

Wettergeschehen und Wettervorhersage

Unterrichtsmaterial für die Unter- und Mittelstufe des Gymnasiums

Informationen für den Lehrer

Hintergrund Wetter

Wetter kann und soll als eine Erscheinung verstanden werden, die Gesetzmäßigkeiten gehorcht - wenngleich in sehr komplexer Weise. Daher ist es sehr schwierig, das Wetter über längere Zeiträume vorherzusagen und kleinräumig richtig zu prognostizieren. Mit rund 6000 Wetterstationen an Land, einem Netz weltumspannender Satelliten und mithilfe modernster Technik gelingt inzwischen eine Vorhersage zum nächsten Tag mit einer sehr hohen (86%) und auf 3-7 Tage im Voraus mit einer hohen Genauigkeit (80% für 3 Tage). Weitergehende Vorhersagen sind praktisch unmöglich.

Satelliten spielen bei der Wettervorhersage eine wichtige Rolle. Sie überblicken große Teile der Erde und liefern Daten über Wolken und Fronten, über die Temperatur am Boden, über Frontenverläufe bei Nacht und über die Wasserdampfverteilung in der Atmosphäre.

Die Allgemeine Zirkulation (Chart 1/10)

Alle meteorologischen Prozesse wie Wind, Wolkenbildung, Temperaturänderungen oder Niederschläge beziehen ihre Energie letztendlich aus der solaren Einstrahlung. Ohne die Sonne würde die Erde sehr schnell auf Weltraumtemperatur abkühlen und zu einem toten Stück Gestein und Eis im Weltall werden.

Je nach Entfernung vom Äquator gelangt unterschiedlich viel Sonnenenergie auf die Erdoberfläche. In Polnähe - weit entfernt vom Äquator - verteilt sich die einfallende Solarstrahlung auf ein viel größeres Gebiet als in Äquatornähe. Pro Flächeneinheit steht also am Äquator sehr viel mehr Energie zur Verfügung als in höheren Breiten. Auch die Erddrehung und die Jahreszeiten spielen hierbei eine Rolle.

Diese Ungleichverteilung von Energie ist der Hauptantrieb für die Zirkulationssysteme der Atmosphäre. Der Überschuss an Energie wird von den Tropen in Richtung Norden und Süden in die höheren Breiten transportiert. Meteorologen nennen die so entstandenen großen Windsysteme 'die Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre'.

Das Grundprinzip des Wetters

Wetter findet vor allem innerhalb des dünnen **Atmosphärenmantels** über der Erde statt (Troposphäre und untere Stratosphäre) und ist im Wesentlichen die Folge einiger Grundprinzipien. Hier die wichtigsten:

1. Der Luftaustausch erfolgt in etwa Nord-Süd Richtung, weil sich die Luft in **Äquatornähe** am schnellsten erwärmt (direkte Sonneneinstrahlung). Die Luft erwärmt sich allerdings nicht direkt über die Sonneneinstrahlung, sondern durch die Wärmerückstrahlung der Erde - siehe Inselmodell. Warme Luft steigt auf und zieht in Höhen von 15-20 Kilometern dorthin, wo sie als kalte Luft wieder abfällt -

in Richtung der Pole. In niedrigen Höhen kehrt sie an den Äquator zurück (siehe auch Druckausgleich / Passatwinde / ITCZ).

2. Der **Wassertransport** in der Luft ermöglicht die Bildung von Wolken, Fronten und Niederschlag. Molekulares H₂O ist das meist verbreitete Treibhausgas der Erde und die Voraussetzung für Leben auf unserem Planeten. Riesige Mengen molekularen Wassers werden in Form von Wasserdampf aus der Äquatorregion in Richtung Nord und Süd geleitet. Dort bilden sich Wolken (siehe Hebung und Konvektion), und das Wasser kehrt als Niederschlag über die Flüsse in die Meere und somit in die Äquatorgegend zurück. Verdunstung und Niederschlag verschlingen ungeheure Mengen an Energie.
3. Im kontinentalen Maßstab sind regionale / lokale **Erwärmung und Abkühlung** verantwortlich für Tiefdruckgebiete und Hochdruckgebiete (Inselmodell, Land-Seewind-System). Luftmassen mit unterschiedlicher Temperatur, Wassergehalt etc. schließen sich zu Fronten zusammen, die wir Großwetterlage nennen.
4. Die Erddrehung und die **Corioliskraft** führen dazu, dass das Wettergeschehen auf den Erdhalbkugeln unterschiedlich abläuft - auf der nördlichen Halbkugel im Prinzip von West nach Ost.
5. Wetter entsteht durch ständig **relatives Ungleichgewicht** zwischen einzelnen Regionen hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte u.a. Alle Prozesse hängen direkt oder indirekt miteinander zusammen und ergeben das System Wetter. Dies lässt erahnen, warum Vorhersage außerordentlich komplex ist.

Das Land-Seewind-System (Chart 2/10)

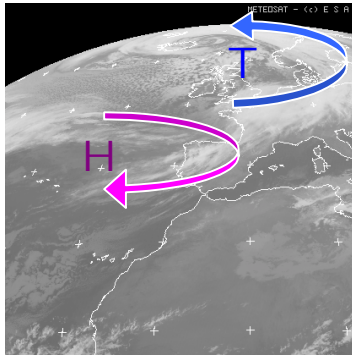
Zur Erinnerung: Der Luftdruck an einem bestimmten Punkt gibt das Gewicht der Luftsäule über diesem Punkt wieder.

Das Inselmodell steht stellvertretend für das Prinzip des vertikalen Luftaustausches. Im großen Maßstab erwärmt sich die Luft über Land schneller als über See. Im kleinen Maßstab geschieht das selbe: über Feldern schneller als über Wäldern, über Südhängen schneller als über Nordhängen, über trockenen Gebieten schneller als über Feuchtgebieten etc.

So entstehen (relativ zu Nachbarregionen) wärmere Regionen, in denen die Luft aufsteigt und andere Regionen, die relativ kühler sind - hier sinkt die Luft wieder ab. Damit wird insgesamt ein **Druckausgleich** erzielt. In den Regionen mit vertikaler Luftbewegungen (sog. Hebung) ist jedoch am Boden ein kaum spürbarer Unterdruck (wenn die Luft aufsteigt) oder Überdruck (wenn die Luft herabfällt) zu messen.

Dies sind die allseits bekannten Tiefdruckgebiete und Hochdruckgebiete. Sie kennzeichnen im Prinzip vertikale Luftbewegungen, die für die Wetterentwicklung eine wesentliche Rolle spielen. Als Folge der Corioliskraft werden aufsteigende Luftmassen in eine Spiraldrehung gegen die Uhr versetzt, während die Luft in einem Hochdruckgebiet immer in einer rechtsdrehenden Spirale zu Boden fällt (nördl. HK).

- ein Tiefdruckgebiet dreht sich auf der Nordhalbkugel immer gegen die Uhr;
- ein Hochdruckgebiet auf der Nordhalbkugel ist immer im Uhrzeigersinn in Bewegung



Die Druckgebiete sind auf einem Satellitenbild leicht zu erkennen. Gut sichtbar sind die Spiralen der Wolkenbänder. Mehrere aufeinanderfolgende Bilder zeigen die Drehbewegung und Drehrichtung der Wolken. Wenn sie sich im Uhrzeigersinn bewegen, ist in ihrer Achse der höchste Luftdruck, wenn sie sich gegen die Uhr bewegen, finden wir in ihrer Mitte den geringsten Druck, somit ein Tiefdruckgebiet.

< Meteosat-Bild mit sichtbaren Wolken und Frontverläufen

Hebung und Konvektion - wie Wolken entstehen (Chart 3/10)

Wasser ist molekular in der Atmosphäre vorhanden. Die höchste Wasserdampfdichte ist in der unteren Atmosphäre zu finden. Je wärmer die Luft, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen (siehe auch tropische, feuchte Hitze).

Wenn die Luft (z.B. in einem Tiefdruckgebiet) aufsteigt, kühlt sie ab - je 100 Meter Höhe etwa 1°C . Mit der abnehmenden Temperatur sinkt zugleich die Schwelle, bis zu welcher die Luft molekulares Wasser "tragen" kann. Wird dieser Grenzwert (Taupunkt) unterschritten, kondensiert das (gasförmige) Wasser zu (flüssigen) Tropfen. Diese Tropfenbildung wird durch Aerosole (Staubteilchen) in der Luft begünstigt. Sie wirken als Kondensationskeime.

Diesen Vorgang bezeichnen Meteorologen als Hebung. Wenn Luft aufsteigt, ohne sich nennenswert mit der benachbarten Luft zu vermischen, nennt man dies eine adiabatische Hebung. Ein weiterer, wichtiger Grund für eine Hebung ist der erzwungene Aufstieg von feuchter Luft an Gebirgen (orografische Hebung; siehe Wolkenkranz an Gebirgsketten). Hebung wird ebenfalls erzwungen, wenn Fronten aufeinandertreffen.

Wenn sich sehr trockene Luft hebt, bilden sich meist keine Wolken (weil der Taupunkt nicht unterschritten wird und die Luftfeuchtigkeit weiterhin als Wasserdampf in der Luft verbleibt). Manchmal kondensiert der Wasserdampf schon am Boden zu Tröpfchen- dann entsteht Nebel.

Wolken und Regen (Chart 4/10)

Wolken sind mehr oder weniger dichte Regionen aus Wassertröpfchen und Eiskugeln. Der dynamische Prozess der Hebung hält die Wasser- und Eispartikel zunächst beisammen, bis diese Kraft ebenfalls zu schwach wird. Dann beginnen die Eiskugeln und Wassertropfen, aus den Wolken zu fallen: es regnet. Wenn die Eiskugeln während des freien Falls zum Boden nicht auftauen, fällt Graupel oder Hagel. Wenn umgekehrt Wassertröpfchen auf diesem Weg gefrieren, fällt Schnee.

Wolken einer Warmfront und Wolken einer Kaltfront sind unterschiedlich, da sie auf verschiedene Weise entstehen. Typische Warmfrontwolken sind Cirrus, Cirrostratus, Altostratus und Nimbostratus. Kaltfronten erkennt man an Cumulonimbus- und Cumulus-Wolken.

Druckgebiete

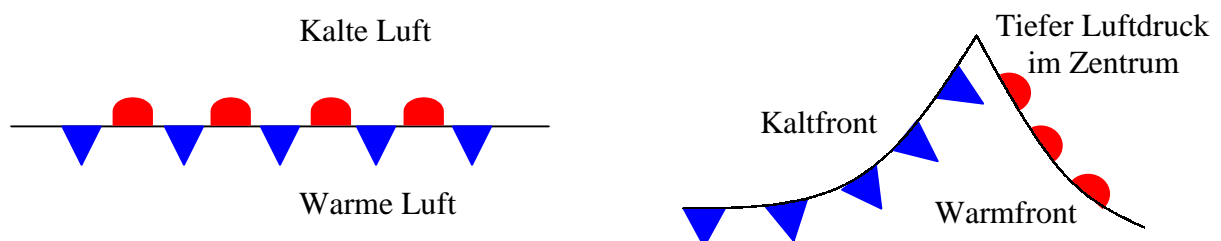
Für die allgemeine Zirkulation der mittleren Breiten sind Westwinde vorherrschend. Diese Winde transportieren die Hoch- und Tiefdrucksysteme, die für das charakteristisch wechselhafte Wetter verantwortlich sind. Bei den Hochs und Tiefs handelt es sich um große Luftwirbel; sie werden oft auch als Zyklon (Tiefdrucksystem) und Antizyklon (Hochdrucksystem) bezeichnet.

Zyklonen der mittleren Breiten: ihre Entstehung und Auflösung (Chart 5/10)

Zyklonen bilden sich gewöhnlich entlang eines starken, von Norden nach Süden verlaufenden Temperaturgradienten. Diese Zone (Polarfront) kennzeichnet den Übergang von warmer tropischer oder subtropischer Luft zu kalter Polarluft. Zyklonen, die Europa erreichen, werden meistens an der Polarfront über dem Atlantischen Ozean gebildet.

In der fast stationären Polarfront herrscht ein starkes Nord-Süd-Temperaturgefälle. In diesem Gebiet treffen zwei Luftmassen aufeinander - warme und feuchte Tropikluft im Süden, kalte und trockene Polarluft im Norden. Dieses Nebeneinander von Luft mit so unterschiedlichen Eigenschaften ist ein sehr instabiler Zustand der Atmosphäre. "Instabil" bedeutet in diesem Zusammenhang, dass eine anfangs kleine Störung in dieser Front sich schnell verstärken kann und zu einer großen Störung - einem großen Luftwirbel - führen kann.

Auf einer Wetterkarte der nördlichen Erdhalbkugel sieht das etwa so aus:



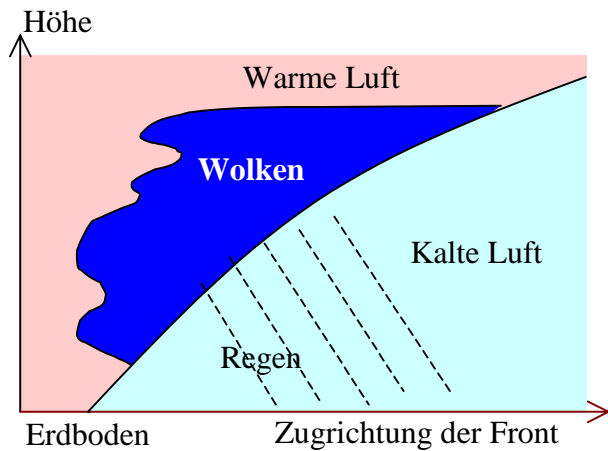
In diesem Beispiel hat sich die Kaltluft nach Süden und die Warmluft nach Norden verschoben. Eine Wellenstörung ist an der Front entstanden. Wenn diese Wellenstörung instabil wird, wächst sie und nimmt an Intensität zu. Eine Zyklone bildet sich. Die wichtigsten und wetterwirksamen Merkmale einer solchen Zyklone sind ihre Fronten: die **Warmfront** und die **Kaltfront**.

Wenn eine Warmfront durchzieht, wird die zuvor kalte Luft durch warme Luft ersetzt. Bei Durchzug einer Kaltfront wird kalte Luft herangeführt.

Die Warmfront

Da die Warmluft hinter der Front eine geringere Luftdichte hat als die Kaltluft, kann die Warmluft über die Kaltluft aufsteigen. Ein vertikaler Temperaturschnitt durch die

Front zeigt, dass die Front in der Vertikalen geneigt ist - die Warmluft gleitet langsam auf die Kaltluft auf. Bei diesem Aufgleitprozess entstehen charakteristische Wolkenformationen, so dass solche Fronten auf Satellitenbildern gut erkannt werden können.

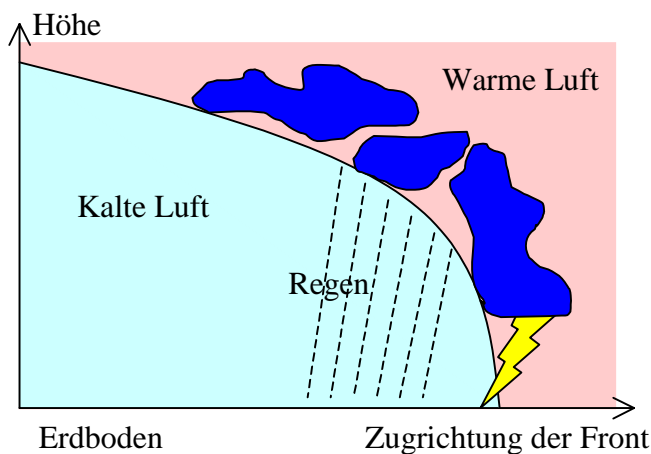


Bei diesem Aufgleiten der Warmluft entstehen Schichtwolken, die langsam immer dicker werden. Diese Wolken bringen langanhaltenden Regen oder Schnee, der meist aber nicht sehr stark ist.

Wolkenformen der Warmfront sind hauptsächlich Stratuswolken (Nimbostratus, Altostratus, Cirrostratus)

Die Kaltfront

Die Kaltfront markiert die scharfe Übergangszone zwischen warmer und kalter Luft. Die Gesamtbewegung der Zyklone und ihrer Fronten führt dazu, dass beim Durchzug der Kaltfront warme Luft durch kühlere Luft ersetzt wird.



Da die Kaltluft hinter der Front eine höhere Luftdichte hat als die Warmluft, schiebt sich die Kaltluft unter die Warmluft. Wie die Warmfront weist auch die Kaltfront eine vertikale Neigung auf. Da sich jedoch die Kaltfront innerhalb der Zyklone schneller bewegt als die Warmluft, hat die Kaltfront eine sehr viel steilere Neigung.

Tiefdrucksysteme im Sommer (Chart 6/10)

Tiefdrucksysteme im Winter (Chart 7/10)

Typische Wettersituationen (Chart 8/10)

Das Wetter in Europa lässt sich in einige Standardsituationen einteilen. Drei solcher Situationen sind:

- Kaltlufteinbruch im April: Ein ausgedehntes Tiefdruckgebiet weit im Norden Europas führt (wegen der Linksdrehung im Tief) sehr kalte Luft aus den Polargebieten nach Europa. Diese Luft lädt sich über dem Meer mit Feuchtigkeit

auf und führt auf dem Festland zu Niederschlägen mit niedrigen Temperaturen (nasskaltes Aprilwetter).

- Sommerliche Hochdruckbrücke: Zwei Hochdruckgebiete über Skandinavien verschmelzen zu einer Brücke und lenken (wegen der Rechtsdrehung des Hochs) trockene Luft aus Nordosteuropa und Russland nach Mitteleuropa. Diese trockene Luft heizt sich auf ihrem Weg auf und verschafft uns trockenes, warmes Sommerwetter.
- Herbstliches Sturmtief: Ein kräftiges Tiefdruckgebiet (siehe die Nähe der Luftdrucklinien / Isobaren) "schaufelt" milde und damit sehr feuchte Luft (siehe Taupunkt) vom Atlantischen Ozean nach Europa. Diese feucht-warmen Luftmassen sind besonders instabil und führen zu wechselhaftem, stürmischem Wetter (Novemberwetter).

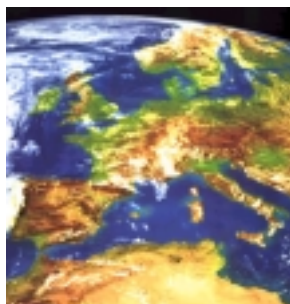
Datengewinnung und Wetterprognose (Chart 9/10)

Wetterdaten werden seit rund 250 Jahren systematisch aufgezeichnet und verglichen. Zahllose Wetterstationen am Boden (und einige auf See) lassen eine mehr oder weniger flächendeckende Beobachtung des Wetters zu. Es ist aber zu bedenken, dass sich die konventionellen Boden- und Radiosondenbeobachtungen überwiegend auf das Festland beschränken, aber rund 71 % der Erdoberfläche von Wasser bedeckt sind. Dabei bildet sich die Großwetterlage, die wir in Europa als Wetter zu spüren bekommen, zumeist über dem Atlantik heraus.

Wettersatelliten



Ein neues Kapitel meteorologischer Mess- und Beobachtungstechnik wurde am 1. April 1960 durch den Start des ersten Wettersatelliten "Tiros 1" ("Television and Infrared Observational Satellite") eingeläutet. Damit wurde erstmals eine umfassende Übersicht über das Wettergeschehen des Planeten Erde möglich.



Der erste Europäische Wettersatellit Meteosat wird 1977 von der Europäischen Weltraumorganisation ESA in die Erdumlaufbahn gebracht. Neben weiteren Aufgaben wie Nachrichten- und Datenübertragung liefert Meteosat Informationen über das aktuelle Wettergeschehen in 30minütigem Abstand. Die Bilder von bis heute insgesamt sieben Meteosat-Satelliten haben die Qualität der Wetterprognose bereits deutlich verbessert.

Grundsätzlich gibt es zwei Typen von Wettersatelliten:

Die "**polarumlaufenden**" Wettersatelliten bewegen sich auf annähernd kreisförmigen Flugbahnen in ca. 800 bis 1500 km Höhe, welche nahe an den Polen vorbeiführen. Unter dieser Bahn dreht sich die Erde um ihre eigene Achse, so dass jedes Gebiet nach einigen Tagen erneut überflogen wird.

Beim zweiten Typ handelt es sich um "**geostationäre**" Satelliten. Sie stehen ortsfest über einem Erdpunkt des Äquators in einer Flughöhe von etwa 36.000 km. Meteosat

ist ein geostationärer Satellit. Er "parkt" bei 0° Nord / 0° Ost über der Erde (über dem Äquator am Nullmeridian; etwa über dem Golf von Guinea, Afrika). Von hier aus überblickt der Satellit fast die halbe Erdscheibe, einschließlich Europa, Afrika, den Atlantischen Ozean und Teile der Golfregion.

Der jetzige Meteosat Satellit liefert bereits nützliche Daten zur Erforschung des Klimageschehens. Diese Zirkulationsmuster werden jedoch von dem neuen Europäischen MSG Satelliten noch sehr viel besser aufgenommen werden. Aufgrund der höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung seiner Bilddaten werden auch Prozesse erfasst werden können, die kleinräumig sind oder sehr schnell ablaufen.

Neuerungen von MSG:

- Eine Multispektralaufnahme alle 15 Minuten (gegenüber 30 Minuten bei Meteosat): Kleinräumige Entwicklungen werden schneller sichtbar und auswertbar
- Auflösung im sichtbaren Bereich 1x1 anstatt 2,5x2,5 Kilometer: Wolkenformationen schon ab einer Ausdehnung von 1 qkm werden sichtbar.
- 12 Spektralkanäle (anstatt 3 bei Meteosat): Das sichtbare Lichtspektrum wird in drei Bereiche unterteilt, und getrennt abgebildet. Im Infrarotbereich werden neun unterschiedliche Spektren wiedergegeben. Damit ist es möglich, Spurengase (z.B. Ozon) in der Atmosphäre zu registrieren. Diese haben auf die Wetterentwicklung großen Einfluß (Wechselwirkungen). Die Aufteilung der Bilder in zwölf Spektren erlaubt Einsichten in Wetterprozesse, die man im sichtbaren Licht nicht erkennen würde.
- Hohe Datenrate: MSG ist gleichzeitig ein Telekommunikationssatellit in eigener Sache. Er sendet die aufgezeichneten Rohdaten zur Erde, wo sie von Eumetsat (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) mit Daten aus anderen Quellen (Bodenstationen, andere Satelliten) ergänzt werden. Diese Gebrauchsdaten für Meteorologen werden erneut zu MSG gefunkt, von wo sie zu den Empfängern in Europa und Afrika (Meteorologen, Wetterämter etc.) weitergesandt werden. Mit einer Übertragungsrate von mehr als 3 Mbps ist MSG fast 20 mal schneller als sein Vorgänger Meteosat.

MSG wurde von der Europäischen Weltraumorganisation ESA konzipiert und von Alcatel Space (FR) unter Einbeziehung von 13 Europäischen Staaten gebaut.

Die Europäische Weltraumorganisation hat in den Siebziger Jahren das Meteosat-Programm ins Leben gerufen. Bis 1994 lagen sowohl Bau, Betrieb als auch die Datenverarbeitung in der Hand der ESA. Danach übernahm dies Eumetsat. Heute entwickelt die ESA die neuen Technologien für neue Satelliten - auch für MSG. Insgesamt sollen 3-4 MSG Satelliten gebaut und von Eumetsat betrieben werden. Jeder MSG-Satellit hat eine Lebenszeit von mindestens sieben Jahren.

Die Europäische Weltraumorganisation ESA (Chart 10/10)

Die im Jahre 1975 gegründete ESA hat Europa ins Raumfahrtzeitalter geführt und fest neben Russland und den USA im Weltraum etabliert. Im Auftrag ihrer heute 15 Mitgliedsländer (Deutschland, Österreich, Belgien, Dänemark, Spanien, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Norwegen, Niederlande, Portugal, Großbritannien, Schweden, Schweiz) ist die ESA verantwortlich für Raumfahrtprogramme und Technologieentwicklung.

Die wichtigsten Tätigkeitsfelder der ESA sind:

- Weltraumwissenschaften: Mit planetaren und interplanetaren Missionen, Raumsonden und Weltraumteleskopen beobachten Forscher die Phänomene aus den Frühtagen des Universums. Die ESA-Missionen bilden einen wichtigen Teil der Grundlagenforschung in den modernen Naturwissenschaften.
- Telekommunikation und Navigation: Technologieentwicklung und Umsetzung von Weltraumvorhaben (bis zur Schwelle der Kommerzialisierung) ermöglichen es der Europäischen Industrie, im globalen Wettbewerb an vorderster Stelle zu sein.
- Trägerraketen: Das Ariane-Programm wird weiterentwickelt, kleinere Raketen (Vega) werden erforscht. Kommerzielle Raumflüge werden von Arianespace (FR) durchgeführt. Ariane-Raketen bringen fast 60% aller zivilen Satelliten ins All.
- Erdbeobachtung: Die rein zivile Natur von ESA-Missionen verschafft den Europäern einen großen Vorsprung im wissenschaftlichen Umweltmonitoring. Der neue Umweltsatellit Envisat mißt Ozonwerte, Spurengase, Treibhausgase und CO₂-Gehalt der Atmosphäre, die Temperatur von Land und Wasserflächen, die Höhe des Meeresspiegels, die Verringerung des Eisschildes im Polarmeer und den Ausstoß von Stickoxiden durch die Industrie. Er liefert weltweit und lückenlos riesige Mengen wissenschaftlicher Daten, etwa zur Erdkrustenverschiebung, zu Vulkanausbrüchen, Erdbeben, Überschwemmungen, Dürreausbreitung etc.
- Bemannte Raumfahrt: Die ESA hat wesentliche Komponenten der Internationalen Raumstation entwickelt und gebaut, etwa den Steuerungscomputer, einen eigenen Roboterarm etc. Im Jahre 2004 wird das Europäische Columbus-Labor andocken, in dem bis zu drei Wissenschaftler Versuche in der Schwerelosigkeit durchführen können. Das "Automated Transport Vehicle" ATV ist in Planung.

Dieses Unterrichtsmaterial wurde entwickelt von der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Die ESA ist eine Non-Profit Organisation mit Hauptsitz in Paris (FR) und Niederlassungen in Noordwijk (NL), Köln, Darmstadt (DE) und Frascati (IT).

Die Benutzung des Materials im Unterricht ist frei. Ergänzend ist die CD-ROM "The Weather Machine" erhältlich, die tiefer ins Thema einführt und Details genauer erläutert. Sie ist dreisprachig EN-FR-DE und kostenlos erhältlich. Eine Videokassette VHS-PAL über die MSG Mission ist ebenfalls erhältlich.

Bitte wenden Sie sich bei Interesse an:

- ESA ESOC, Jocelyne Landeau-Constantin, Telefon +496151-902696
 - oder besuchen Sie die ESA im Internet unter www.esa.int

Das Unterrichtsmaterial wurde erstellt unter Mitarbeit von Ludwig Lenz, Jean Le Ber, Eva Oriol-Pibernat und Adam Majorosi; unter Verwendung von Texten und Bildern aus verschiedenen Quellen, u.a. aus der CD-ROM "The Weather Machine" © 1997
Verantwortlich für den Inhalt: ESA 2002