in een blik opgesloten en verwarmd. Weegt de lucht voor het verwarmen anders dan na het verwarmen?
- 7.4 Leg uit waarom flessen met een gas onder druk zo gevaarlijk zijn als ze erg warm worden (in de zon of erger: bij brand!)
- 7.5 Leg uit waarom 's winters in huis de koude tocht vooral bij ramen en bij de grond optreedt.
- 7.6 Zoek in je leestekst op wat het absolute nulpunt is. Leg uit wat daar aan de hand is.
- 7.7 Leg uit waarom men in de natuurkunde soms liever de temperatuur in kelvin dan in graden Celsius meet.

inhoud

	blz.
1 Lucht en lege ruimte	41
2 De druk van lucht	46
3 Oppompen en leegpompen	50
4 Lucht en leven	56
5 Luchtstromen laten werken	60
6 Lucht en geluid	65
7 Warme lucht	67
8 Weer en wind	73
	39



LUCHT IS NIET NIKS

'Kijk eens wat er in die koffer zit.'

'Niks — hij is helemaal leeg.'

'Weet je 't zeker?'

'Ja echt, er zit absoluut niks in.'

'Dacht je dat? Hij zit toch helemaal vol met lucht!'

Een erg flauw grapje, maar denk er toch even over na. Je vergeet heel vaak dat overal om je heen lucht is. Lucht is een erg 'bescheiden' stof, je merkt er vaak niets van, maar lucht is onmisbaar.

Voortdurend, dag en nacht, laten we lucht onze longen binnenstromen en weer naar buiten.

Als we praten of muziek maken, brengen we lucht in trilling. De trillende lucht bereikt het trommelvlies van onze oren. We horen een stem of muziek. Lucht is de 'drager' van geluid.

Lucht kan warmte verspreiden van een kachel of een radiator naar de hele kamer.

Buiten zie je wolken voorbij drijven — meegevoerd door luchtstromingen. De wind maakt golven op het water en laat de wieken van een molen draaien.

Vliegtuigen worden door lucht gedragen en een *hovercraft* glijdt over land en water op een kussen van lucht. We pompen lucht in de banden van fietsen en auto's om te zorgen voor vering.

Een automotor kan zowel zonder lucht als zonder benzine niet werken.



En toch blijft het begrip 'lucht' moeilijker dan 'water' of 'metalen'.

Metalen kan je zien en voelen, en water ook, maar lucht? Lucht kun je niet zien. Als je een donkere lucht ziet aankomen, is dat een wolk van waterdruppels. Lucht kun je ook niet ruiken want als je 'een lekker luchtje' ruikt, komt er iets ongewoons in je neus.

Lucht kun je wel voelen, en goed ook, als het stormt of als het vriest. Maar als je binnen zit, in een goed verwarmde kamer, dan zou je haast vergeten dat je leeft in lucht.

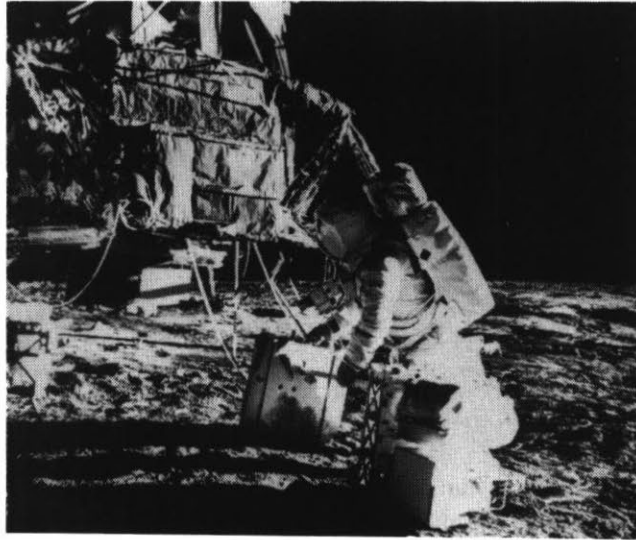
DE LEGE RUIMTE

Op aarde kan je een ruimte leeg maken door de lucht eruit te pompen. We zeggen dan dat zo'n ruimte *vacuüm* is. In de praktijk is het onmogelijk om echt alle lucht eruit te halen. Alleen op de maan is echt geen lucht. Zelfs het beste vacuüm dat we op aarde kunnen maken, bevat nog meer lucht dan de lege ruimte op de maan.

Kan een mens dan leven op de maan als daar geen lucht is? Je weet misschien wel dat er mensen op de maan geweest zijn. Maar die hadden het er ook geen minuut kunnen uithouden als ze in flessen op hun rug geen voorraad lucht bij zich hadden. Ook de ruimte vlak om hen heen, binnen het ruimtepak, is gevuld met lucht. Ze hebben zo tóch een stukje van hun aardse omgeving bij zich gehouden. Gelukkig is de zwaartekracht op de maan veel minder sterk dan die op de aarde, zodat ze niet te veel hoeven te tillen aan dat zware ruimtepak en al die apparatuur die erin zit.

De maanbodem is nogal stoffig, maar er is geen wind die stofwolken zou kun-

lucht en lege ruimte



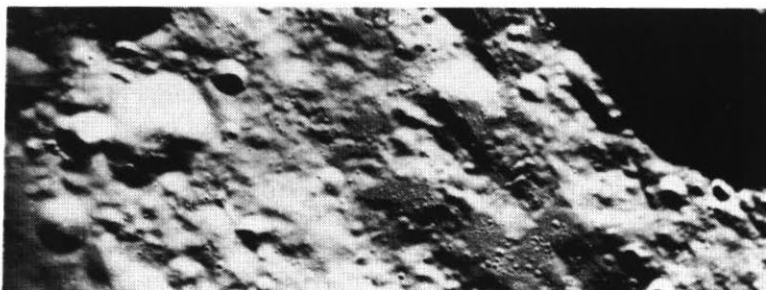
Een astronaut op de maan met een 'luchtpak' aan

nen maken. Als een maanschip landt, blazen de remraketten stof op, maar het stof valt meteen terug. Er kan geen parachute gebruikt worden bij de landing, omdat er geen lucht is om de parachute af te remmen. Men moet remraketten gebruiken, en om die te laten werken moet men niet alleen brandstof van de aarde meegenomen hebben, maar ook zuurstof (het bestanddeel van de lucht dat voor verbranding nodig is).

Als iemand op de maan een hamer gebruikt om een stuk van een steen af te slaan, hoort hij geen geluid; hoogstens voelt hij de trilling in de grond onder zijn voeten.

In een leestekst in *Mensen en metalen* was sprake van *meteorieten*, die meestal verbranden als ze in de atmosfeer van de aarde terechtkomen. Door de wrijving met de lucht zijn ze heel heet geworden. Op de maan kan dat niet gebeuren, want er is geen lucht. Daardoor zit de maan vol putten en putjes, die we 'kraters' noemen. Die gaten blijven er ook zitten, doordat er geen wind of water is die ze dicht maakt.

Als iemand van de maan naar de aarde terugkeert, reist hij door een heel klein gedeelte van de enorme, lege wereldruimte. Hij kan zijn hoofd niet uit het luik steken om een luchtje te scheppen. Pas vlak bij de aarde is er lucht, als een dunne schil om de aardbol heen.

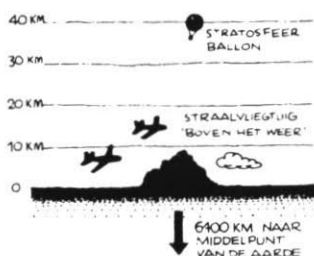


Inslagkraters van meteorieten op de maan

lucht en lege ruimte

ONZE ATMOSFEER

De luchtlaag om de aarde heen noemen we de atmosfeer. (Het woord atmosfeer gebruiken we ook voor een eenheid van druk. Zie daarvoor blz. 52). De atmosfeer is gevuld met lucht, zoals een oceaan met water. De atmosfeer zou je een 'luchtoceaan' kunnen noemen.



Wij leven op de bodem van die luchtoceaan. Hoe diep we zitten is moeilijk te zeggen. De lucht wordt naar boven toe steeds ijler (dat wil zeggen: er zit steeds minder lucht in de ruimte) en er is geen scherpe grens aan te geven tussen bijna leeg en leeg. Op 500 kilometer hoogte is er van lucht haast niets meer te merken. Aardsatellieten worden daar nauwelijks meer afgeremd door wrijving met de lucht en kunnen jarenlang om de aarde heen blijven draaien. Ballonnen kunnen die hoogte nooit bereiken, omdat ze gedragen moeten worden door lucht. Een bemande ballonvaart tot boven 30 km is maar een enkele keer ondernomen — een *hoge* uitzondering mag je wel zeggen. De ballonvaarder zit dan niet in een open mand, maar in een gesloten cabine met een voorraad lucht erin.

Vliegtuigen vliegen soms op meer dan 10 km hoogte om geen last te hebben van buien en om gebruik te maken van gunstige luchtstromingen. De bemanning en de passagiers zitten dan in drukcabines: ruimten die volledig afgesloten zijn en waarin de lucht op normale druk wordt gehouden. Als een raampje zou breken, zou de lucht voor het grootste deel naar buiten ontsnappen en zou je niet genoeg overhouden om adem te halen.

Ook op de hoogste bergtoppen, die bijna 9 km hoog zijn, is de lucht voor mensen te ijl. Toen Hillary en Tensing in 1953 de Mount Everest beklommen, de hoogste berg op aarde, moesten ze op het laatste stuk zuurstofflessen gebruiken om voldoende adem te kunnen halen.

Hoog in de bergen heb je niet alleen met je ademhaling moeite. De zon schijnt er veel feller dan je hier beneden gewend bent, doordat er minder lucht boven je is die de zonnestraling tempert. 's Nachts wordt het ijselijk koud door de sterke straling. Voor mensen, en ook voor de meeste dieren en planten op het land, is de onderste laag van de luchtoceaan het prettigst om in te leven.

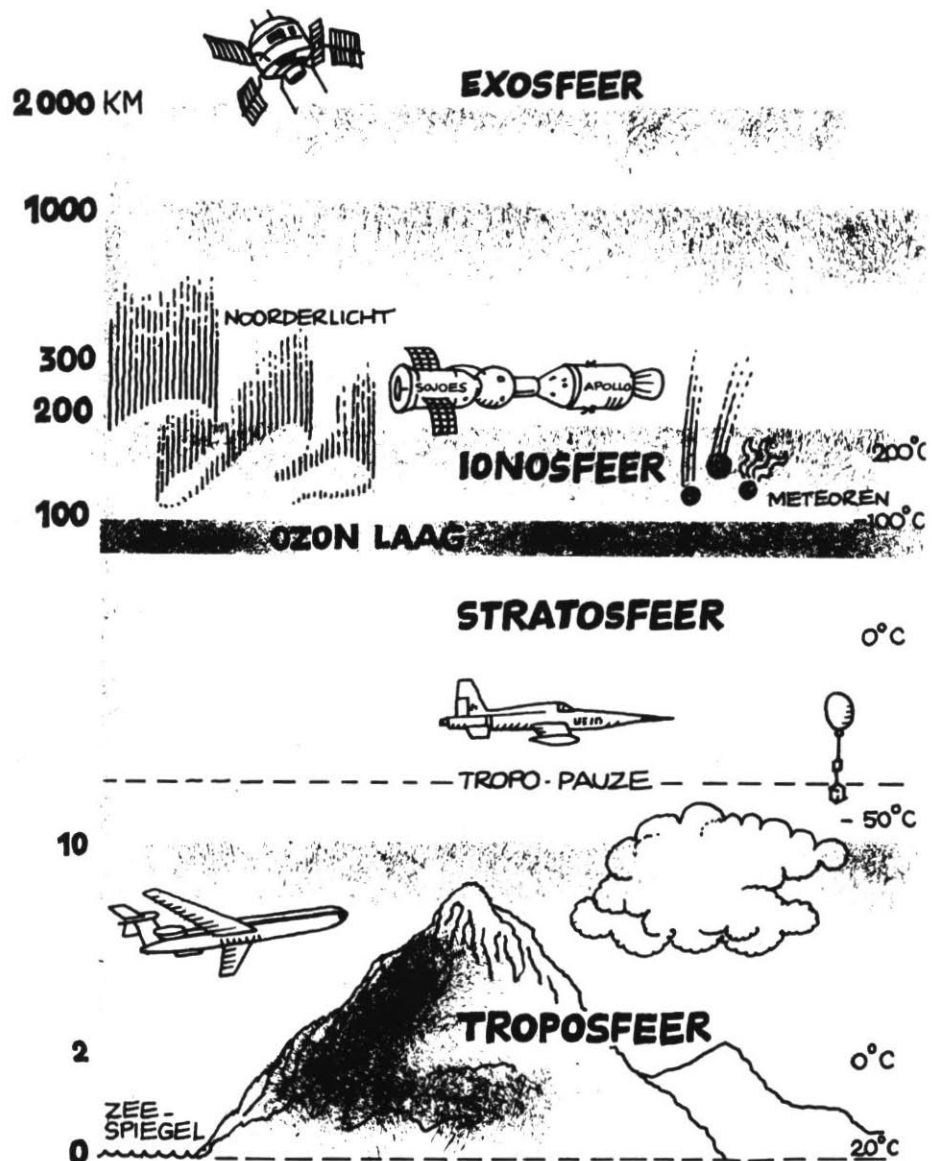
DE LAGEN VAN ONZE ATMOSFEER

Op de volgende bladzijde zie je een tekening van de lagen van onze atmosfeer. Let er op dat de onderste laag van 10 km even dik is getekend als de laag van 10 tot 100 km en de laag van 100 tot 1000 km. Dat is zo getekend, omdat anders de tekening niet in het boek paste of de onderste laag dan zó dun getekend moest worden, dat je er niets meer in kon aangeven.

Je kunt de atmosfeer onderscheiden in een aantal lagen, meestal *sferen* genoemd:

- de onderste laag is de *troposfeer*. Daarin speelt zich al het leven af. Ook het weer vindt daarin voornamelijk plaats. Naar boven toe neemt de luchtdruk snel af

lucht en lege ruimte



Een model van de atmosfeer

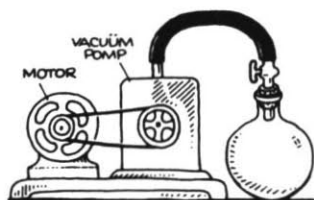
- de tweede laag is de *stratosfeer*. Die is alleen te bereiken met ballonnen of zeer hoog vliegende straaljagers. In de stratosfeer ligt de *tropopauze*. De temperatuur van de lucht daalt naarmate je hoger komt, tot aan de tropopauze. Daarna stijgt de temperatuur weer
- dan komt de *ozonlaag* met de *ionosfeer*. Voor het leven op aarde is de ozonlaag van groot belang. Die houdt nl. het *ultraviolette* deel van het zonlicht grotendeels tegen. Ultraviolet licht zorgt o.a. voor het bruin worden van de huid. Maar te veel ultraviolet licht is gevaarlijk voor de huid en ook voor de ogen: in de bergen kan het sneeuwblindheid veroorzaken. Men is bang dat het gas *freon*, dat in spuitbussen en in koelkasten gebruikt wordt, de ozonlaag zal afbreken. Het klimaat zou daardoor kunnen veranderen. De ionosfeer speelt een rol bij het weerkaatsen van radiogolven, waardoor

lucht en lege ruimte

het mogelijk is radiogolven van de andere kant van de aarde in Nederland op te vangen. Deze laag vangt allerlei deeltjes uit de ruimte op. Op aarde is dat te zien als *noorderlicht* (zeer kleine deeltjes) of vallende sterren (kleine meteorieten)

- boven de ionosfeer raken we uit de atmosfeer en komen we in de *exosfeer*: het gebied van de vrijwel lege ruimte waar alleen satellieten en ruimteschepen kunnen komen.

HOE ZWAAR IS LUCHT?



We kunnen het gewicht van bijv. een liter lucht vinden als we een vacuüm-pomp hebben en een glazen bol die we leeg kunnen pompen. De bol moet sterk genoeg zijn om de druk van de buitenlucht te kunnen verdragen wanneer er geen lucht meer in zit die voor een tegendruk zorgt. Verder moeten we om de bol af te sluiten een goed passende rubberstop hebben, met daar doorheen gestoken een buisje. Het buisje moet met een kraan luchtdicht af te sluiten zijn.

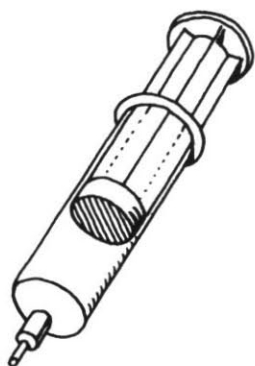
Als dat alles gereed is, kunnen we de lucht uit de bol pompen, de kraan sluiten en de leeggepompte bol wegen. Dan zetten we de kraan open; er stroomt lucht binnen (hoorbaar) tot de luchtdruk in de bol weer even groot is als erbuiten. De bol met lucht blijkt nu inderdaad iets zwaarder te zijn dan de lege bol. Het verschil is 1,3 gram als we een bol met een liter inhoud gebruiken. Lucht weegt dus weinig in vergelijking met water. Want één liter water weegt 1000 gram. Boven in de atmosfeer is de lucht minder samengeperst dan beneden. Daar weegt de lucht ook minder.

Op een hoogte van 2000 meter weegt een liter lucht nog maar ongeveer 1,0 gram. Samengeperste lucht is zwaarder dan de lucht van normale druk. Misschien heb je al gecontroleerd dat een voetbal zwaarder wordt als je hem harder oppompt.

En dan is er nóg iets wat invloed heeft op het gewicht van de lucht: de temperatuur. Boven een kachel stijgt warme lucht op — de lichtere warme lucht wordt omhooggeduwd door zwaardere koude lucht uit de omgeving. Misschien heb je wel eens een licht pluusje of een ballonnetje boven een kachel laten opstijgen. Je kunt ook een papieren molentje laten draaien in de opstijgende luchtstroom.

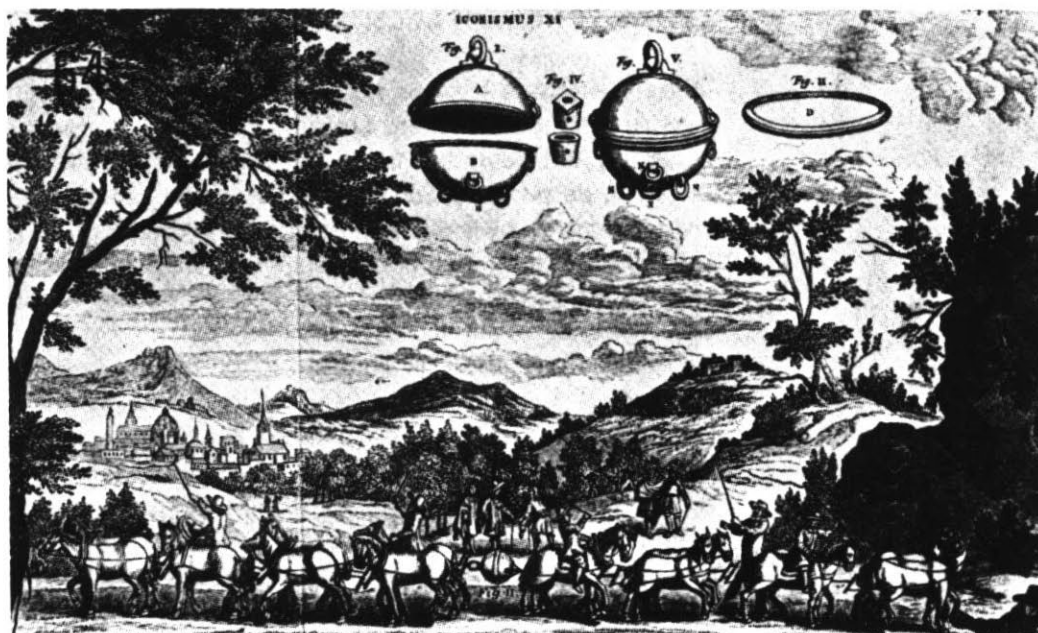
DE LUCHTDRIK

Diep in het water heerst een grote druk (zie de leestekst 'Hoe dieper hoe drukker' in *Werken met water*). Moeten wij op de bodem van onze lucht-oceaan dan ook niet onder druk leven? Duwt de lucht van alle kanten tegen ons aan, zoals water tegen een duikboot? Of is de lucht zo licht dat de druk niet te merken is? Dat je de lucht niet voelt drukken, hoeft nog niet te betekenen dat er geen luchtdruk is. Je kunt zó aan iets gewend zijn, dat je er niets van merkt.



Om te voelen dat de lucht werkelijk duwt, kun je een injectiespuit gebruiken, zonder naald. Als je de zuiger zo ver mogelijk induwt, dan de opening met een vinger dichthoudt en vervolgens de zuiger uittrekt, dan merk je dat iets je tegenwerkt. Als je de zuiger loslaat, wordt hij teruggeduwd. De buitenlucht duwt harder tegen de zuiger dan de uitgerekt lucht in de spuit. Als je de opening niet afsluit, duwt de lucht van allebei de kanten even hard tegen de zuiger.

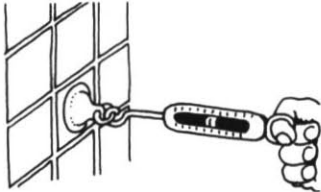
Ongeveer driehonderd jaar geleden verzoon de burgemeester van Maagdenburg, Otto von Guericke, een prachtige demonstratieproef. Hij had een pomp uitgevonden waarmee hij lucht uit een ruimte kon wegpompen. Verder had hij twee grote halve bollen laten maken, die precies op elkaar pasten. De lucht die in de bol opgesloten zat, pompte hij zo goed mogelijk weg om te laten zien dat de buitenlucht de halve bollen stevig tegen elkaar gedrukt zou houden. Twee spannen van acht paarden waren nodig om de halve bollen van elkaar los te trekken.



De proef met de
Maagdenburgse halve bollen

Zoiets als deze laatste proef kun je doen als je een halve bol van rubber aan een houten steel hebt: zo'n apparaat waarmee je een verstopte gootsteenafvoer kunt 'ontstoppen'. Als je de halve bol platdrukt op een gladde tegel om

de druk van lucht



de lucht er zoveel mogelijk uit te verwijderen, zul je merken dat je hard moet trekken om de bol los te krijgen. Je kunt ook een rubber of plastic zuignapje gebruiken; als je het natmaakt kun je ervoor zorgen dat er heel weinig lucht overblijft tussen het zuignapje en de tegel waar je het op drukt. Als je een geschikte veerbalans hebt kun je de kracht meten die nodig is om het zuignapje los te trekken.

EEN METER VOOR LUCHTDruk



Het principe van de
metaalbarometer

In weerberichten hoor je vaak over hogedrukgebieden en lagedrukgebieden spreken. Onze luchtoceaan is steeds in beweging; dat heeft te maken met verschillen en veranderingen in de temperatuur en de vochtigheid van de lucht, en het wordt nog ingewikkelder door de draaiing van de aarde. Het weer is moeilijk te voorspellen, maar je kunt wel zeggen dat je in een hogedrukgebied gemiddeld minder wolken hebt dan in een lagedrukgebied.

Een instrument om de luchtdruk te meten heet een *barometer*. Er zijn verschillende typen: het meest gebruikte type is de metaalbarometer. Hij ziet er misschien ingewikkeld uit, maar het principe is vrij eenvoudig. Er zit een luchtledig metalen doosje in met een dun, gegolfd deksel. Dat deksel wordt als de luchtdruk stijgt wat verder ingedrukt. Een metalen veer, die aan het deksel vastzit, wordt meegetrokken. Daaraan zit een wijzer vast waarmee je de verandering van luchtdruk kunt aflezen. Als je een barometer meeneemt naar buiten, blijft hij hetzelfde aanwijzen. Er is altijd wel verbinding tussen de lucht binnenshuis en buiten; als de luchtdruk buiten verandert, verandert hij in huis net zo.

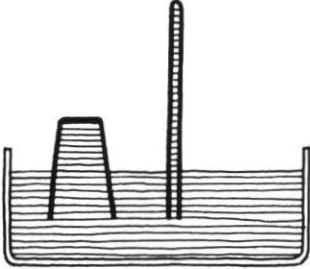


Metaalbarometer. Op de buitenste schaalverdeling lees je de luchtdruk af in centimeter kwik, op de binnenste schaalverdeling in millibar

LUCHTDruk, WATERDruk EN KWIKDruk

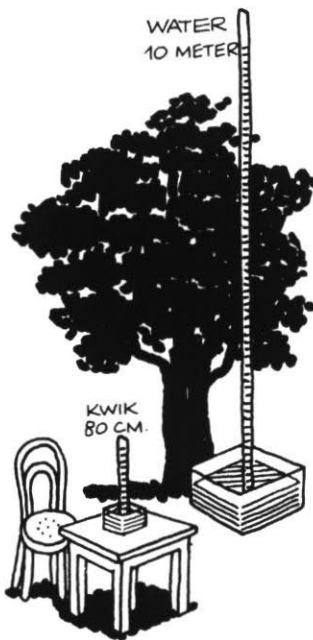
Een eenvoudig proefje dat je thuis kunt doen en misschien ook wel eens gedaan hebt is dit: laat een glas vollopen in een bak met water en haal het omhoog met de open kant onder. Zolang de rand van het glas niet boven het water in de bak komt, blijft het glas gevuld met water. Je kunt hetzelfde doen met een fles of een vaas, of ook met een stuk plastic slang dat je onder water

de druk van lucht



vol laat lopen en aan één kant dichthoudt, terwijl je dat gesloten eind omhooghaalt uit de bak.

Je zou steeds langere stukken slang of buizen kunnen nemen om te zien of het water er steeds in blijft. Het wordt wel moeilijk, want je moet tot meer dan tien meter gaan om te zien dat er een grens is. In een buis van 11 meter zakt het water terug tot de hoogte van ongeveer 10 meter boven het water in de bak en in langere buizen net zo. Bovenin ontstaat dan een leeg stuk: een ruimte met alleen een beetje waterdamp erin (geen lucht, want waar zou die vandaan gekomen moeten zijn?).



Omstreeks 1630 deed de Italiaan *Torricelli* deze proef op een heel handige manier: hij nam kwik in plaats van water. Kwik is 13,6 maal zo zwaar als water en daardoor had hij genoeg aan een buis van een meter lengte. Als hij die buis helemaal vulde met kwik en hem dan op z'n kop in een bakje met kwik zette, zag hij het kwik in de buis terugzakken tot ongeveer 76 centimeter. Boven het kwik ontstond een *vacuüm*.

Als de luchtdruk verandert, verandert de hoogte van het water in de slang of van het kwik in de buis mee. Daarom kan je ze allebei gebruiken om veranderingen in de luchtdruk aan te geven, dus als barometer. Misschien heb je wel eens in een winkel of bij iemand thuis een kwikbarometer zien hangen. De waterbarometer wordt helemaal niet gebruikt. Door zijn lengte is die erg onhandig. Bovendien is hij nogal onbetrouwbaar, o.a. door de waterdamp boven het water.

Kwik — en vooral kwikdamp en kwikverbindingen — is een giftige stof, en dus schadelijk voor het milieu. Daarom kan je het beste metaalbarometers gebruiken.

Een Franse geleerde, *Pascal*, gaf de verklaring waarom je zo'n slang met water of zo'n kwikbuis als barometer kunt gebruiken: de buitenlucht drukt op het water in de bak waarin de slang staat. Op iedere vierkante centimeter (of vierkante millimeter, of wat je nemen wilt) van het wateroppervlak werkt een bepaalde kracht. In de buis moet de waterkolom duwen met dezelfde kracht per vierkante centimeter: anders zou er geen evenwicht zijn. Het water zakt zó ver omlaag, dat de druk van de waterkolom even groot is als de luchtdruk.

Op metaalbarometers zie je ook vaak de luchtdruk aangegeven in 'centimeters kwik' (of in millimeters). Gemiddeld is de luchtdruk ongeveer 76 cm kwik, d.w.z. dat het kwik in de buis van Toricelli 76 cm hoog komt te staan.

In weerberichten wordt de luchtdruk opgegeven in een andere maat, namelijk in millibar. 1000 millibar komt overeen met 1020 cm waterdruk of 75 cm kwikdruk. Op de weerkaart hiernaast zie je bijvoorbeeld 990 millibar voor een 'diepe depressie' in Zuid-Frankrijk en 1020 millibar in een hogedrukgebied boven Ierland.

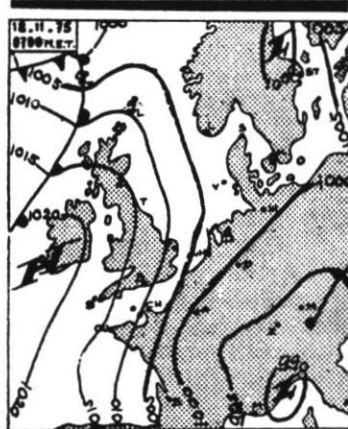
de druk van lucht

LUCHTDRIK EN HOOGTE

Neem je een barometer mee van de kelder van je huis naar de zolder, dan kun je misschien net een kleine daling in de barometerstand zien. In een hoog flatgebouw is het verschil beter te merken, en als je een barometer mee zou nemen bij het beklimmen van een berg, zou je hem flink zien teruglopen. Hij gaat dan naar 'storm', maar dat heeft niets meer met het weer te maken.

Hoe komt het dat de luchtdruk kleiner wordt met de hoogte? Je zou je de atmosfeer kunnen voorstellen als een aantal lagen lucht, als kussens op elkaar gestapeld. De onderste laag staat het meest onder druk, de volgende al iets minder, enz. Als je weet hoe de luchtdruk afneemt met de hoogte, kun je de hoogte vinden uit de stand van de barometer. In een vliegtuig kan de piloot dan ook een soort barometer als hoogtemeter gebruiken. Feitelijk is de zaak nog wel wat ingewikkelder, doordat in de atmosfeer de luchtlagen niet rustig op elkaar liggen maar steeds in beweging zijn. Daarom moet een piloot ook weten wat de barometer beneden op de grond aanwijst.

weer



De weerkaart voor 18 november 1975, met de voorspelling voor de volgende dag

Regen

Boven het zeegebied tussen IJsland en Schotland trok vanochtend een depressie in zuidoostelijke richting. Zij nam nog iets in betekenis toe.

Morgen zal het frontensysteem van deze depressie dicht bij ons land liggen. Het KNMI verwacht veel bewolking waaruit plaatselijk regen valt. In de temperatuur komt weinig verandering. Zij bewoog zich gisteren en de afgelopen nacht tussen elf en vijf graden.

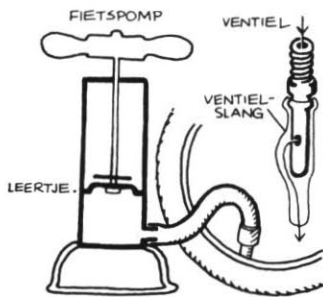
Aan de storing gaat een zwakke rug van hoge druk vooraf, die voor een tijdelijke weersverbetering zorgde. Afgezien van wat wolken schermen in de hogere niveaus zal de maansverduistering van hedenavond (tussen 20.26 vanavond en 02.24 morgenochtend, midden van de verduistering om 23.23 uur) in grote delen van het land te zien zijn.

Zon en maan

19 nov. Zon op 8.06, onder 16.44.

Maan op 17.12, onder (20 nov.) 9.30.

SAMENGEPERSTE LUCHT



Als je de opening van een fietspomp of een injectiespuit dichthoudt, kun je de opgesloten lucht een heel stuk samenpersen. Er ontstaat *overdruk*: de druk is hoger dan in de buitenlucht. Het wordt wel steeds moeilijker: de samengeperste lucht duwt steeds harder terug. Hoe kleiner je de ruimte voor de lucht maakt, hoe groter de druk wordt. Bij het oppompen van je fietsbanden heb je te maken met 'eenrichtingsverkeer'. Het ventiel zorgt ervoor dat de lucht wel je band in kan, maar niet terug. Als de druk in de band groter is dan in het ventiel, drukt de lucht in de band het gaatje van het ventiel met de ventiel-slang dicht.

In de fietspomp zelf duwt de samengeperste lucht de leren rand van de zuiger stevig tegen de binnenkant van de buis. De lucht sluit dus zelf de weg naar buiten af.

Hoe meer lucht je in je banden pompt, hoe groter de druk wordt. Je kunt dus op twee manieren een hoge luchtdruk bereiken:

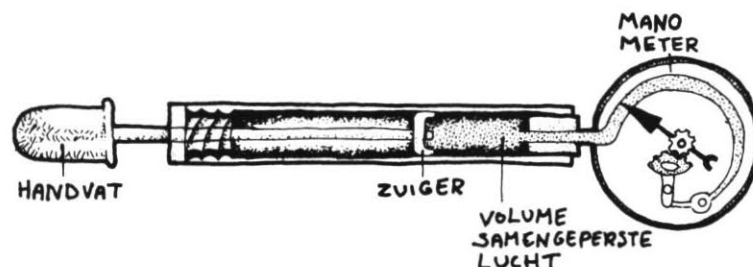
- 1 door lucht op te sluiten en dan de ruimte kleiner te maken
- 2 door lucht op te sluiten in een bepaalde ruimte en er dan lucht bij te pompen

In beide gevallen heb je meer lucht per kubieke centimeter.

Er is nog een derde manier om de druk te verhogen: door lucht op te sluiten in een bepaalde ruimte en dan de temperatuur te verhogen (zie blz. 71). Er blijft dan wel evenveel lucht per kubieke centimeter. Deze manier is echter niet geschikt om bij pompen te gebruiken.

Samendrukbaarheid van lucht is een belangrijke eigenschap. Diepzeeduikers en maanwandelaars kunnen een flinke voorraad samengeperste lucht meenemen in een niet al te grote fles. Wel moet die fles dan heel sterk zijn, om niet te ontploffen door de druk van de samengeperste lucht.

Om de druk in een fietspomp of een fles met lucht (of een ander gas) te meten worden instrumenten gebruikt die *manometers* heten.



In een afgesloten fietspomp kan je de lucht samenpersen door de ruimte die de lucht inneemt (het *volume*) te verkleinen. De druk gaat dan omhoog. Als je het volume halveert, verdubbelt de druk. Omgekeerd wordt de druk de helft als je het volume verdubbelt.

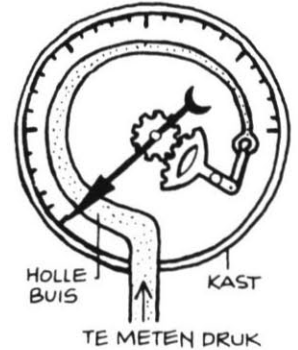
oppompen en leegpompen



Rolpieper

DE MANOMETER

Een manometer is een gasdrukmeter. En wel voor gasen die in een ruimte opgesloten zitten, bijv. in gasflessen of autobanden.



De werking van een manometer

Hoe werkt een manometer?

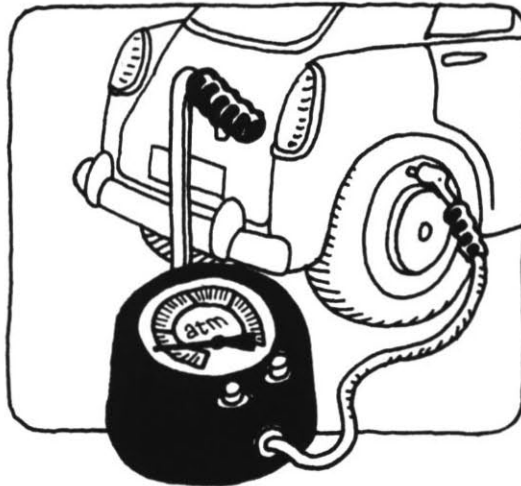
In de manometer zit een opgerolde metalen buis. Als je daar hard op blaast wil de buis wel uitrollen. Je kent dat, ook wel van zo'n papieren speelgoedding of 'rolpieper'. Als je nu aan de buis een wijzer maakt, ben je klaar.

Want hoe harder je blaast, hoe harder je tegen de buis duwt, hoe verder de buis uitrolt en hoe verder de wijzer uitslaat.

Dus als een gas hard tegen de manometer duwt (we zeggen dan: *een grote druk heeft*), dan geeft de wijzer dat aan.

Er zijn ook manometers waarin de samengeperste lucht tegen een gegolfd metalen plaatje duwt, ongeveer als bij de metaalbarometer.

De meeste manometers meten de *overdruk*, dat wil zeggen: wat de echte druk van het gas méér is dan de luchtdruk buiten (ongeveer 1 atmosfeer).



Voorbeeld: de bandenspanningsmeter (ook een manometer) geeft aan dat de druk in een autoband 1,8 atm is. Dat is de overdruk. De echte druk is 2,8 atm.

Een metaalmanometer verschilt dus niet veel van een metaalbarometer. De metaalbarometer is alleen zó gemaakt, dat die kleine verschillen in de druk van de buitenlucht aangeeft. De meeste manometers kunnen juist grote drukverschillen aangeven.

oppompen en leegpompen

De getallen op een manometer

Met een manometer meet je de druk van een gas. Die druk kan je in heel wat eenheden uitdrukken. Van de druk van de buitenlucht kan je zeggen: die is ongeveer 1 atmosfeer (atm) of 76 cm kwikdruk of 10 meter waterdruk of 1020 millibar (mb). En zo zijn er nog meer eenheden.

Men heeft afgesproken dat men gaat proberen alle drukken zo veel mogelijk in één eenheid uit te drukken. Gekozen is voor de eenheid 1 N/m^2 , die men de naam pascal (afgekort Pa) heeft gegeven. Maar ook andere eenheden zul je nog wel vaak tegenkomen en ook wel zelf gebruiken. Daarom staat hieronder een tabel waarin de verschillende eenheden van druk omgerekend staan in pascal.

Eenheid van druk		Waar gebruikt?
1 N/m^2	= 1 Pa	wetenschap
1 atm	= 101.325 Pa (normale atmosfeer)	dagelijks leven
1 at	= 98.067 Pa (technische atmosfeer = 1 kgf/m^2 : kilogramkracht per vierkante meter)	techniek
1 mb	= 100 Pa (millibar)	weerkunde
1 cm kwikdruk	= 1.333 Pa	o.a. bloeddruk-meter, barometer
1 cm waterdruk	= 98 Pa	

VERDUNDE LUCHT

Je zou een fietspomp uit elkaar kunnen halen en het zuigerleertje kunnen omkeren. Als je nu de opening dichthoudt en de zuiger omhoogtrekt, wordt de druk in de buis kleiner en duwt de buitenlucht het leertje dicht. Hoe groter je het volume van de opgesloten lucht maakt, hoe kleiner de druk wordt. Er ontstaat een *onderdruk*: de druk is lager dan in de buitenlucht. Als je het handvat loslaat, springt de zuiger terug want de buitenlucht duwt harder dan de opgesloten lucht.

Met deze omgekeerde fietspomp zou je de lucht uit een fles weg kunnen halen. Je moet dan nog wel een geschikt ventiel of een klep maken voor het 'eenrichtingsverkeer' van de fles naar de pomp.

VACUÛM

Er zijn speciale pompen die in staat zijn om vrijwel alle lucht uit een ruimte weg te halen. Zo'n ruimte waar bijna geen lucht meer in zit, heet een *vacuüm*. Koffie en andere waren worden wel vacuümverpakt om ze langer vers te houden.

De beeldbuis van een televisietoestel moet vacuüm zijn en zo'n buis moet daarom van heel sterk glas zijn. De buitenlucht duwt er fors tegenaan en er is niets binnenin de buis om voor een tegendruk te zorgen. Als het glas in stukken zou barsten zouden de scherven naar binnen toe vliegen. Zo'n *implosie*

oppompen en leegpompen



Proppenschieter

lijkt misschien minder gevaarlijk dan een explosie, maar als de scherven eenmaal snelheid hebben kunnen sommigen ervan verder vliegen, de kamer in. Maar je hoeft niet bang te zijn dat zoiets gebeurt bij een toevallig stootje tegen de buis.

PERSLUCHT

Samengeperste lucht of perslucht kan grote krachten uitoefenen. In de techniek wordt daar vaak gebruik van gemaakt: men spreekt dan van *pneumatische* werktuigen, zoals pneumatische boren. Treinen hebben een pneumatisch remsysteem. Je kunt samengeperste lucht ook gebruiken om iets weg te schieten, bijv. met een luchtbuks of een proppenschieter.

In sommige fabrieken gebruikt men pneumatische regelsystemen waardoor veel handelingen geautomatiseerd worden. Ventielen die open of dicht gezet worden kunnen perslucht achter zuigers toelaten of laten wegstromen. Daardoor worden de zuigers heen of weer geschoven en kunnen zo allerlei dingen doen.

Een pneumatisch systeem

Een eenvoudig voorbeeld van een pneumatisch systeem is de afstandsontspanner van een fototoestel. Door in de knijpbal te knijpen wordt de druk daarin verhoogd. Die verhoogde druk van de lucht komt door de luchtleiding bij de afdrukknoop, die daardoor ingedrukt wordt: de foto wordt genomen.



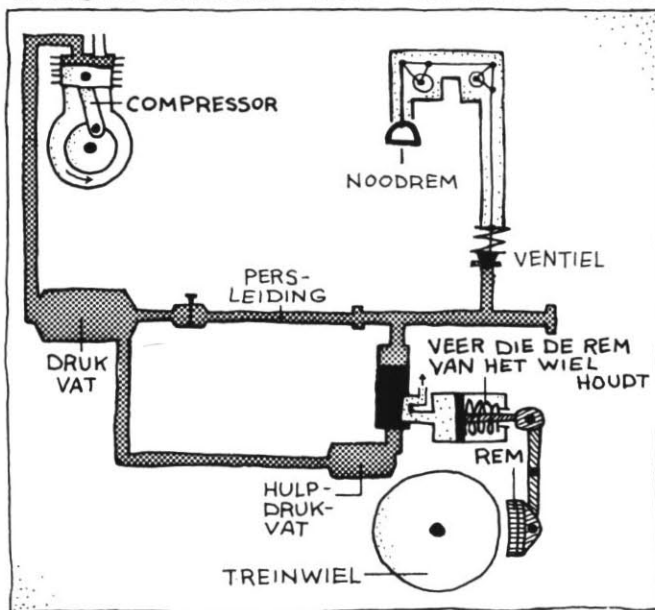
Afstandsbediening van een fototoestel

oppompen en leegpompen

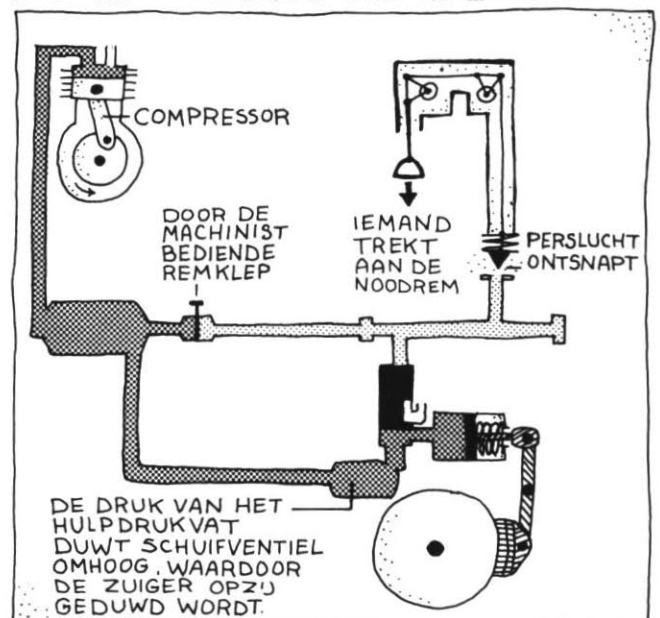
Een veel ingewikkelder pneumatisch systeem is de noodrem van een trein. Als iemand aan de noodrem trekt (niet proberen!) hoor je een heleboel gesis en de trein komt snel tot stilstand. Dat gesis komt van perslucht, die ontsnapt uit persleidingen omdat een ventiel opgetrokken wordt. Perslucht, die in een hulpdrukvat zit opgeslagen, duwt een zuiger weg. Daardoor wordt de rem tegen het wiel van de trein geduwd. Een veer zorgt er voor dat de rem wordt teruggeduwd als er weer druk op de persleiding komt. Je ziet dat hieronder in de tekening.

Ook de deuren van treinen worden pneumatisch bediend. Tijdens een treinreis kan je vaak de *compressor* horen die ervoor zorgt dat er extra lucht in de drukketel gepompt wordt. Daardoor blijft de lucht in het systeem op de gewenste druk.

VRJE STAND VAN DE NOODREM



DE NOODREM IN WERKING



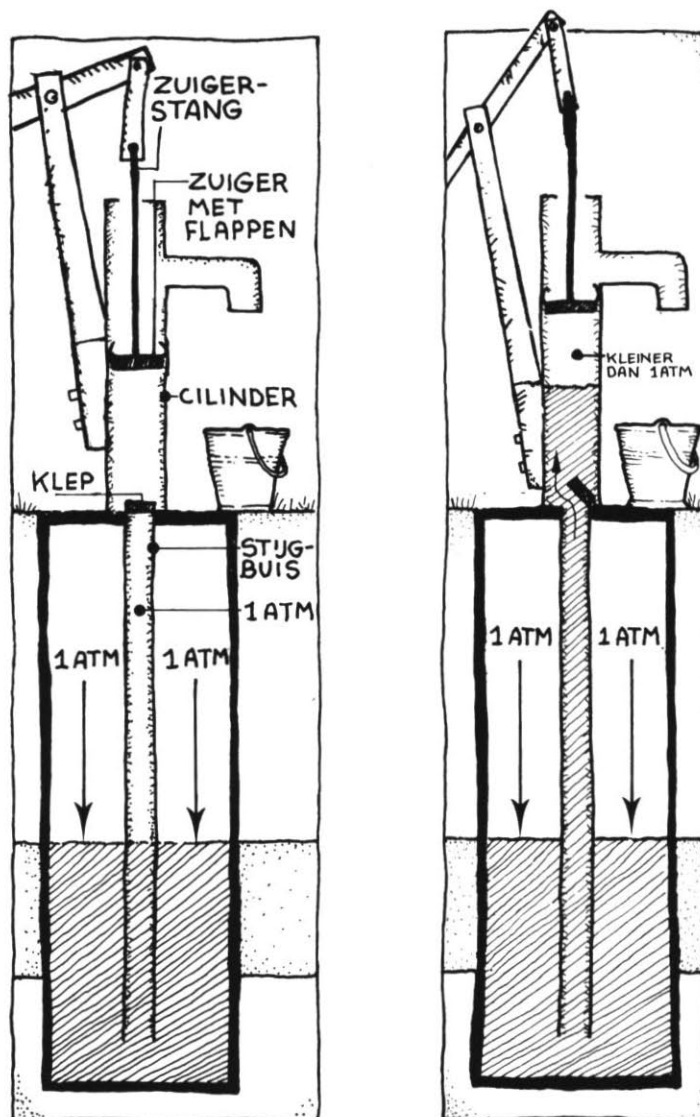
oppompen en leegpompen

EEN WATERPOMP

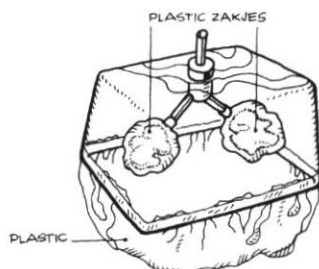
Op een dorpsplein kun je nog wel eens een oude pomp zien staan. Door een zwengel op en neer te bewegen kun je water omhoogpompen — als het ding tenminste nog werkt. Ook als je zo water uit de grond omhoogzuigt, maak je gebruik van de luchtdruk. Door de zuiger omhoog te trekken zorg je ervoor dat de luchtdruk in de pompbuis kleiner wordt dan de druk van de buitenlucht. Het water wordt in de buis omhooggeduwd en kleppen zorgen voor 'eenrichtingsverkeer'. Na een aantal slagen is de hele ruimte onder de zuiger gevuld met water.

Als de zuiger dan omlaaggaat, stroomt het water langs de flappen van de zuiger en kan naar buiten lopen.

Een pomp van dit type heet een *zuigpomp*. De stijgbuis kan niet willekeurig lang gemaakt worden: als de waterzuil in deze buis een meter of tien hoog is, kan de buitenlucht haar niet hoger meer krijgen.



ADEMHALEN



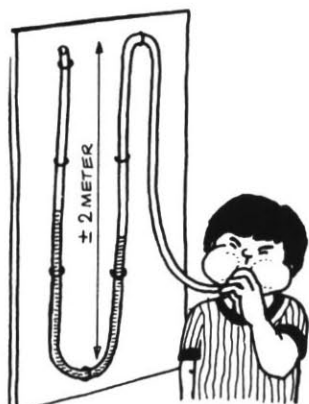
Een longmodel voor
buikademhaling

Bij je ademhaling werkt je borstkas als een pomp. Als je uitademt, maak je de ruimte in je borstkas kleiner; dan wordt de luchtdruk in je longen groter dan die van de buitenlucht en stroomt er lucht naar buiten weg. Bij het inademen maak je de ruimte in je borstkas groter; de druk in je longen wordt kleiner dan die van de buitenlucht en er stroomt lucht naar binnen.

Je kunt de ruimte in je borstkas op twee manieren groter maken: door je borstkas groter te maken (borstademhaling) of met je middenrif (buikademhaling). Je trekt dan je middenrif iets omlaag en daardoor komt je buik iets naar voren. Probeer maar eens of je bij jezelf beide manieren van ademhaling kunt ontdekken.

Wat je uitademt is niet erg verschillend van wat je inademt. Ongeveer 78 procent van de lucht is stikstof; die gebruik je niet. Ongeveer 21 procent van de lucht die je inademt is zuurstof; in de uitgeademde lucht is dat afgenomen tot ongeveer 17 procent. Er zitten dan meer koolzuurgas en waterdamp in.

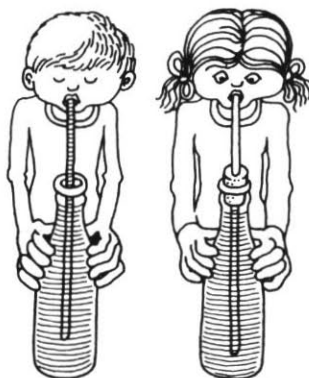
Hoeveel lucht je maximaal kunt uitademen, kun je meten door diep in te ademen en de lucht daarna door een gasmeter te blazen. Je meet daarmee niet precies het volume van je longen, want er blijft altijd nog wat lucht in je longen achter (ongeveer 1 liter). Als je normaal ademhaalt, vervang je ongeveer 0,7 liter per keer. Als je heel diep ademhaalt, kan dat 4 à 5 liter zijn.



Longdruk meten met een
watermanometer

Misschien heb je wel eens gemerkt dat je duizelig werd als je een luchtbed of een aantal ballonnen achter elkaar opblies. Door telkens diep adem te halen raakte je te veel koolzuurgas uit je bloed kwijt. Dat bloed kwam in je hersenen en veroorzaakte de duizeligheid.

Hoeveel overdruk en onderdruk je eigen 'luchtpomp' kan maken, kun je meten met een groot stuk plastic slang in U-vorm, half gevuld met water. We noemen dat een *watermanometer*. Misschien lukt het je (maar forceer je niet) om bijvoorbeeld een meter hoogteverschil te krijgen tussen het water in het linker- en het rechterbeen van de buis. De overdruk of onderdruk in je longen staat dan gelijk met de druk van een waterkolom van 1 meter.



Hij wel en zij niet?

Als je water opzuigt door een rietje maak je de druk in je mond kleiner. De luchtdruk op het water in het rietje wordt dan kleiner dan de luchtdruk op het water er omheen. Daardoor wordt het water in het rietje omhoog gedrukt, het water er omheen. Daardoor wordt het water in het rietje omhooggedrukt, tenlucht naar boven geduwd. Je kunt dat controleren door een flesje te gebruiken met een stop waardoor één buisje of rietje steekt. Als de buitenlucht er niet bij kan, kun jij het water niet omhoog krijgen. Het lukt wel als er door de stop nog een tweede buisje steekt.

LUCHTDEELTJES

Als je iets hebt schoongemaakt met wasbenzine of met spiritus kun je de lucht ervan na een tijdje in de hele kamer ruiken. Je kunt je misschien voorstellen dat de benzine zich bij verdamping splitst in onzichtbaar kleine deeltjes, die door de kamer gaan zwerven.

Bestaat lucht misschien ook uit losse kleine deeltjes? Als je lucht onder een microscoop bekijkt, blijkt er niets te bekijken te zijn: geen deeltjes, evenmin als je waterdamp of benzinedamp ziet.

Toch kan het nuttig zijn als je je fantasie gebruikt en lucht in gedachten ziet als een verzameling losse deeltjes met lege ruimte ertussen. Die deeltjes noemen we *moleculen*. Tussen die luchtdeeltjes kunnen dan allerlei andere deeltjes rondzwerven en in je neus komen: daardoor kun je benzine ruiken, of koffie, en geuren van bloemen. Tussen de luchtdeeltjes kunnen ook boosdoeners zwerven: deeltjes van irriterende of zelfs giftige stoffen.

Als je lucht beschouwt als een verzameling losse deeltjes (moleculen) met lege ruimten ertussen, kan je het verschil tussen de ijle lucht hoog in de bergen en de gewone lucht ook wel begrijpen. Daarboven heb je per liter minder luchtdeeltjes en meer lege ruimte dan hier.

LUCHT: EEN GASMENGSEL

Lucht is een mengsel van een aantal gassen, die heel verschillende eigenschappen hebben.

Zuurstof is voor ons mensen het belangrijkste bestanddeel van de lucht. Zonder zuurstof kun je maar enkele minuten in leven blijven. Zuurstof is ook nodig voor de verbranding van hout, kolen, olie en aardgas. Een voor ons schadelijke rol speelt zuurstof bij het roesten van ijzer.

Stikstof maakt meer dan driekwart van de lucht uit. Het speelt geen rol bij verbrandingsprocessen, maar kan toch wel chemisch gebonden worden aan andere stoffen. Dat wordt op grote schaal gedaan in kunstmestfabrieken, omdat planten stikstofverbindingen nodig hebben. Sommige planten, bijv. klaver en lupine, maken gebruik van bacteriën die stikstof uit de lucht halen.

Kooldioxide of *koolzuurgas* ontstaat bij verbranding van hout en andere natuurlijke brandstoffen, en ook bij de langzame 'verbranding' van voedingsstoffen in je lichaam. Planten gebruiken kooldioxide om suiker, zetmeel en andere stoffen op te bouwen. Bij dit proces komt zuurstof vrij.

Bij rotting van plantenresten ontstaat *methaan*, dat ook in de atmosfeer aan te tonen is. Methaan is het belangrijkste bestanddeel van aardgas. Er bestaan tegenwoordig installaties die methaan maken uit afval of mest (biogasinstallaties). Dit *biogas* kan gebruikt worden voor koken, verwarming enz.

De *edelgassen* onderscheiden zich van de andere gassen doordat ze zich heel moeilijk met andere stoffen verbinden. *Argon* wordt gebruikt als gasvulling in gloeilampen, *neon* in lichtreclamebuizen. *Helium* is heel licht en daardoor ge-



De samenstelling van lucht

lucht en leven

schikt als vulling voor ballonnen en luchtschepen. (Waterstof is nóg lichter en bovendien goedkoper, maar uiterst brandbaar).

Andere edelgassen zijn *krypton* en *xenon*.

Waterstof, het lichtste van alle gassen, komt ook in de atmosfeer voor, maar heel weinig.

Ozon ontstaat uit zuurstof bij bliksemdoorslag of door ultraviolette straling. Op 100 kilometer hoogte zit om de hele aarde heen een ijle laag ozon (zie blz. 44).

Bij bliksemdoorslag kan ook *stikstofoxide* ontstaan, een verbinding van stikstof met zuurstof.

Waterdamp is overal in de lucht aanwezig, maar in erg wisselende hoeveelheden, van bijna niets tot enkele procenten. Gemiddeld over de hele atmosfeer, van de poolstreken tot de tropen, bevat lucht ongeveer 1% waterdamp.

GEMIDDELDE SAMENSTELLING VAN NORMALE LUCHT

stoffen in de lucht	symbool	in volumedelen per miljoen volumedelen (cm ³ per m ³ lucht)	in gewichtsdelen per miljoen ge- wichtsdelen (mg per kg lucht)
stikstof	N ₂	780900	755190
zuurstof	O ₂	209500	231500
argon	Ar	9300	12800
kooldioxide	CO ₂	324	486
neon	Ne	18	12,5
helium	He	5,24	0,72
methaan	CH ₄	2,20	1,20
krypton	Kr	1,00	2,90
stikstofoxide	N ₂ O	0,50	0,76
waterstof	H ₂	0,50	0,03
xenon	Xe	0,08	0,36
ozon	O ₃	0,01	0,02
waterdamp	H ₂ O	variabel ca. 1,2%	variabel ca. 0,7%

Als de lucht verontreinigd is, zitten er verder nog allerlei andere stoffen in.

LUCHTVERONTREINIGING

De oudste oorzaak van luchtverontreiniging is *huisverwarming*: het stoken van hout, turf, kolen en olie. Bij het verbranden van deze stoffen komen vaste stukjes vuil — rook en roet — in de lucht. Die zijn hinderlijk, bijv. als net je schone was buiten hangt, maar voor je ademhaling niet gauw gevaarlijk. Erger zijn de verbrandingsgassen, tenminste enkele soorten. Kolen en olie bevatten altijd wel wat zwavel, dat bij verbranding het schadelijke gas zwaveldioxide oplevert.



lucht en leven



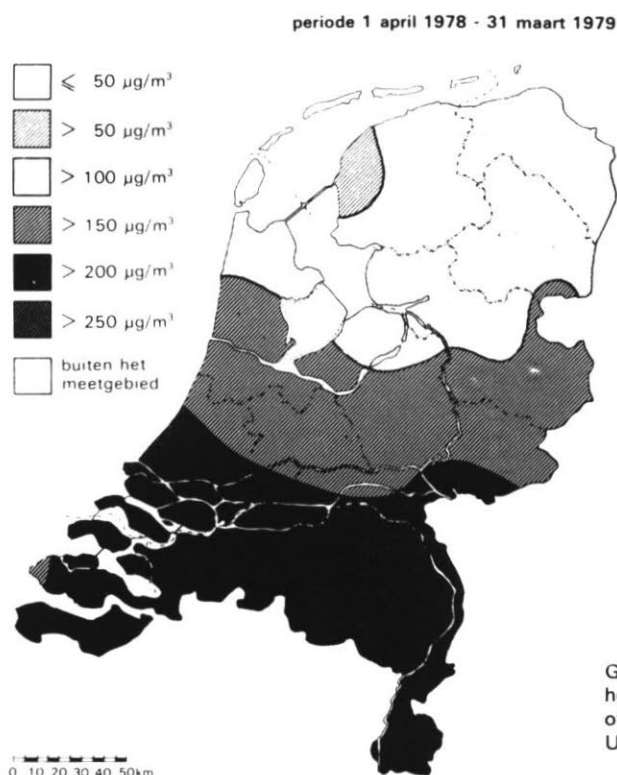
Brug open? Motor uit!

Aardgas is gelukkig een erg schone brandstof: je krijgt kooldioxide (koolzuurgas) en waterdamp. Maar als het gas met te weinig lucht gemengd wordt, verbrandt het onvolledig. Je krijgt dan een giftig gas: koolmonoxide. Dit gas werd vroeger 'kolendamp' genoemd; het ontstond vaak als de kolenkachel brandde, maar er onvoldoende frisse lucht in huis kwam.

De *industrie* geeft tegenwoordig veel meer luchtvervuiling, vooral met zwaveldioxide, dan alle huisverwarming. Het helpt wel als men hoge schoorstenen gebruikt: de schadelijke gassen worden dan tenminste gemengd met flink wat lucht, voordat ze door mensen ingeademd kunnen worden. De wind helpt hierbij, maar zorgt er ook voor dat de luchtverontreiniging over een groot gebied verspreid wordt.

Het *wegverkeer*, vooral het autoverkeer, is de derde grote vervuiler. Personenauto's zijn verreweg de grootste producenten van koolmonoxide: alleen al in Nederland meer dan 1500 miljoen kilogram per jaar. Er worden wel pogingen gedaan om een 'schonere' benzinemotor te construeren, maar tot nu toe met weinig resultaat.

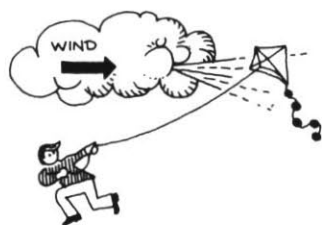
Op meer dan 200 plaatsen in Nederland zijn snuffelpalen opgesteld, met instrumenten die continu de hoeveelheid zwaveldioxide in de lucht meten. Via telefoonlijnen worden de uitkomsten doorgegeven naar een centrale post in Bilthoven. Zo kan men van dag tot dag nagaan hoe het met de luchtverontreiniging gesteld is. Maar daardoor neemt de verontreiniging nog niet af. Wel wordt bekend wanneer maatregelen genomen moeten worden. Hieronder staan de resultaten.



Grenswaarden volgens advies Gezondheidsraad: $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($1 \mu\text{g}$ = microgram of 1 miljoenste gram)
Uit: *Statistisch zakboek* 1980

luchtstromen laten werken

VLEUGELS



Het oorspronkelijke vliegtuig van de gebroeders Wright uit 1903



Misschien heb je wel eens een vlieger opgelaten. Je weet dan dat het behoorlijk moet waaien en dat je de vlieger tegen de wind moet oplaten. Als het lukt en de vlieger in de lucht staat, wordt hij gedragen door de lucht. Die lucht duwt blijkbaar harder tegen de onderkant dan op de bovenkant. Zoiets moet ook het geval zijn met de vleugels van vogels. Meeuwen zie je soms vrijwel stilstaan in de lucht, tegen de wind in gericht, gedragen door de stromende lucht.

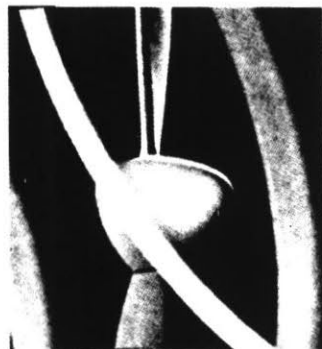
Al in de Oudheid hebben mensen ervan gedroomd te kunnen vliegen als vogels. In de negentiende eeuw hebben verschillende pioniers vliegtuigen gemaakt waarmee ze zo ver mogelijk probeerden te zweven. Ook probeerden ze kleine stoommachines te gebruiken voor de voortstuwing. Sommige van die constructies leken al veel op de latere vliegtuigen: ze hadden een vleugel en een staartvlak, een propeller, een landingsgestel, een richtingsroer en een hoogteroer.

De eerste mensen die echt vlogen, al vlogen ze nog maar een paar honderd meter, waren twee Amerikaanse fietsenmakers, de gebroeders Orville en Wilbur Wright, in 1903. Ze hadden ook een *windtunnel* gemaakt: een buis waar een grote ventilator lucht doorheen blies met een snelheid van ongeveer 50 km per uur. In die lichtstroom plaatsten ze vleugels van allerlei geschikt lijkende vormen op een soort weegschaal. Zo konden ze de kracht meten waarmee de lucht een vleugel omhoog duwt.

Tegenwoordig worden nieuwe vliegtuigtypen nog steeds als model op schaal in windtunnels beproefd. (Als het vliegtuig met een snelheid van 1000 km per uur moet vliegen, moet je wel het model beproeven in een luchtstroom van die snelheid). Met rooksluizen in de luchtstroom is de beweging van de lucht te onderzoeken. Wat er precies gebeurt is erg ingewikkeld. In ieder geval moet de vleugel zo'n vorm hebben, dat de luchtstroom erboven sneller loopt dan die eronder. Dat principe kun je zelf aan een heel simpel proefje zien: als je de rand van een blad papier voor je mond houdt en vlak over het papier heen blaast, zul je zien dat het opgetild wordt. Door de stroming wordt de luchtdruk boven het papier iets kleiner.

Door zijn bijzondere vorm stroomt de lucht boven de vleugel sneller dan eronder. De lucht boven de vleugel wordt als het ware 'uitgerekt': er komt per kubieke centimeter wat minder lucht dan eronder. Dus de druk boven is wat kleiner dan de druk onder de vleugel: dat drukverschil tilt de vleugel omhoog. Dat noemen we de *lift* die een vliegtuig krijgt.

VOORTSTUWING

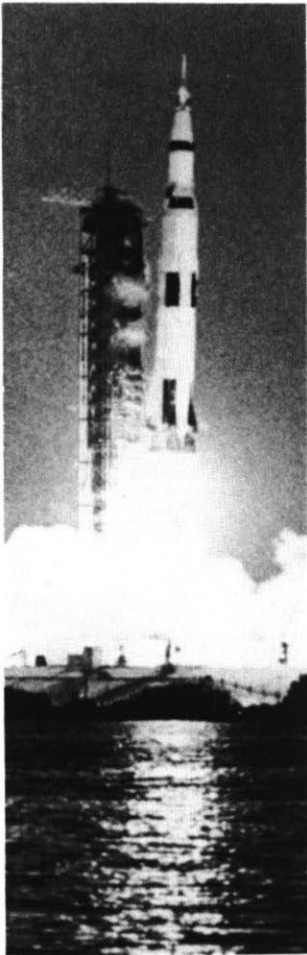


De bladen van een propeller 'schroeven' door de lucht

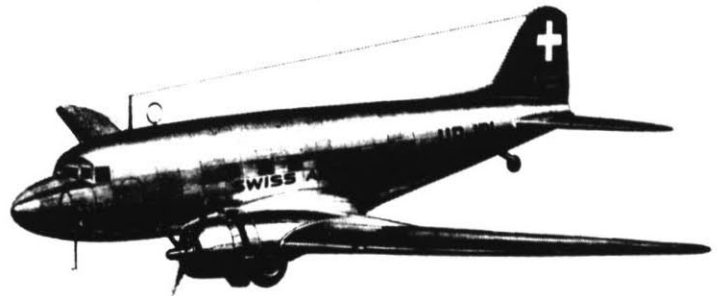
De eerste vliegtuigen hadden voor hun voortstuwing een of meer propellers. Zo'n propeller is te vergelijken met de schroef van een schip. Een scheepsschroef zet zich af tegen het water door het naar achteren te malen. Daardoor gaat de schroef, en daarmee het hele schip, naar voren. Evenzo zet de schroef van een vliegtuig zich af tegen de lucht door de lucht naar achteren te malen. Daardoor gaat het vliegtuig zelf naar voren.

Tot ongeveer 1920 werden de propellers gemaakt van hout, later van aluminium of van staal. Ze werden aangedreven door motoren met zuigers (te vergelijken met automotoren). Omstreeks 1930 waren de motoren, de propellers en

luchtstromen laten werken



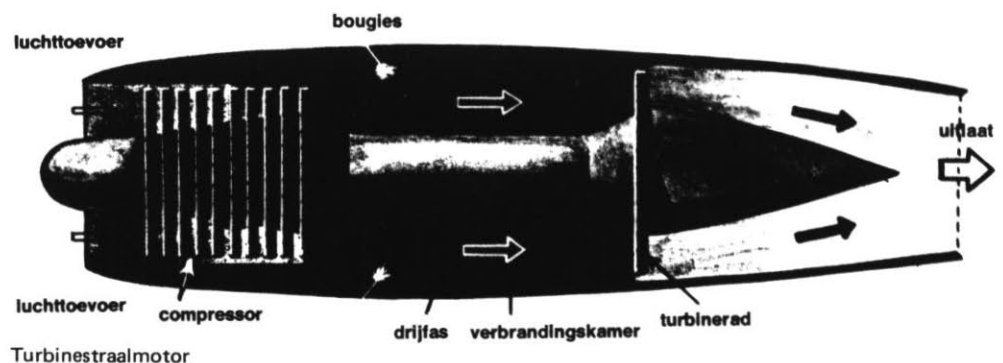
de vliegtuigen als geheel betrouwbaar genoeg geworden voor regelmatig luchtverkeer over de hele wereld. In 1939, vlak voor de Tweede Wereldoorlog, was het meest gebruikte passagiersvliegtuig de Amerikaanse DC 3. Het kon 21 passagiers vervoeren met een snelheid van 300 km per uur.



De beroemde DC 3 Dakota uit het jaar 1935

Intussen waren ontwerpers in Engeland en Duitsland al bezig te werken aan een ander soort voortstuwing, om hogere snelheden te bereiken. Zij ontwikkelden de *straalmotor*: een motor die een straal verbrandingsgassen met grote snelheid naar achteren uitstoot. Zo'n motor zet zich af tegen zijn eigen uitlaatgassen.

Je kan een straalmotor vergelijken met een ballon waar de lucht uit stroomt. In een hard opgeblazen ballon duwt de lucht wel flink, maar even hard in alle richtingen. Daardoor kan de samengeperste lucht de ballon niet in beweging brengen. Dat wordt anders wanneer de lucht kan ontsnappen. Door de opening stroomt de lucht naar buiten. De ballon zet zich af tegen die lucht en gaat dus zelf de andere kant op. En dat is ook het principe waarmee straalmotoren en raketten werken, al werken die dan met hete verbrandingsgassen in plaats van samengeperste lucht.



Turbinestraalmotor



luchtstromen laten werken



De rotor van de helicopter zorgt ervoor dat hij kan stilstaan in de lucht

DE HELICOPTER

De grote vleugels boven een helicopter (hefschroefvliegtuig), de rotor, zetten zich af tegen de lucht door de lucht omlaag te slaan. Daardoor gaat de helicopter omhoog. Iets dergelijks kun je ook zien bij de vliegende schotel, een stuk speelgoed van plastic, dat omhoog gaat als je het hard laat ronddraaien. De vleugels van de vliegende schotel werken net als de rotor van de helicopter.



Een 'vliegende schotel'



ZWEVEN OP EEN LUCHTKUSSEN



Het bekendste voertuig dat op een luchtkussen zweeft is de *hovercraft* (luchtkussenvoertuig). Dit voertuig heeft grote ventilatoren die lucht van boven onder het voertuig blazen. De druk onder het voertuig wordt daardoor zo groot dat de lucht het voertuig kan dragen. Door dat luchtkussen tussen het voertuig en de aarde of de zee ondervindt de hovercraft weinig wrijving en kan hij snel bewegen. Hij gaat vooruit door propellers die de lucht naar achteren blazen. Tussen Engeland en Frankrijk wordt een veerdienst onderhouden met een hovercraft.

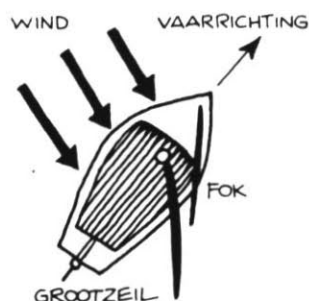
Sommige scholen bezitten een *luchtkussenbaan*: een lange rechte buis waarin lucht wordt geblazen. Die komt er door een heleboel kleine gaatjes uit. Een voorwerp dat precies op de buis past, gaat door die luchtstroom boven de buis zweven en kan met heel weinig wrijving bewegen.



Een luchtkussenbaan

luchtstromen laten werken

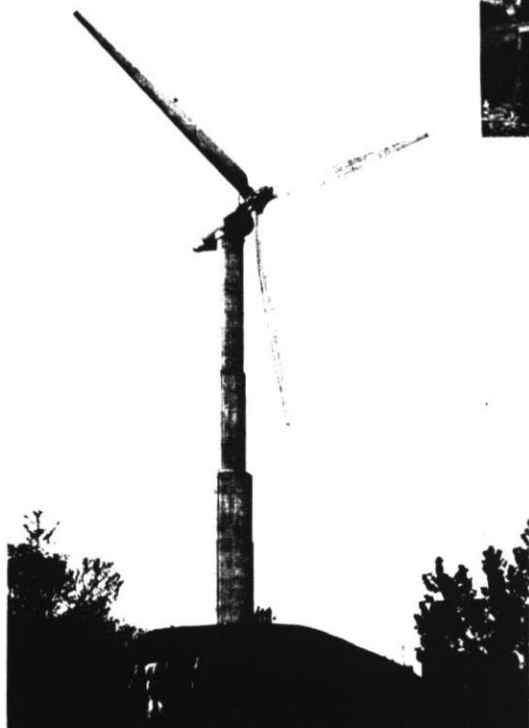
WERKEN MET WIND



Vroeger leefden veel Nederlanders 'van de wind', door middel van zeilschepen en windmolens. Tot in de vorige eeuw stonden in de Zaanstreek honderden molens om graan te malen, olie uit zaden te persen, hout te zagen en ander nuttig werk te doen. Duizenden molens stonden over het land verspreid om water uit de polders weg te malen.

Stilstaande lucht duwt wel overal tegenaan, maar duwt van alle kanten even hard. Als de lucht stroomt, kan je een hindernis in de luchtstroom zetten; de lucht duwt dan harder tegen de voorkant dan tegen de achterkant. Al duizenden jaren geleden kwamen mensen op het idee een zeil op hun schip te zetten en de wind te laten werken. Later leerden ze de vorm van zeilen zo te maken, dat ze ook schuin tegen de wind in konden varen. De lucht die achterlangs het zeil stroomt duwt dan blijkbaar harder dan de lucht die voorlangs het zeil stroomt.

Bij molens staan de wieken niet precies dwars op de wind, maar een beetje scheef; de lucht duwt de wieken opzij. De vorm van molenwieken was vroeger een kwestie van praktijkervaring, maar tegenwoordig worden er proeven en berekeningen uitgevoerd om te zien of de vorm nog te verbeteren is.



Een moderne molen die elektriciteit levert. De Tvind-molen in Denemarken

luchtstromen laten werken

Er bestaan plannen om windmolens te gebruiken voor het opwekken van elektriciteit op grote schaal. Hier en daar staat al een molen die elektriciteit levert. Misschien zijn dat er in het jaar 2000 wel duizenden.

Die moderne molens zien er heel anders uit dan de 'Hollandse' molen. De wielen draaien ook veel sneller rond. Zo wordt zo veel mogelijk elektriciteit uit de wind opgewekt.

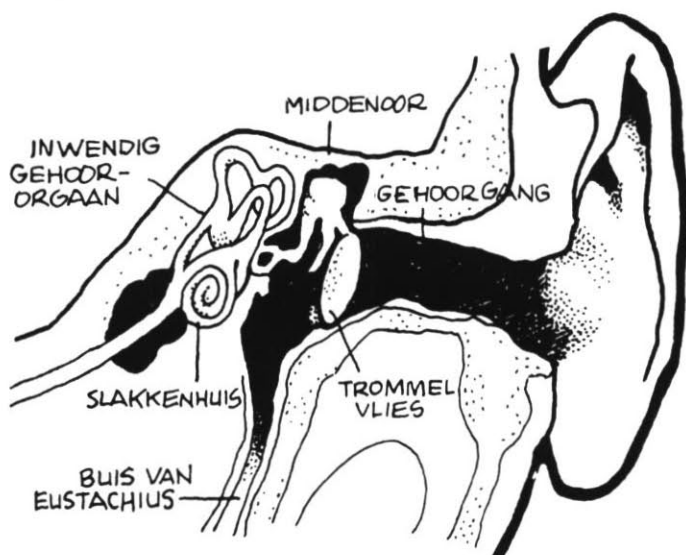
WIND MAKEN

Het omgekeerde van een windmolen is een ventilator: een molen die wind *maakt*. Doordat de bladen ook hier iets scheef staan, kun je een ventilator vergelijken met de schroef van een motorboot, die het water naar achteren wegduwt.

In een stofzuiger zit ook een molentje, dat lucht in een bepaalde richting wegduwt. Aan de andere kant wordt de luchtdruk lager, daardoor stroomt lucht naar binnen en deze kunstmatige wind neemt het stof van de vloer mee.

JE OREN

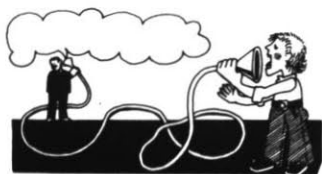
De trommelvliesen in je oren zijn heel gevoelig voor luchtdrukveranderingen. Als je ooit een autotocht hebt gemaakt in een gebied met hellende wegen, heb je aan je oren kunnen merken dat de luchtdruk veranderde: een vreemd, soms bijna pijnlijk gevoel. Dat gevoel verdwijnt als je slikt: dan wordt de druk binnen je oren weer gelijk aan de druk erbuiten.



Een schematische tekening van je oor

Als je een klap geeft op een trommelvlies, van een trommel dan wel, blijft dat trommelvel even natrillen. Het gaat in snel tempo omhoog en terug, een honderd keer per seconde misschien. Vlak bij het trommelvel wordt de lucht telkens even samengeperst, maar als het trommelvel terugveert, wordt de druk juist lager dan in de omgeving. Die drukveranderingen worden doorgegeven in de lucht; als ze jouw trommelvliesen bereiken duwen ze die telkens iets naar binnen en laten ze dan weer terugveren. En die trilling van je trommelvliesen wordt je gewaar als geluid.

GELUIDSSNELHEID



Hoe snel geeft de lucht die 'storingen' door? Je zou dat kunnen schatten door met iemand die een trommel heeft een rustig stuk weg op te zoeken, met afstandspaaltes. Als je op 100 meter afstand staat, hoor je de klap duidelijk later dan je hem ziet geven. Als de ander een klap per seconde geeft, kun je zoveel verder gaan staan dat het net weer klopt — je ziet dan de stok neerkomen op het moment dat je de vorige klap hoort. En de afstand waarop je staat is dan de afstand die het geluid in 1 seconde aflegt.

Voor de snelheid van het geluid blijkt het niet uit te maken of het geluid sterk of zwak is en of de toon laag of hoog klinkt. Het geluid heeft steeds ongeveer 3 seconden nodig om een kilometer af te leggen. Dat regeltje kun je gebruiken om te schatten hoever een onweersbui van je af is. Als je een bliksemstraal ziet en pas 12 seconden later de donderslag hoort, dan is de afstand 4 kilometer.

lucht en geluid

HOGE EN LAGE TONEN

Als je fluit, breng je één toon voort die (min of meer) bestaat uit één toonhoogte. Toonhoogte staat voor een aantal (lucht-)trillingen per seconde. Hoe hoger de toon, hoe meer trillingen per seconde. Bij een trommel of bij een luidspreker die een lage toon voortbrengt, kun je die trillingen met je vingers voelen. Bij hoge tonen gaan die trillingen zó snel, dat je ze niet meer met je vingers kunt voelen.

Een muzikale toon bestaat meestal uit een aantal trillingen door elkaar. Bepaalde tonen — grondtoon en boventonen — horen bij elkaar en geven daarom een mooi geluid. Als ze niet precies bij elkaar horen, geeft dat een vals geluid. Ook je eigen stem bestaat uit een heleboel tonen tegelijk.



Verskillende tonen uit
verschillende lengten lucht

Je kunt zelf tonen maken door in een buisje met lucht te blazen. Hoge tonen krijg je uit een korte luchtkolom, lage tonen uit een lange luchtkolom. Probeer dat maar eens.

Bij normaal praten met elkaar gebruik je tonen van 50 tot 5000 trillingen per seconde. Bij muziek worden ook hogere tonen gebruikt. Jonge mensen kunnen tonen van 20 tot 20 000 trillingen per seconde horen. Maar oudere mensen horen tonen boven 12 000 trillingen per seconde meestal niet meer.

Geluid van meer dan 20 000 trillingen per seconde noemen we *ultrasoon* geluid. Mensen kunnen ultrasoon geluid dus niet horen. Sommige dieren wel. Vleermuizen gebruiken ultrasoon geluid om muggen en hindernissen in het donker op te sporen. Ze brengen ultrasoon geluid voort en luisteren naar de echo daarvan. Daaraan kunnen ze horen hoe ver bijv. de muggen waartegen het geluid is teruggekaatst, zich van hen vandaan bevinden. Op die manier vangen ze in het donker hun voedsel.



Een vleermuis 'hoort' muggen



LUCHTBALLONNEN

In 1782 maakten twee Fransen, de gebroeders Joseph en Etienne Montgolfier, grote ballonnen met een opening van onderen, die ze lieten opstijgen door er een vuur onder te stoken. In het jaar daarop lieten ze dieren – een lam, een haan en een eend – opstijgen. Een enthousiaste jonge natuurkundige, François Pilatre de Rozier, bood zich aan voor de eerste bemande ruimtevlucht. De eerste keer steeg hij tot ruim 20 meter hoogte en op 21 november 1783 maakte hij samen met een vriend een vlucht van 25 minuten in de buurt van Parijs en over de Seine.

Probeer je dat eens voor te stellen: een ballon van 20 meter hoogte en 16 meter middellijn, met een inhoud van 2200 kubieke meter (zoiets als twintig leslokalen), gemaakt van linnen en papier, versierd met rode en goudkleurige figuren op een blauwe ondergrond. De ballonvaarders stonden op een soort balkon dat rondom de opening in de onderkant van de ballon liep. Aan de ballon hing een stookplaat waarop een strovuur brandde. Door het vuur wat meer of minder op te stoken konden de ballonvaarders stijgende en dalende bewegingen uitvoeren.

Al gauw kwam iemand met een verbeterd type ballon: gesloten en gevuld met waterstof, een gas dat veel lichter is dan hete lucht. Het omhulsel was van zijde, gasdicht gemaakt met een laagje vernis. De natuurkundige Charles en een van de makers van de ballon, Robert, zouden er op 1 december 1793 mee opstijgen. Het grote nieuws ging door heel Parijs en zo'n 400 000 mensen, de helft van de bevolking, kwamen kijken. Het werd een perfecte show: een vlucht die ruim twee uur duurde en eindigde in een zachte landing. Daarna steeg Charles alleen op. Deze keer steeg de ballon veel sneller en tot een hoogte van 3000 meter. Die hoogte kon Charles bepalen omdat hij een barometer had meegenomen.

Tegenwoordig worden ballonnen vooral gebruikt door weerkundigen, om de luchtdruk, de temperatuur, de luchtvochtigheid, de windrichting en de windsnelheid te meten op verschillende hoogten. De weerkundige hoeft zelf niet mee omhoog; de aanwijzingen van de verschillende meetinstrumenten worden overgeleid door een radiozendertje dat aan de ballon hangt.



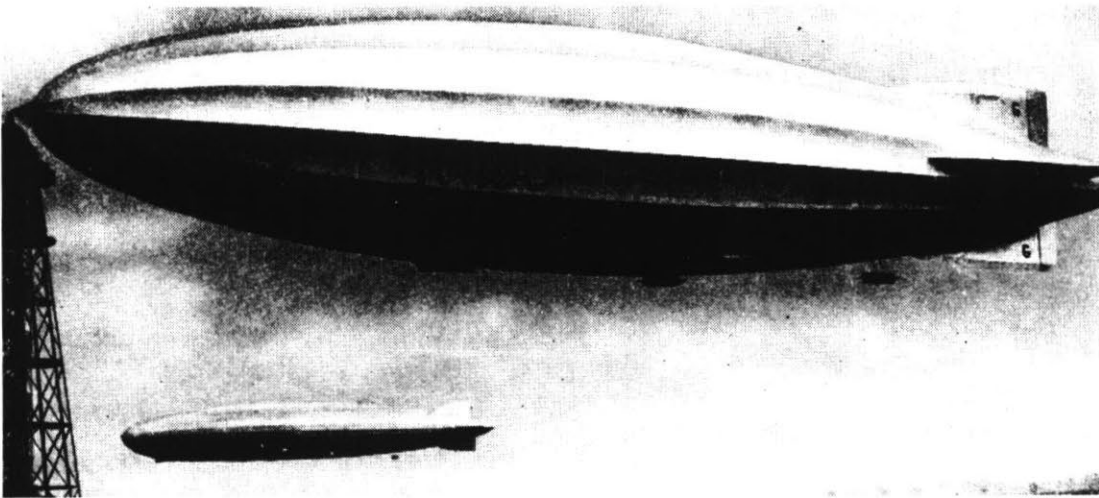
Medewerkers van het KNMI laten een weerballon op. Eén man heeft de zender vast. Het vierkante ding is de radarreflector om de ballon met radar te kunnen volgen

LUCHTSCHEPEN

In een luchtballon moet je maar zien waar je terechtkomt. Je bent een speelbal van de wind. Je voelt zelfs de wind niet eens doordat je ballon de snelheid aanneemt van de luchtstroom. Om zelf te kunnen uitmaken waar je heengaat, moet de ballon voorzien zijn van een motor die een propeller aandrijft. En dan moet je de ballon niet rond maken, maar een gestroomlijnde vorm geven.

Na de uitvinding van de benzinemotor (omstreeks 1890) werd deze vorm van luchtvaart mogelijk. Vooral de Duitse graaf Zeppelin was er enthousiast voor. Onder zijn leiding werden steeds grotere en betere luchtschepen gebouwd. De *Graf Zeppelin* bijvoorbeeld, gebouwd in 1928, was een sigaarvormig gevaarte met een lengte van 236 meter, een middellijn van 30 meter en een inhoud van meer dan 100 000 kubieke meter (zoiets als de inhoud van 1000 leslokalen). Het gas was verdeeld over verschillende ballonnen binnen een omhulsel van aluminium. Dit luchtschip is jarenlang gebruikt voor een geregelde dienst tussen Duitsland en Brazilië, 7000 kilometer zonder tussenlanding. Het gevaarte

warme lucht



Het luchtschip R-100 aan de meermast. Op de achtergrond de Graf Zeppelin

had geen start- of landingsbaan nodig, maar alleen een grote stevige mast als meerpaal om aan vast te leggen.

Een ander Duits luchtschip met een tweemaal zo grote inhoud, de *Hindenburg*, verongelukte in 1936. Het vloog in brand bij de landing in de buurt van New York. De ballonnen met waterstof verbrandden zo snel dat 34 van de 97 inzittenden zich niet meer konden redden. Deze ramp zou niet gebeurd zijn als de ballonnen gevuld waren geweest met het onbrandbare gas helium (minder licht dan waterstof, maar toch nog veel lichter dan lucht). Maar ook dan hadden de enorme luchtschepen de concurrentie tegen de veel kleinere en snellere vliegtuigen niet kunnen volhouden.

Waarom moet een luchtschip zo geweldig groot zijn om een betrekkelijk klein aantal mensen te vervoeren? Een luchtschip wordt gedragen door de atmosfeer, zoals een duikboot door het water (zie de leestekst in *Werken met water*). Maar bij een schip levert iedere kubieke meter *water*verplaatsing een draagkracht op van 1000 kilogram. En bij een luchtschip levert iedere kubieke meter *lucht*verplaatsing een draagkracht op van niet veel meer dan 1 kilogram.

LUCHT EN WARMTE

Op een mooie rustige zomerochtend hoor je soms in het weerbericht: 'Later op de dag in de kustgebieden afkoeling door wind van zee.' Boven het land is dan de temperatuur hoger opgelopen dan boven het zeewater. De lucht boven het land is door uitzetting lichter geworden en wordt door de koudere zeelucht omhooggeduwd. 's Nachts kan het omgekeerde gebeuren, als het land sneller afkoelt dan de zee. Zonder luchtcirculatie zouden de temperatuurverschillen groter zijn.

Denk nu eens aan de aarde als geheel. In de buurt van de evenaar is de temperatuur veel hoger dan in de poolstreken. Daardoor zou ook een circulatie moeten ontstaan.



warme lucht

In werkelijkheid is het door verschillende oorzaken heel wat ingewikkelder:

- de wisselende hoogte van de zon. 's Zomers ontvangen we veel meer zonnestraling dan 's winters
- de draaiing van de aarde om haar as, waardoor de luchtstromingen 'uit de koers raken'
- de ongelijke verdeling van land en zee. Boven land wordt de lucht overdag sneller opgewarmd dan boven zee, maar 's nachts koelt de lucht boven het land ook sneller weer af
- de verdamping van water, waardoor wolken en mist kunnen ontstaan.

Warme lucht kan meer waterdamp opnemen dan koude lucht. Als warme, vochtige lucht flink afkoelt, verzamelt een deel van de waterdamp zich tot druppeltjes. Op een koude winterochtend kun je vaak je adem zien. Door afkoeling van vochtige luchtmassa's kan mist ontstaan, of bewolking. In weerberichten hoor je vaak over *fronten*. Daar komen warme en koude luchtmassa's met elkaar in contact en ontstaat vaak een regenzone die met het bewegende front over het land trekt.

WARME LUCHT ZET UIT

Boven een kachel of radiator voel je de warme lucht opstijgen. Warme lucht is lichter dan koude lucht. Hoe komt dat? Dat komt omdat lucht uitzet als je haar verwarmt. Daardoor komt er minder lucht in één kubieke centimeter en weegt één kubieke centimeter warme lucht dus minder dan één kubieke centimeter koude lucht. Warme lucht stijgt op in koude lucht als een stuk hout in water.

Omgekeerd daalt koude lucht in warme lucht. Je kan dat merken bij een raam in de winter: daar wordt de lucht afgekoeld en stroomt omlaag.

Ook in de atmosfeer treden stijgende warme luchtstromen en dalende koude luchtstromen op. Men spreekt dan van *thermiek*. Zweefvliegtuigen maken van de thermiek gebruik door in stijgende warme luchtstromen mee te stijgen. Zweefvliegers proberen dus zo lang mogelijk in een stijgende luchtstroom te blijven door daarin rondjes te vliegen. Ze vermijden dalende koude luchtstromen.



Als een stijgende warme luchtstroom veel vocht bevat, kan die tot zeer grote hoogten blijven stijgen. Het vocht condenseert tot wolken. In de zomer kun je die wolken herkennen als 'donderkoppen', die een voorbode kunnen zijn van onweer.

STEEDS VERDER AFKOELEN?

Als je lucht steeds kouder gaat maken krimpt deze steeds meer. Als je lucht van 0 °C tot -1 °C laat afkoelen, krimpt zij $\frac{1}{273}$ deel. En voor elke graad temperatuurdaling daaronder krimpt zij even veel. Als je de lucht dus 273 maal een graad zou laten dalen, zou deze helemaal geen ruimte meer innemen! Zou dat kloppen? Zou je lucht kunnen laten afkoelen tot 273 graden onder nul, tot het *absolute nulpunt*?

warme lucht

Men heeft grote moeite gehad om temperaturen te bereiken van meer dan 100 graden onder nul. Maar na lang proberen kon de temperatuur van lucht verlaagd worden tot 193 graden onder nul. Maar ... bij $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$ wordt de lucht vloeibaar! Daarna heeft men geprobeerd om andere gassen nóg verder af te koelen. Met waterstof lukte dat tot $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, nog maar 20 graden boven het absolute nulpunt. Bij die temperatuur werd echter ook waterstof vloeibaar. Alleen helium kon men nog verder afkoelen.



H. Kamerlingh Onnes (links) bereikte als eerste het punt waar helium vloeibaar wordt

In 1908 lukte het *Kamerlingh Onnes* in Leiden ook *helium* vloeibaar te maken. Dat was nog maar 4,2 graden boven het absolute nulpunt. Tegenwoordig is men er van overtuigd dat de temperatuur niet verder kan dalen dan 273,15 graden onder nul. Men heeft die temperatuur nog steeds niet helemaal bereikt, ook al zit men er nog maar een honderdste graad vanaf.

De Engelse natuurkundige Kelvin heeft voorgesteld de temperatuurschaal te laten beginnen bij het absolute nulpunt. Met andere woorden: hij stelde voor niet de temperatuur van smeltend ijs, maar de temperatuur van het absolute nulpunt nul te noemen (0 K). In de natuurkunde kan het wel handig zijn om dat te doen. Daarom noemen we $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ook wel 0 K (nul kelvin), $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$ heet dan 1 K en $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ wordt dan 2 K. Nul graden Celsius moet 273 kelvin gaan heten. En $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

De temperatuur in kelvin noemt men wel de *absolute temperatuur* of de *kelvintemperatuur*. In het dagelijks leven zal je die bijna niet tegen komen. In de natuurkunde wél.

warme lucht

De achtergrond van het absolute nulpunt is, dat men veronderstelt dat de luchtdeeltjes – en ook alle andere kleine deeltjes waaruit de andere stoffen bestaan – bij die temperatuur helemaal stilstaan.

DRUK EN TEMPERATUUR

Lucht die in een stevige fles is opgesloten, kan niet uitzetten als het warmer wordt. Daar is geen plaats voor. In plaats daarvan gaat dan de temperatuur omhoog. En bij afkoeling gaat de temperatuur omlaag. Hoe meer je afkoelt, hoe verder de druk daalt. Ook met de druk is er bij het absolute nulpunt iets merkwaardigs aan de hand: de druk zou dan nul worden. Dat komt ook, omdat de kleinste deeltjes van de lucht dan helemaal stilliggen.

In je banden kan de lucht niet uitzetten. Als je je fiets in de felle zon laat staan, worden je banden harder omdat de lucht erin warmer wordt. Als je een erg slechte plek in je band zit kan die daardoor klappen!

Flessen met gas onder druk (zuurstof bijvoorbeeld, en ook butagas of LPG) kunnen heel gevaarlijk worden als ze in een ruimte staan waar brand uitbreekt. Door de hitte kan de druk in de fles zó groot worden, dat de fles uit elkaar springt. Het eerste wat de brandweer dan ook doet in zo'n geval is de flessen te koelen door ze voortdurend nat te houden en ze zo snel mogelijk weg te halen.



Pas op voor gasflessen die warm worden!

WARMTE TRANSPORT EN ISOLATIE

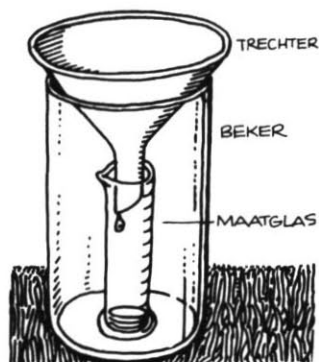
Lucht kan heel goed warmte transporteren van een plaats met hogere temperatuur naar een plaats met lagere temperatuur. In de atmosfeer gebeurt dat op grote schaal door de circulatie van geweldige massa's lucht. In een kamer kan de luchtcirculatie zorgen voor een vrij gelijkmatige temperatuur. De radiatoren van de centrale verwarming staan vaak onder de ramen; daar ontstaat een warme, opstijgende luchtstroom. Op andere plaatsen in de kamer komt afgekoelde lucht naar beneden.

In de *spouw*, de ruimte tussen de binnenmuur en de buitenmuur van een huis, circuleert ook lucht. 's Winters wordt op die manier heel wat warmte uit huis naar buiten getransporteerd.



warne lucht

Lucht die niet circuleren kan is een goed isolatiemateriaal. Tegenwoordig worden spouwmuren vaak opgevuld met steenwol, glaswol, plasticschuim of iets dergelijks. Die materialen zijn zelf al isolerend en houden bovendien veel lucht gevangen. In de natuur vind je dat ook: de vacht van een schaap en de veren van een vogel houden lucht gevangen. En een laag sneeuw vormt een uitstekende bescherming voor de grond eronder, vooral een donzige laag sneeuw, waarin veel lucht opgesloten zit. En zelf gebruik je ook lucht als isolatiemateriaal: de lucht in en tussen je kleren of in en tussen je dekens.

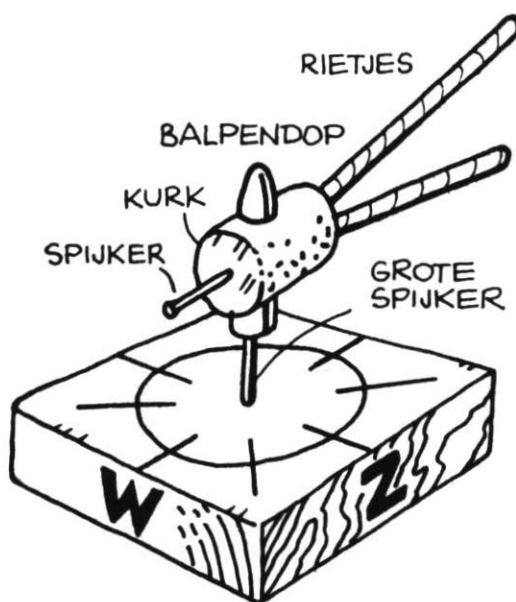


Regenmeter

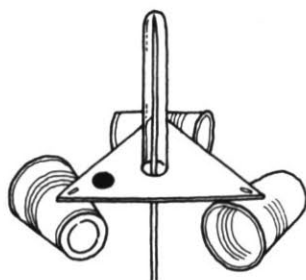
EEN WEERSTATION

Niet alleen in De Bilt, maar ook op diverse andere plaatsen in Nederland worden dagelijks gegevens over het weer verzameld. Sommige mensen doen dat voor hun beroep, maar er zijn ook heel wat amateurweerkundigen.

Je kunt met heel eenvoudige apparaatjes al heel wat doen. Op een officieel weerstation moet het allemaal natuurlijk wel nauwkeuriger gebeuren, en dan wordt de apparatuur ook ingewikkelder en duurder.



Windvaan



Windsnelheidsmeter



Zonneschijnmeter

Wat er zoal gemeten moet worden

- de *luchtdruk*. Daarvoor heb je een barometer nodig (zie blz. 47)
- de *temperatuur*. Je thermometer staat het best in een thermometerhut, beschermd tegen zon en regen
- de *luchtvochtigheid*. Meetinstrumenten hiervoor heten hygrometers. Een voorbeeld vind je op blz. 77
- de *windrichting*, te bepalen met een windwijzer
- de *windsnelheid*. Die is te meten met een horizontaal draaiend molentje. Het molentje kan een kleine dynamo laten draaien, die een elektrisch stroompje stuurt door een metertje
- de hoeveelheid *neerslag*, te bepalen door de neerslag via een trechter te verzamelen in een maatglas. Je moet natuurlijk wel rekening houden met het oppervlak van de trechtermond
- de hoeveelheid *zonneshijn*. Daarvoor dient een glazen bol, die als een brandglas werkt. Achter de glazen bol zit een strook papier waarop bij zonneshijn een schroeisporer ontstaat
- de *bewolking*. Je kunt schatten welk deel van de hemel op een bepaalde tijd bewolkt is.

SYMBOLEN VAN DE WEERKAART

1		1 Hogedrukgebieden (H) en lagedrukgebieden (L)
2		2 Isobaren: lijnen die de plaatsen verbinden waar de druk gelijk is. De druk wordt aangegeven in millibar
3		3 Koudfrent: scheiding tussen koude en warme lucht. De richting waarin het zich beweegt wordt aangegeven met de driehoekjes
4		4 Warmtefront: scheiding tussen warme en koude lucht. De richting waarin het zich beweegt wordt aangegeven met de halve schijfjes
5		5 Windsnelheid en windrichting: richting: de richting naar het cirkeltje toe snelheid: Windstil 10 km/uur 20 km/uur 40 km/uur 60 km/uur 80 km/uur 100 km/uur
6		6 Regval in de laatste 24 uur: minder dan 25 mm meer dan 25 mm
7		7 Bewolking: in het cirkeltje, dat de plaats van het station aangeeft, wordt aangegeven hoeveel bewolking er is: onbewolkt licht bewolkt half bewolkt zwaar bewolkt geheel bewolkt
8		8 Tekens bij het station: mist motregen regen sneeuw hagel bui weerlicht onweer

DE WEERKAART

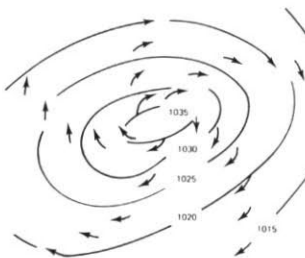


Het KNMI ontvangt dagelijks gegevens van honderden waarnemingsposten: grondstations en schepen. Gegevens over de toestand in de hogere luchtlagen worden verzameld door vliegtuigen. Ook worden vanaf de grond of vanaf schepen weerballonnen opgelaten. Aan die ballonnen hangt een doos met instrumenten en een radiozender, dat de aanwijzingen van de instrumenten doorseint.

De gegevens worden ingetekend op een kaart.

Dan worden twee soorten hulplijnen getrokken:

- **isobaren.** Deze lijnen verbinden plaatsen met gelijke luchtdruk, bijv. 1020 millibar. Een gebied met hoge druk wordt aangegeven met een H, een lagedrukgebied of depressie met een L.
- **fronten.** Deze geven de scheiding aan tussen koude en warme luchtmassa's. Vaak zijn fronten mooi te zien op foto's die gemaakt worden vanuit weersatellieten.



Windrichtingen rondom een hogedrukgebied op het noordelijk halfrond

Na een aantal uren wordt met nieuwe gegevens een nieuwe kaart gemaakt. Je kunt dan zien in welke richting de gebieden met hoge en lage druk en ook de fronten bewegen.

Je zou verwachten dat de lucht stroomt van een gebied met hoge druk naar een gebied met lage druk, dus dat de wind waait van H naar L op de weerkant. Maar door het draaien van de aarde wordt de beweging ingewikkelder. In de lucht ontstaan draaikolken, wervelingen (soms heel hevig: wervelstormen). Om een hogedrukgebied heen krijgt de wind een draaiing rechtsom, met de klok mee, rondom een depressie linksom.

WINDSCHALEN

<i>gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte boven vlak terrein</i>		<i>benaming</i>	<i>omschrijving</i>
m/s 0	km/uur < 1	stil	stil; rook stijgt recht of bijna recht omhoog
0-3	1-11	zwakke wind	windrichting goed herkenbaar aan rook- pluimen, wind begint merkbaar te worden in het gelaat; bladeren beginnen te ritselen en windvanen kunnen gaan bewegen
3-8	11-28	matige wind	bladeren en twijgen zijn voortdurend in be- weging, kleine takken beginnen te bewegen. Stof en papier beginnen van de grond op te dwarrelen
8-11	28-38	vrij krachtige wind	kleine bebladerde takken maken zwaaiende bewegingen; er vormen zich gekuifde golven op meren en kanalen
11-14	38-50	krachtige wind	grote takken bewegen; men hoort de wind in de telegraafdraden fluiten; parapluïes kunnen slechts met moeite worden vastge- houden
14-17	50-61	harde wind	gehele bomen bewegen; de wind is hinder- lijk, wanneer men er tegen in loopt
17-20	61-72	stormachtige wind	twijgen breken af; het voortgaan wordt be- lemmerd
20-24	72-86	storm	veroorzaakt lichte schade aan gebouwen (schoorsteenkappen en dakpannen worden afgerukt)
24-28	86-101	zware storm	ontwortelde bomen; aanzienlijke schade aan gebouwen enz. (komt op land zelden voor)
28-32 > 32	101-115 < 115	zeer zware storm orkaan	veroorzaakt uitgebreide schade (komt op land zeer zelden voor)

WINDSCHALEN

INTERNATIONALE BEAUFORTSCHAAL

wind- kracht Beau- fort	gemiddelde snelheid op 10 m hoogte m/s km/uur		benaming	beschrijving van de zichtbare uitwerking van de wind op het zeeoppervlak (de zgn. Petersen- schaal)
0	0,0-0,2	< 1	stil	spiegelgladde zee
1	0,3-1,5	1-5	flauw en stil	golfjes, welke de zee een geschubd aanzien ge- ven; schuimvorming heeft niet plaats
2	1,6-3,3	6-11	flauwe koelte	kleine, nog korte golven, maar beter gevormd; de toppen hebben een glasachtig aanzien en breken niet
3	3,4-5,4	12-19	lichte koelte	kleine golven; de golftoppen beginnen te bre- ken en het hierdoor gevormde schuim heeft een overwegend glasachtig aanzien, terwijl hier en daar op zichzelf staande witte schuimkoppen kunnen voorkomen
4	5,5-7,9	20-28	matige koelte	kleine, langer wordende golven; de witte schuimkoppen beginnen vrij veel voor te ko- men
5	8,0-10,7	29-38	frisse bries	matige golven, van aanmerkelijk grotere lengte; overal zijn witte schuimkoppen te zien en hier en daar komt opwaaiend schuim voor
6	10,8-13,8	39-49	stijve bries	grotere golven beginnen zich te vormen; de bre- kende koppen doen overal grote witte schuim- plekken ontstaan en opwaaiend schuim komt vrij veelvuldig voor
7	13,9-17,1	50-61	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
8	17,2-20,7	62-74	storm- achtig	matige hoge golven, met aanmerkelijke kam- lengte; de toppen der golven waaien af en vor- men goed ontwikkelde schuimstrepen in de richting van de wind
9	20,8-24,4	75-88	storm	hoge golven; zware strepen schuim in de rich- ting van de wind; de karakteristieke rollers be- ginnen zich te vormen; het zicht kan door ver- waaid schuim worden beïnvloed
10	24,5-28,4	89-102	zware storm	zeer hoge golven met lange overstortende golf- kammen; grote oppervlakken schuim worden door de wind in zulke zware witte strepen ver- spreid, dat de zee een wit aanzien krijgt; zware overslaande rollers; het zicht is door verwaaid schuim verminderd
11	28,5-32,6	103-117	zeer zware storm	buitengewoon hoge golven (kleine en middel- matig grote schepen verliezen elkaar in de golf- dalen tijdelijk uit zicht); de zee is geheel bedekt met lange in de windrichting lopende schuim- strepen; de randen der golfkammen verwaaien overal; het zicht is sterk verminderd
12	> 32,6	> 117	orkaan	de lucht is met schuim en verwaaid zeewater gevuld; de zee is volkomen wit door schuim; zicht op enige afstand bestaat niet meer

VOCHTIGHEID VAN LUCHT

Als je wel eens thuis helpt met de afwas, zul je weten dat hete borden sneller opdrogen dan koude borden. 's Winters leg je misschien wel eens je handdoek op een radiator om hem sneller te laten drogen. Hoe hoger de temperatuur is, hoe sneller water verdampt.

De lucht om je heen bevat altijd wel waterdamp: water dat is verdeeld in uiterst kleine deeltjes. Die watermoleculen zwerven rond tussen de luchtdeeltjes. Al zwervende zullen ze soortgenoten tegenkomen, waarmee ze kunnen samenklitten – condenseren – tot een waterdruppeltje.

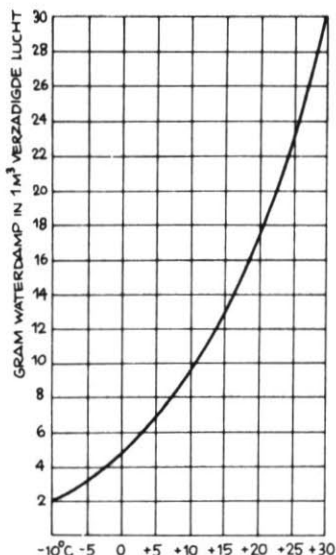
De kans dat waterdamp condenseert tot een druppeltje is het grootst:

- als er veel waterdamp in de lucht zit
- als de temperatuur laag is.

De kans dat een waterdruppeltje in damp opgaat is het grootst:

- als er weinig waterdamp in de lucht zit
- als de temperatuur hoog is.

Hoeveel waterdamp kan er nu maximaal in een kubieke meter (1000 liter) lucht rondzwerven zonder te condenseren? Met andere woorden: wanneer is de lucht verzadigd met waterdamp? Dat hangt erg van de temperatuur af, zoals je in de grafiek hiernaast kunt zien.



Meestal zit in de lucht niet de maximale hoeveelheid waterdamp, maar slechts een gedeelte, een bepaald percentage van het maximum. Dat gedeelte noemen we de *relatieve vochtigheid* van de lucht.

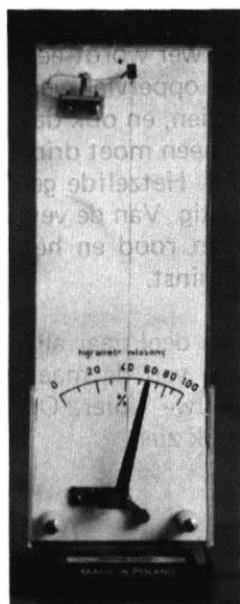
Een voorbeeld: bij 18 °C kan de lucht in je kamer per kubieke meter ten hoogste 16 gram waterdamp bevatten. Als er nu per m³ niet 16 gram, maar 12 gram waterdamp in zit is de relatieve vochtigheid 75%.

Een eenvoudige hygrometer om de relatieve vochtigheid te meten zie je hiernaast.

LUCHT IN HUIS

Normaal is je lichaamstemperatuur ongeveer 37 graden Celsius. Dat is een flink stuk hoger dan de temperatuur van de lucht om je heen. Gebruikelijke kamertemperaturen zijn 18 à 20 °C. Doordat je lichaam warmer is dan je omgeving, verlies je voortdurend warmte aan de lucht om je heen. En dat is maar goed ook. In je lichaam wordt namelijk voortdurend warmte geproduceerd door een soort verbranding. De brandstof zit in je eten. De zuurstof die voor het verbrandingsproces nodig is, krijg je binnen door je ademhaling. Zonder een behoorlijke koeling zou je lichaam oververhit raken, vooral wanneer je flink je spieren gebruikt.

Voor een extra koeling kan je lichaam zorgen door water te laten verdampen: meestal onzichtbare transpiratie, soms ook zichtbare zweetdruppels. Hoe droger de lucht om je heen is, hoe sneller de verdamping van het zweet gaat en hoe sterker dus de afkoelende werking is. In warme, vochtige lucht krijg je het



Een haarhygrometer. Mensenhaar of paardehaar krimt als het uitdroogt. In een vochtige omgeving wordt het weer langer. Door één of meer haren op een geschikte manier te verbinden met een draaibare wijzer krijg je een instrument dat laat zien hoe vochtig de lucht is

gauw benauwd. Erg droge lucht is schraal, het vocht van je lippen en van de slijmvliesen in je neus en je keel verdampt te snel. Buiten kun je daar weinig tegen doen, maar in huis kun je proberen de temperatuur en de vochtigheid zo te regelen, dat je je behaaglijk voelt.

Centrale verwarming geeft droge warmte. Om dat te verhelpen kun je bakjes van aardewerk aan de radiatoren hangen. Ongeglazuurd aardewerk is poreus: er kruipt water doorheen en dat verdampt aan de buitenkant.

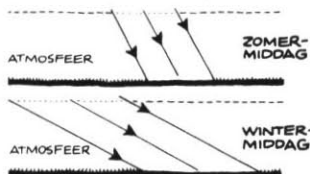
LUCHT EN LICHT

Licht gaat heel makkelijk door lucht, maar wordt niet echt door lucht overgebracht. Het licht dat we van de zon krijgen heeft 150 miljoen kilometer afgelegd en bijna die hele afstand in een zo goed als lege ruimte.



Bij de ondergaande zon wordt al het blauw verstrooid, zodat de zon rood ziet

Als zonlicht door de atmosfeer van de aarde gaat, wordt iets van dat licht, vooral blauw licht, in alle richtingen verstrooid. Een onbewolkte hemel ziet daardoor blauw. Waterdruppeltjes in wolken verstrooien ook zonlicht, maar alle kleuren ongeveer evenveel. We zien die wolken dan wit of grijs, of bijna zwart — dat hangt van de hoeveelheid licht af.



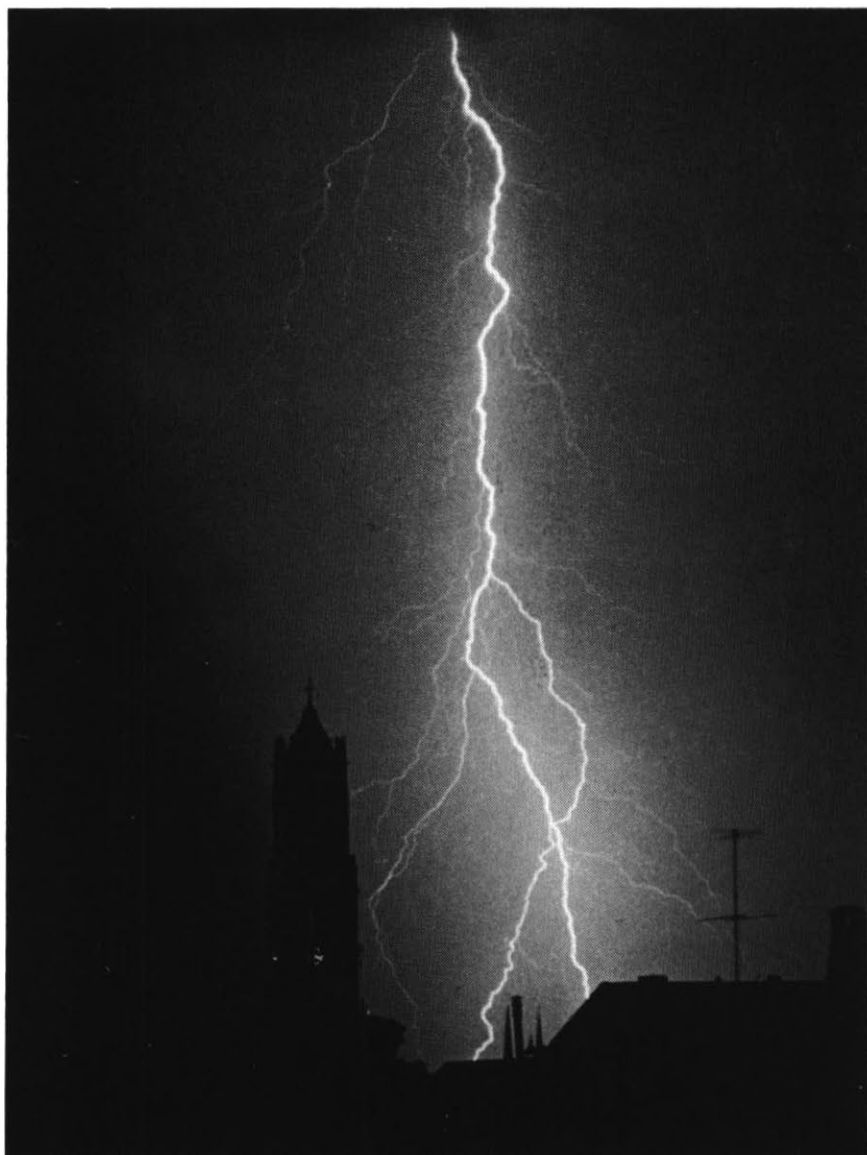
Heb je je wel eens afgevraagd hoe het komt dat de straling van de zon midden op een winterdag zoveel zwakker is dan midden op een zomerdag? De zon staat 's winters niet verder van ons weg dan 's zomers. Maar wel wordt een bundel zonlicht van een bepaalde doorsnede over een groter oppervlak verdeeld, wanneer de zon laag staat. Dat kun je in een tekening zien, en ook dat het licht van het winterzonnetje door een dikkere laag lucht heen moet dringen om ons te bereiken. Die luchtlaag verzwakt het zonlicht. Hetzelfde gebeurt bij zonsondergang; bovendien zie je de zon dan roodachtig. Van de verschillende kleuren licht die de zon ons toestraalt, worden het rood en het oranje het best door de lucht doorgelaten, blauw en violet het minst.

Van het zonlicht dat door de lucht verstrooid wordt, gaat een deel naar alle kanten de wijde lege wereldruimte in. De ruimtevaarders die van de maan terugkeerden, zagen daardoor om de aardbol een dunne blauwe sluier. Op sommige foto's vanuit de ruimte kun je die blauwe rand duidelijk zien.

LUCHT EN ELEKTRICITEIT

Een *bliksemstraal* is een elektrische stroom door lucht, heel sterk en heel kort. Hoe onweer ontstaat is een bijzonder ingewikkelde zaak en de weerkundigen zijn er nog steeds niet helemaal uit.

In gewone omstandigheden gedraagt lucht zich als een heel goede isolator voor elektriciteit. In een stroomkring met een batterij en een lampje hoef je maar een kleine onderbreking te maken om het lampje uit te schakelen. Als je de draadjes heel dicht bij elkaar houdt, kun je misschien net een vonkje zien. Bij



het in- en uitschakelen van elektrische apparaten die op het lichtnet werken zie je wel eens grotere vonken.

Over hoeveel afstand je nog een vonk kunt trekken, hangt af van de elektrische spanning. Je kent wel de uitdrukking 'een spanning van zoveel volt'. Een gewone ronde zaklantaarnbatterij geeft 1,5 volt, je fietsdynamo bij normale snelheid 6 volt, het lichtnet 220 volt. Op schrikdraad staat een spanning van misschien wel enkele duizenden volt; er kan een vonk overslaan als je je vinger op ongeveer een millimeter afstand houdt. Gevaarlijk is dat niet, omdat deze spanning in heel korte stootjes werkt, zodat er telkens maar heel even stroom door je lichaam gaat.

Als je in het donker voor een spiegel een trui uittrekt of een kam door je haren haalt, kun je soms ook vonkjes zien, vooral als de lucht in huis erg droog is. De elektrische spanning wordt dan opgewekt door het langs elkaar wrijven van verschillende stoffen.

woordenlijst

absolute nulpunt 69
absolute temperatuur 70
ademhalen 56, 77
argon 57
atmosfeer 43, 51

ballon 43, 45, 61
barometer 47, 48, 49
biogas 57
bliksem 78
borstademhaling 56
buikademhaling 56

centimeter kwikdruk 48, 52
circulatie 68
compressor 54

depressie 74
donderslag 65
druk 46, 49
drukcabine 43
drukketel 53

edelgassen 57
elektrische vonk 79
exosfeer 44

fietspomp 50
freon 44
front 69, 74

gasfles 71
geluid 41, 65
geluidssnelheid 65
gewicht van lucht 45
Guericke, Von 46

helicopter 62
helium 57, 68, 70
Hindenburg 68
hogedrukgebied 47, 68, 69
hoge tonen 66
hovercraft 41, 62
hygrometer 73, 77

ionosfeer 44
isobar 74
isolatie 71
isolatie, van warmte 71
—, van elektriciteit 78

Kamerlingh Onnes 70
Kelvin 70
kooldioxide 56, 57
koolmonoxide 59
koolzuurgas 56, 57
koufront 74
krater 42
krypton 58
kwikbarometer 48
kwikdruk 48

lagedrukgebied 43, 74
lage tonen 66
lege ruimte 41
lift 60
longen 41, 56
luchtballon 67
luchtdeeltjes 57
luchtkussenbaan 62
luchtschip 67
luchtverontreiniging 58
luchtvochtigheid 73, 77

Maagdenburgse halve bollen 46
maan 42
manometer 51

mb 52
metaalbarometer 47, 48
meteorieten 42, 45
methaan 57
millibar 48, 52
moleculen 57, 77
molenwiek 63
Montgolfier 67
muziek 41, 66

N/cm² 52
neerslag 73
neon 58
noodrem 54
noorderlicht 45

onderdruk 52
oor 65
overdruk 51
ozon 58
ozonlaag 44

Pa 52
parachute 42
Pascal 52
perslucht 53
pneumatisch 53
pomp 55
propeller 60

radiator 71
raket 61
relatieve vochtigheid 77
rietje 56
rotor 62
ruimtepak 41

samengeperste lucht 45, 50
samenpersen 50
satelliet 43, 45
sneeuwblindheid 44

snuffelpaal 59
spouw 71
stikstof 56, 57
stikstofoxide 58
stofzuiger 64
straalmotor 61
stratosfeer 44

thermiek 69
thermometer 73
Torricelli 48
trillende lucht 41
trommelvlies 65
troposfeer 44

uitzetten 71
ultrasoon 66
ultraviolet 44, 58

vacuüm 41, 48, 52
vacuümpomp 45
vallende ster 45
ventiel 50, 53
ventilator 64
verdamping 77
verstrooien, van licht 78
verzadigd 77
vleugel 60
vliegende schotel 62
vlieger 60
vliegtuig 60
volume 50

warme lucht 45, 67, 69
warmtefront 74
warmtetransport 71
waterbarometer 48
waterdamp 56, 58
waterdruk 48
watermanometer 56
waterpomp 55
waterstof 58, 67, 70
weerkaart 74

woordenlijst

weerstation 73
windmolen 63
windrichting 73
windsnelheid 73
windtunnel 60
Wright 60

xenon 58

ijl 43

zeilschip 63
Zeppelin 67
zonneshijn 73
zuiger 53
zuignap 47
zuigpomp 55
zuurstof 56, 57
zuurstoffles 43
zwaveldioxide 58
zweefvliegtuig 69

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 (secre.); secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
 S. Auer, algemeen didacticus Universiteit van Amsterdam
 F. Balkema, inspecteur voortgezet onderwijs
 H.P. Hoymayers, 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. Hoymayers (voorzitter), hoogleraar natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
 W.P.J. Lignac (secre. tot 1978), secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
 A.A.M. Agterberg (secre. sedert 1978), secretaris Advies Commissie voor de Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde in oprichting
 P. Broekman (sedert 1980), hoofd afdeling Bèta en Gamma-vakken 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.
 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 mavo

G.H. Frederik, vakdidacticus Rijksuniversiteit Utrecht; tot 1979 voorzitter van de ACLO-n i.o.
 H. Eeftink (sedert 1980), leraar natuurkunde mavo
 D. Hobo (tot 1979), directeur van de Chr. Mavo de Lier
 S.G.C. Markering, hoofddocent natuurkunde Gelderse Leergangen
 Ch. van Raemdonck (sedert 1980), leraar natuurkunde mavo (PLON)
 J. Vastbinder (sedert 1980), leraar natuurkunde M.T.S.
 W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo Putten

PLON-team mavo/havo/vwo-onderbouw

H.F. van Aalst
 W. van Bochoven (1976-1978)
 W. Bijker (1979-1981), Rijks Universiteit Utrecht
 H. Boelhouwer (sedert 1979), S.V.O.
 S.O. Ebbens (1976-1980)
 C. Floor (1979-1980)
 A.C.L. van Gameren (sedert 1977)
 D. van Genderen, Rijks Universiteit Utrecht
 F.L. Gravenberch (sedert 1978)
 C.A.S. Groen (tot 1980)
 W.H. Kamphuis (sedert 1975)
 J. Kortland (sedert 1980)
 B.M. de la Parra (sedert 1977)
 B. Pelupessy
 P. de Raad (1977-1978), onderzoeksassistent
 A.E. van der Valk (sedert 1980)
 R.F.A. Wierstra
 Th. Wubbels (1978-1979)
 J. Zwarts (1977-1978), onderzoeksassistent

PLON-administratie

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

Tekeningen

A. Lurvink (Onderwijsmedia instituut
 – Rijks Universiteit Utrecht)
 H. de Waal (Onderwijsmedia 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. Jaspers
 J. de Kanter

Proef- en volgscholen 1980-1981

Chr. Mavo Putten te Putten
 Chr. Mavo de Lier te De Lier
 Thorbecke S.G. te Arnhem (mavo-afdeling)
 Edith Stein College te Den Haag
 Chr. Mavo Mariahoeve te Den Haag
 Maasveld Mavo te Blerick
 Regina Pacis Streekschool te Oudewater
 R.S.G. Schagen te Schagen
 Hertog Jan College te Valkenswaard
 Marnix College te Ede
 Niels Stensen College te Utrecht
 Ashram College te Alphen a/d Rijn
 Mavo de Bark te Zaandam
 S.G. Oost Betuwe te Bemmelen
 R.S.G. Broeklede te Breukelen
 Eemland College Noord te Amersfoort
 Grotius College te Heerlen
 S.G. Nijmegen Oost te Nijmegen
 Chr. S.G. de Brug te Lelystad
 Dr. Edith Stein Mavo te Eindhoven
 Michaël Mavo te Beek-Ubbergen
 Chr. S.G. Jan van Arkel te Hardenberg
 Mavo 't Fregat te Zaandam
 Chr. S.G. Revis te Deventer

*Overzicht van PLON-thema's voor mavo en onderbouw
havo-vwo*

VOOR DE 2e KLAS

- Een eerste verkenning in de natuurkunde
- Mensen en metalen — themaboek
- Keuzeonderzoeken
- Werken met water — themaboek
- Leven in lucht
- IJs, water en stoom (I en II)

Tevens zijn beschikbaar:

- Terugblik 2e klas, avol/app. gidsen, rommelpakket Leven in lucht, waterbladen en demonstratiebladen Werken met water.

VOOR DE 3e KLAS

- Bruggen
- Zien bewegen
- Geluid weergeven
- Natuurkunde in de samenleving: Water voor Tanzania
- Elektrische schakelingen — instructieboekje
- Energie thuis
- Natuurkunde in de samenleving: Energie in de toekomst

Tevens zijn beschikbaar:

- Kleur en licht
- Avol/app. gidsen

VOOR DE 4e KLAS MAVO EN DE 3e KLAS HAVO-VWO

- Verkeer en veiligheid
- Krachten — instructieboekje
- Natuurkunde in de samenleving: Stoppen of doorrijden?
- Verwarmen en isoleren
- Schakelen en regelen
- Machines en energie
- Natuurkunde in de samenleving: Kernwapens

Tevens zijn beschikbaar:

- Repeteerthema voor het eindexamen mavo
- Examenboekje voor mavo
- Avol/app. gidsen