

Meteorologie en weersverwachting

Lesmateriaal voor de onderbouw van het middelbaar onderwijs
Docentenmateriaal en achtergrondinformatie

Algemene informatie over meteorologie

Het weer op aarde wordt bepaald door natuurkundige wetmatigheden die erg ingewikkeld zijn en slechts gedeeltelijk worden begrepen. Daarom is het erg moeilijk het weer te voorspellen voor een bepaalde plaats en over een bepaalde periode. Het lukt zeker niet met die nauwkeurigheid die we misschien gewend zijn in de exacte wetenschappen. Het is echter mogelijk zeer goede verwachtingen te maken voor de periode van één dag vooruit (86% nauwkeurigheid) en een redelijke nauwkeurige verwachting op te stellen voor drie dagen vooruit (80% nauwkeurigheid voor de derde dag). Zulke verwachtingen zijn gebaseerd op de waarnemingen van meer dan 6000 weerstations, een wereldomspannend satellietnetwerk en de moderne technologie van krachtige computers en omvangrijke wiskundige modellen. Voor een langere termijn is het praktisch ondoenlijk een nauwkeurige verwachting op te stellen.

Satellieten spelen een belangrijke rol in de weersvoorspelling. We kunnen er grote delen van de aarde mee overzien en analyseren op wolkenvorming, fronten, temperaturen, samenstelling, en dergelijke. We kunnen de actuele ontwikkelingen zowel overdag als 's nachts volgen en zien wat er met fronten gebeurt en hoe de waterdamp in de atmosfeer is verdeeld. Satellieten geven ook nauwkeurige informatie over de hoeveelheid sporengassen zoals ozon, en over stof (aerosolen) waarvan we weten dat hun rol in de weermachinerie erg belangrijk is.

Algemene circulatie (Kaart 1/10)

Alle meteorologische verschijnselen en processen, zoals wind, wolkenvorming, temperatuursveranderingen en neerslag, worden aangedreven door zonne-energie. Zonder zonnestraling zou de aarde snel afkoelen tot de temperatuur van de ruimte en veranderen in een klomp rots en ijs.

De mate waarin zonne-energie aan het aardoppervlak wordt geabsorbeerd, hangt af van de afstand tot de evenaar. In de poolgebieden wordt de zonnestraling over een groot oppervlak uitgesmeerd omdat de zon laag aan de hemel staat. Rond de evenaar staat de zon hoog aan de hemel en daarom is de instroom van zonne-energie er veel groter dan aan de polen. De schuine stand van de aardas, die resulteert in het ontstaan van seizoenen, speelt ook een belangrijke rol.

De ongelijke energieverdeling is de motor van de weermachinerie; het drijft de algemene circulatie aan in de atmosfeer. Zonne-energie wordt uit de tropen getransporteerd naar hogere breedten. Dat gaat gepaard met windsystemen die de wereldwijde circulatie bepalen.

Bouwstenen van het weer

Het weer speelt zich af in de dunne onderste laag van de atmosfeer: de troposfeer en de lage stratosfeer. Er zijn maar een paar hoofdprocessen van belang.

1. De lucht wordt uitgewisseld voornamelijk via noord-zuid bewegingen. Dit komt omdat de lucht sneller opwarmt aan de **evenaar** vanwege de intense

zonnestraling aldaar. Overigens verwarmt de zon de lucht niet direct. Het landoppervlak wordt heet en die verwarmt vervolgens de lucht. De warme lucht stijgt op tot 15 á 20 km hoogte. Daar koelt het en vloeit het zijwaarts uit voordat het als koude luchtmassa weer naar beneden komt. De kringloop wordt gesloten door oppervlaktewinden die naar de evenaar gericht zijn. Op die manier ontstaan circulatiecellen. Kijk ook op de cd-rom en hieronder: druknivellering, passaatwinden, intertropische convergentiezône (ITCZ).

2. De **waterkringloop** zorgt achter de schermen voor verschijnselen als wolkenvorming, frontale systemen en neerslag. Waterdamp is het belangrijkste broeikasgas in de atmosfeer en een noodzakelijke voorwaarde voor leven. Voortdurend verdampen er kolossale hoeveelheden water in de tropen. Na stijging van de lucht door convectie ontstaan wolken. De luchtmassa beweegt weg van de evenaar. Als het water condenseert valt het naar het oppervlak als **neerslag**. Uiteindelijk keert het water terug naar de evenaar via de oceaanstromingen die onder andere door rivieren worden gevoed. Bij de verdamping en neerslag zijn enorme hoeveelheden energie betrokken.
3. Op continentale schaal zijn **cellen van verwarming en afkoeling** verantwoordelijk voor het ontstaan van gebieden met hoge- en lage luchtdruk. Zie ook het eilandmodel. De luchtmassa's met verschillende eigenschappen (druk, vochtigheid, temperatuur) vormen fronten en weersystemen.
4. De draaiing van de aarde en de daarmee samenhangende Corioliskrachten zorgen er voor dat de weersystemen op het noordelijk en zuidelijk halfrond anders bewegen. In ons halfrond 'beweegt het weer' van **west naar oost**.
5. De directe oorzaak van het weer ligt in **plaatselijke onbalans** in de temperatuur, de vochtigheid, en dergelijke. De processen die hieruit voortkomen vormen een complex geheel.

Het eilandmodel (Kaart 2/10)

(NB: luchtdruk op een bepaalde hoogte is het gewicht van de atmosferische luchtkolom boven dat punt.)

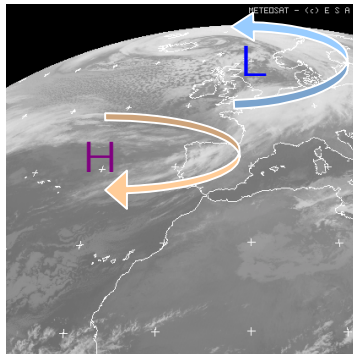
Het eilandmodel is een goed voorbeeld van hoe verticale luchtbewegingen in elkaar zitten. In de ochtend wordt de lucht boven land sneller warmer dan boven de zee. Evenzo wordt de lucht boven open land sneller warm dan boven een bos, boven een zuidhelling sneller dan een noordhelling, en boven droog land sneller dan boven een vochtige bodem.

Als de dag verstrijkt vormen zich boven het land hete cellen waarin de lucht omhoog beweegt. Lucht boven aangrenzende koelere gebieden stroomt dan toe om het evenwicht te herstellen. Als de lucht stijgt daalt de luchtdruk iets; waar de lucht daalt is de druk wat groter. Zo ontstaan plaatselijke winden boven zee en meren, die 's nachts van richting veranderen.

Luchtmassa's veranderen in termen van druk, temperatuur en vochtigheid als ze langdurig in contact staan met landmassa's of oceanen. Gevoegd bij de grote circulatiecellen is dit de oorzaak van het ontstaan van depressies die bekend zijn van de weersverwachtingen. Zij wijzen op:

1. Geografische bewegingen: hoe beweegt de lucht van een gebied met lage druk naar hoge druk en omgekeerd
2. Horizontale bewegingen: hoe groter het drukverloop langs het oppervlak, hoe sterker de wind
3. Verticale bewegingen: sterke stijgingen in lagedrukgebieden en slechts kleine bewegingen in hogedrukgebieden.

In het noordelijk halfrond zorgen de Corioliskrachten er voor dat de oppervlakte circulatie in een lagedrukgebied tegen de wijzers **van de klok** in gericht is, en in een hoge drukgebied juist met de **wijzers van de klok** meebeweegt. Op het zuidelijk halfrond geldt het omgekeerde.



Hogedrukgebieden en depressies kun je gemakkelijk herkennen. In een satellietbeeld zie je de spiraalpatronen van de wolkenbanden rond een lagedrukgebied; de beweging zie je door achtereenvolgende opnamen te vergelijken. Kloksgewijze rotatie verraadt een hogedrukgebied en de tegengestelde beweging duidt op een depressie. Het centrum van een hogedrukgebied is vaak wolkenloos.

< Meteosatbeeld met wolken en fronten, opgenomen in zichtbaar licht.

Stijging, convectie en de oorzaak van wolkenvorming (Kaart 3/10)

Waterdamp komt overal in de atmosfeer voor. Op veel plaatsen zijn er ook kleine zwevende druppeltjes en ijskristalletjes. De hoogste concentratie zit in de lage atmosfeer. Hoe warmer de lucht, hoe meer waterdamp de lucht kan bevatten. Soms condenseert waterdamp op grondniveau: mist.

Stijgende luchtmassa's koelen geleidelijk af. In de troposfeer is dat ongeveer 1 graad Celsius per 100 meter hoogte. Als de temperatuur het dauwpunt nadert, begint de damp te condenseren. Dit proces wordt versnelt door aerosolen, kleine stofdeeltjes die als groeikern voor druppeltjes fungeren.

Als de luchtstijging wordt veroorzaakt door verwarming van onderaf, spreken we van convectie. Gaat het daarbij om te verwaarlozen hoeveelheden lucht en warmte, dan spreken we wel van adiabatische stijging. Sterke convectie kan echter leiden tot onweersbuien en tornado's.

Er zijn ook andere oorzaken voor stijgende luchtbewegingen. In orografische stijging gaat het om horizontaal bewegende lucht die door een obstakel, zoals een bergrug, omhoog wordt gedreven. Soms is er een wolkenband langs de bergketen te zien waarvan de wolken allemaal op gelijke hoogte hangen. Dit soort stijging doet zich ook voor als twee verschillende luchtsoorten elkaar langs een front ontmoeten.

Een erg droge luchtmassa blijft helder ondanks dat de massa stijgt. Er zit dan te weinig waterdamp in de lucht om wolken te kunnen vormen.

Wolken en regen (Kaart 4/10)

Wolken zijn plaatselijke luchtmassa's die vol zitten met waterdruppels en ijskristallen. Als de wolken ontstaan in een naar boven gerichte stroming worden lichte deeltjes meegevoerd en vallen zware deeltjes naar beneden. Bereiken de druppels de grond, dan regent het. Maar het kan gebeuren dat de druppels verdampt zijn vóórdat ze de grond bereiken; je ziet dan strepen hangen onder een bui die de grond niet raken. Neerslag van ijskristallen kan korrels opleveren die zo groot zijn dat we spreken van hagel.

Wolken van warmtefronten en koufronten zijn niet gelijk omdat het stijgingsmechanisme van de lucht anders is. De wolken worden vaak benoemd naar de hoogte waarop ze in de atmosfeer drijven.

Kenmerkend voor een **koufront**: cumulonimbus, cumulus

Kenmerkend voor een **warmtefront**: cirrostratus, cirrus, altostratus en nimbostratus

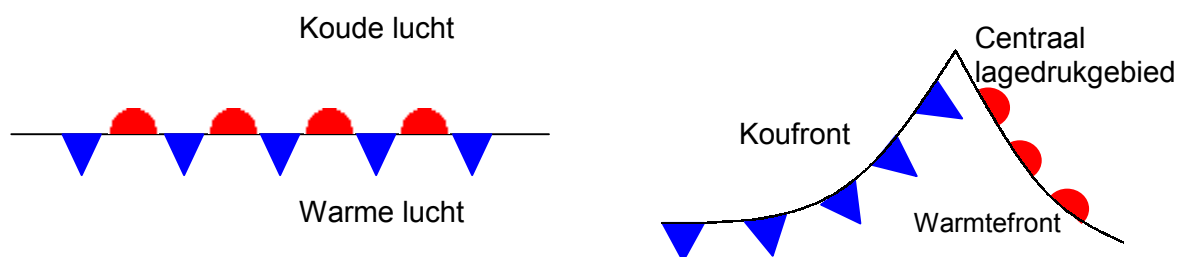
Druksystemen

Op gematigde breedten overheersen de westenwinden die opeenvolgende hoge- en lagedrukgebieden meevoeren. Daardoor ontstaat een wisselvallig klimaat. De druksystemen zijn eigenlijk enorme draaiende luchtmassa's. Een **laag** heet wel een depressie of een cyclonaal systeem. Een **hoog** heet ook wel een anticyclonaal systeem.

Leven en dood van een depressie op gematigde breedten (Kaart 5/10)

Depressies ontstaan op gematigde breedte in een gebied tussen warme (sub)tropische lucht en koude poollicht. De Europese depressies ontstaan meestal boven de Atlantische oceaan. Het polaire front is stationair en wordt gemarkeerd door een sterk temperatuursverloop van noord naar zuid.

Op het noordelijk halfrond kan de ontwikkeling zich zó afspelen:

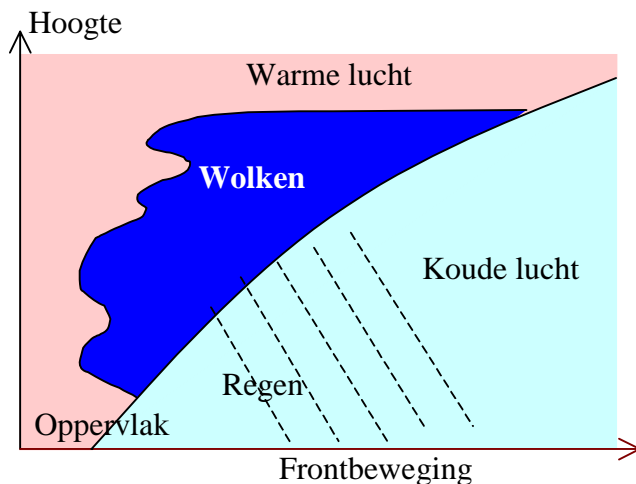


In dit voorbeeld treedt een uitbraak van koude lucht op in zuidelijke richting, terwijl warme lucht noordwaarts beweegt. Er ontstaat een golfvormige storing in het front. Dit front is lokaal instabiel en groeit snel aan in omvang en intensiteit, totdat een grootschalige depressie ontstaat, compleet met de kenmerkende frontale systemen: **warmtefront** en **koufront**.

Als een warmtefront een plaats op aarde passeert wordt de koude lucht vervangen door warme lucht; bij een koufront gebeurt het omgekeerde.

Warmtefront

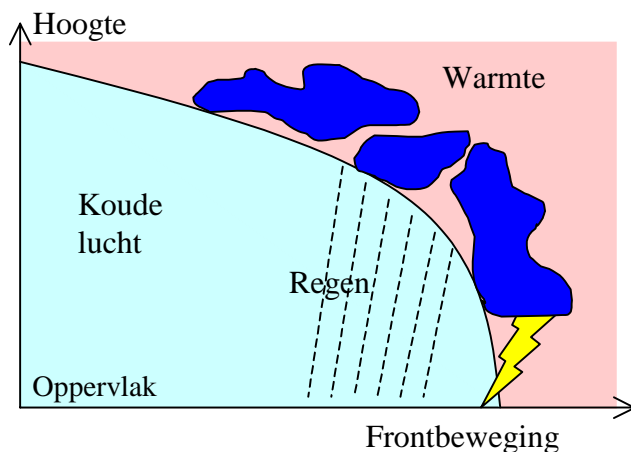
De lucht aan de warme kant van het front is minder dicht dan de koude lucht aan de andere kant. Deze warme lucht wil dus gaan opdrijven. In een doorsnede zie je dat het frontvlak gebogen is. De warme lucht stijgt op en de koude lucht schuift weg. Er ontstaat bij dit proces kenmerkende bewolking die je op een satellietbeeld kunt herkennen.



Terwijl de warme lucht opstijgt vormt zich gelaagde stratusbewolking. Hieruit valt langdurig lichte regen of sneeuw. De stratus kan bestaan uit nimbostratus, altostratus en cirrostratus.

Koufront

Een koufront markeert de overgang van warme naar koude lucht. Het effect in de opeenvolgende reeks depressies is dat na de koufrontpassage de warme lucht is verdreven door koude lucht.



De dichte koude lucht duwt de lichtere warme lucht omhoog, net als in een warmtefront. Maar koufronten bewegen sneller dan warmtefronten en dus is de helling van het frontale vlak sterker.

Lagedruksysteem in de zomer (Kaart 6/10)

Lagedruksysteem in de winter (Kaart 7/10)

Belangrijke weerpatronen (Kaart 8/10)

Het weer in Europa wordt bepaald door enkele standaardpatronen. De belangrijkste drie zijn:

- **April:** uitbraak van koude lucht. Een groot lagedrukgebied in noord-Europa, met zijn luchtcirculatie tegen de wijzers van de klok in, voert koude lucht uit de poolstreken naar het continent. Boven de Atlantische oceaan vermengt deze lucht zich met waterdamp. Dit betekent koel weer in Europa en soms veel neerslag via de spreekwoordelijke Maartse Buien.
- **Zomer:** rug van hoge luchtdruk. Twee hogedrukgebieden boven Scandinavië vloeien samen. De kloksgewijze luchtcirculatie voert droge continentale lucht aan uit het noordoosten van Europa en Rusland. Boven het continent warmt deze lucht sterk op. Warm en droog zomerweer is het gevolg.
- **Herfst:** stormdepressie. Een krachtig lagedrukgebied voert een gestage stroom van vochtige, zachte oceaanolucht naar Europa. Deze lucht is erg onstabiel en daarom is het herfstweer wisselvallig en soms stormachtig. Let op de korte afstand tussen de isobaren, de lijnen van gelijke luchtdruk. Het betekent dat er een sterk verval in luchtdruk heerst, waardoor een stevige wind ontstaat.

Meteorologische gegevens en weersverwachting (Kaart 9/10)

Al ongeveer 250 jaar worden regelmatig meteorologische waarnemingen gedaan. Op het land bestaan talrijke weerstations; op zee zijn er slechts enkele waarnemingsplaatsen terwijl toch 71% van het aardoppervlak uit oceanen bestaat. De Europese weersystemen ontstaan ver weg op de Atlantische oceaan.

Meteorologische satellieten



Op 1 april 1960 begon een nieuw tijdperk in de meteorologie. Tiros 1, de eerste weersatelliet, werd gelanceerd. De naam betekent: Televisie en Infrarood Observatie Satelliet. Voor het eerst kreeg men een compleet overzicht van het weer op onze planeet.



Europa's eerste weersatelliet werd in 1977 gelanceerd door ESA, de European Space Agency. Meteosat levert elk half uur meteorologische beelden. De Europese weersverwachting is door de komst van Meteosat sterk verbeterd. Er werden zeven Meteosats gelanceerd.

Er zijn twee soorten meteorologische satellieten:

Polaire satellieten bewegen in cirkelvormige banen om de polen van de aarde, op een hoogte tussen 800 en 1500 km. Omdat de aarde om zijn as draait, 'ziet' de satelliet na verloop van tijd elk stukje van de aarde. De herhalingsfrequentie hangt van de baanhoogte af.

Geostationaire satellieten draaien met precies de rotatietijd van de aarde zelf om onze planeet. Vanaf de aarde lijken ze stil te staan, op 36 000 km boven de evenaar.

Meteosat 'staat' op een plaats op nul graden lengte (en nul graden breedte) boven de evenaar. Dat is boven de Golf van Guinee voor de Afrikaanse kust. Vanaf dit uitzichtspunt is nagenoeg een geheel halfrond zichtbaar, met Afrika, Europa, de Atlantische oceaan en delen van de Perzische Golf.

De huidige Meteosats leveren ook informatie die van belang is voor klimaatonderzoek, maar de Meteosat Second Generation (MSG) zal die bijdrage enorm uitbreiden. MSG kan scherper kijken en maakt elk kwartier een opname. Zo komen ook kleine, snel veranderende systemen goed in beeld.

Belangrijke mogelijkheden van MSG zijn:

- Multispectraal waarnemen, iedere 15 minuten. Dat is twee keer zo vaak als nu. Plaatselijke weersystemen komen beter in beeld.
- Het scheidend vermogen verbetert van 2,5 naar 1 vierkante kilometer. Zo ontstaan scherpere beelden van wolkenformaties.
- Er worden metingen gedaan in 12 spectrale banden, in plaats van 3. Drie ervan liggen in het zichtbaar licht; de overige in het infrarood. Op die manier kunnen ook sporengassen als ozon in beeld worden gebracht. Veel van deze gassen zijn belangrijk bij de verschillende weerkringlopen.
- Snelle datatransmissie. MSG is eigenlijk een soort communicatiesatelliet. Ruwe gegevens gaan naar de aarde en worden bewerkt door Eumetsat (Europese organisatie voor de exploitatie van weersatellieten), gevestigd in Darmstadt, Duitsland. De resultaten worden weer opgestraald naar MSG die vervolgens de gegevens doorzendt naar meteodiensten in Europa en Africa. De transmissiesnelheden zijn vaak hoger dan 3 Mbps; dat is bijna 20 keer sneller dan Meteosat.

MSG werd ontwikkeld door ESA en gebouwd door Alcatel Space uit Frankrijk. Bij het project zijn in totaal 13 Europese landen betrokken.

ESA lanceerde het Meteosatprogramma in de jaren 70. Tot 1994 was ESA verantwoordelijk voor de bouw, de exploitatie en de dataverwerking. In dat jaar nam Eumetsat deze taak over. Vandaag de dag werkt ESA aan nieuwe technologie voor de volgende generatie satellieten zoals MSG. Het plan is om vier MSG satellieten te bouwen. Ze worden gelanceerd en geëxploiteerd door Eumetsat. De levensduur van een MSG satelliet is minimaal zeven jaar.

De European Space Agency (Kaart 10/10)

ESA werd in 1974 opgericht. Het is de 'motor' van de Europese aanwezigheid in de ruimte, naast Amerika en Rusland. De organisatie telt vijftien lidstaten: België, Denemarken, Duitsland, Finland, Frankrijk, Ierland, Italië, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk, Portugal, Spanje, het Verenigd Koninkrijk, Zweden en Zwitserland, en Canada, dat een samenwerkingsakkoord heeft. ESA's taken liggen op het terrein van ruimteonderzoeksprogramma's en de ontwikkeling van technologie.

Kernactiviteiten van ESA zijn:

- Ruimteonderzoek. ESA doet mee aan de exploratie van het zonnestelsel en planeten met speciale sondes, en draagt bij aan sterrenkundig onderzoek met

ruimtetelescopen die ondermeer naar het ontstaan van het heelal kijken. ESA's ruimteonderzoek is belangrijk in het kader van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek.

- Telecommunicatie en navigatie. ESA ontwikkelt de ruimtetechnologie en voert niet-commerciële missies uit waarmee de Europese industrie zijn voordeel doet om de concurrentiepositie op wereldschaal te versterken.
- Lanceersystemen. ESA werkt aan meer geavanceerde versies van de succesvolle Arianeraket, en aan een klein lanceersysteem (Vega). Het Franse bedrijf Arianespace voert de lanceringen uit op commerciële basis. Ariane heeft een wereld marktaandeel van circa 60% van niet-militaire satellieten.
- Bemande ruimtevaart. ESA ontwikkelde en bouwde belangrijke delen van het Internationale Ruimtestation. Zoals het centrale computersysteem en een robotarm. In 2004 wordt het Columbus laboratorium aan het station gekoppeld. Er kunnen tot drie astronauten gelijktijdig in werken om experimenten uit te voeren bij gewichtloze omstandigheden.
- Aardobservatie. De puur civiele missie van ESA heeft onder andere geleid tot een belangrijke voortgang in het waarnemen van het milieu vanuit de ruimte. De aardobservatiesatelliet Envisat, opvolger van de succesvolle ERS-serie, verzamelt gegevens over het atmosferische ozon, sporengassen, broeikasgassen en koolstofdioxide. Het meet de temperatuur van land en oceanen, de stand van de zeespiegel, het terugtrekken van de ijskappen en de industriële uitstoot van stikstofoxiden. De Envisat metingen strekken zich ook uit tot gegevens over bewegingen in de aardkorst, vulkaanuitbarstingen, seismologie, overstromingen, droogtegebieden en nog veel meer.

Dit educatief pakket werd ontwikkeld door de European Space Agency. ESA is een Europese organisatie met het hoofdkwartier in Parijs. Er zijn vestigingen in Noordwijk, Keulen (Duitsland), Darmstadt (Duitsland) en Frascati (Italië).

Dit pakket mag om niet worden gebruikt voor educatieve doeleinden. Er is een aparte cd-rom gratis verkrijgbaar, getiteld 'The Weather Machine' waarop meer informatie staat. De cd is verkrijgbaar in het Engels, het Frans en het Duits. Op verzoek is ook een VHS-video (PAL) te verkrijgen over de MSG missie.

Interesse? Neem contact op met:

- ESA ESOC, Jocelyne Landeau-Constantin, telephone +496151-902696
 - Kijk ook op de ESA site www.esa.int

Het lesmateriaal werd samengesteld door Ludwig Lenz, Jean Le Ber, Eva Oriol – Pibernat en Adam Majorosi en is gebaseerd op verschillende bronnen, waaronder de cd-rom 'The Weather Machine' © 1997 ESA. ESA 2002.

© ESA 2002