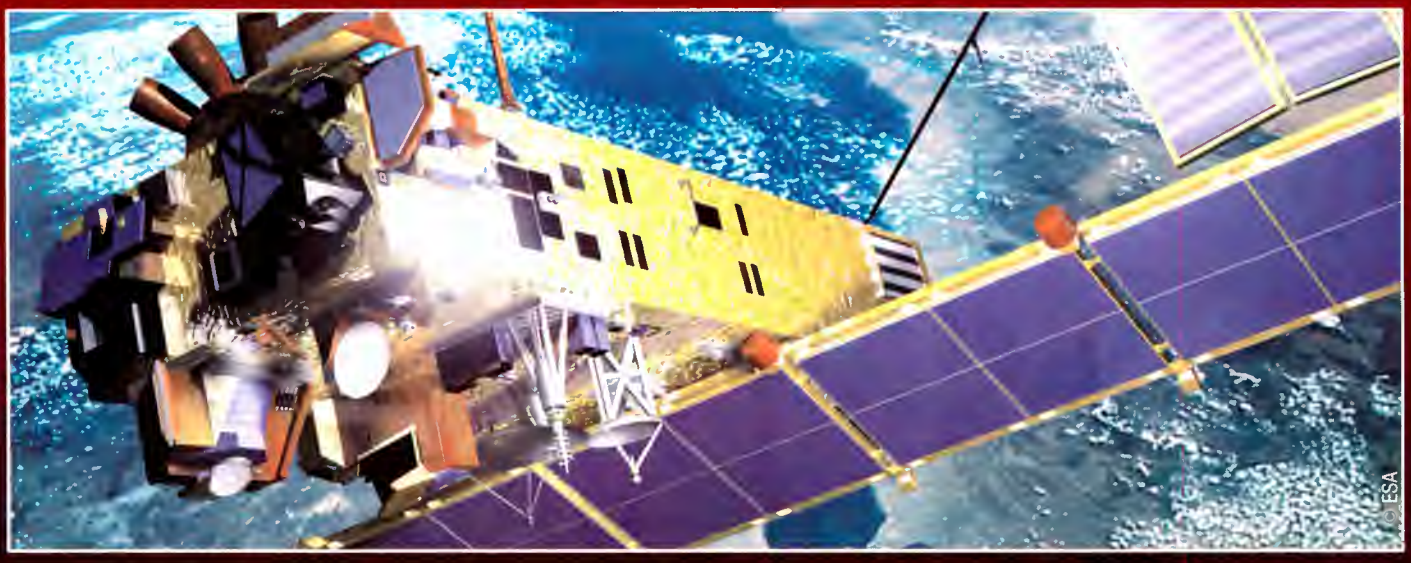
DLR

esa

GEN178

→ *Erdbeobachtung und Fernerkundung*



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.

European Space Agency
Europäische Weltraumorganisation

Thema Nr. 1 **Erdbeobachtung**

Thema Nr. 2 **Eine Frage der Technik**

Thema Nr. 3 **Das Wetter**

Thema Nr. 4 **Das Klima**

Thema Nr. 5 **Wasser-Management**

Thema Nr. 6 **Lebensmittel-Management**

Thema Nr. 7 **Das Ökosystem Weltmeere**

Thema Nr. 8 **Katastrophen-Prävention und -Management**

DLR

esa

1 – Erdbeobachtung

Hunderte Satelliten umkreisen die Erde, ohne dass wir sie bemerken. Sie würden uns erst auffallen, wenn sie nicht mehr funktionierten – und damit bei uns auf der Erde auch Navigationsgeräte, Mobiltelefone und die allabendliche Wettervorhersage im Fernsehen ausfielen. Satellitentechnik ist die Grundlage für eine große Zahl von Diensten, die uns das Leben angenehmer machen.

Für sehr viele Menschen sind Satelliten und die von ihnen gelieferten Daten kein Luxus, sondern eine lebenswichtige Notwendigkeit. Thema Wetter: Wir fragen uns da vielleicht nur, ob wir am nächsten Tag T-Shirt oder Pulli tragen sollten. Für einen Fischer auf hoher See oder für Piloten im Flugzeug-Cockpit ist die präzise Wetterprognose aber von ganz entscheidender Bedeutung.

Satelliten mit Überblick und Durchblick

„Mit Abstand betrachtet wird vieles klarer", so sagt man. Genau dieser Ansatz ist das Arbeitsprinzip der Erdbeobachtung durch Satelliten. In vielen Bereichen behalten sie von hoch oben den Überblick, oft sogar den Durchblick. Beispielsweise wenn sie dank Radar auch eine dichte Wolkendecke „durchschauen" können und damit wetterunabhängig sind.

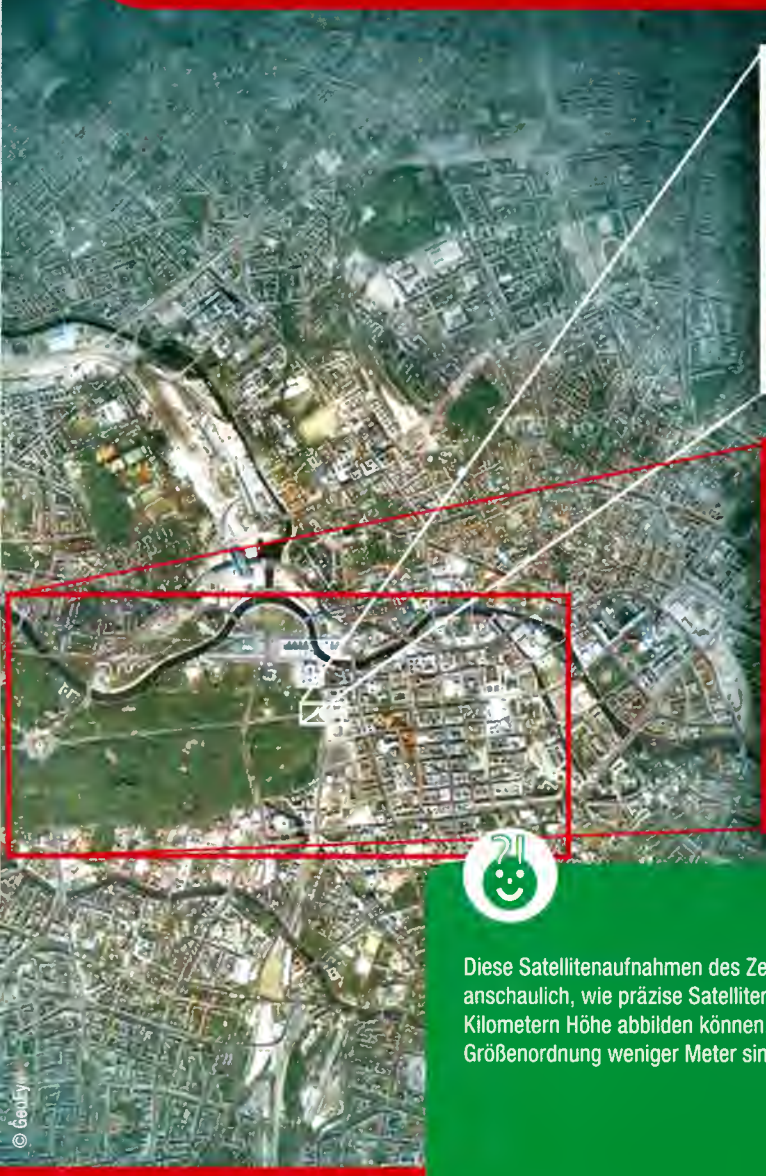
In Kombination mit Daten, die unmittelbar auf der Erde gewonnen werden (zum Beispiel von Wetterstationen), helfen sie uns, das komplexe System Erde besser zu verstehen: Umweltbeobachtung, Geologie, Kartierung und Katastrophenschutz sind bedeutende Anwendungsgebiete. Die Bezeichnung Satellit könnte also kaum passender gewählt sein – sie entstammt dem Lateinischen: *Begleiter,* aber auch *Leibwächter.*

Der europäische Erdbeobachtungssatellit ENVISAT

© ESA

Dieses Bild von Europa wurde vom europäischen Satelliten ENVISAT aufgenommen. Es ist das Resultat einer Kombination vieler Einzelbilder sowie unterschiedlicher Abbildungsverfahren. Nur so können zugleich die Höhenzüge der Gebirge als auch die Chlorophyll-Konzentration der Vegetation dargestellt werden – und das ganz ohne störende Wolken.

0 200 400 km



Diese Satellitenaufnahmen des Zentrums von Berlin zeigen anschaulich, wie präzise Satelliten die Erde aus Hunderten Kilometern Höhe abbilden können. Selbst Details in der Größenordnung weniger Meter sind erkennbar.

© Geoky

Sie sehen was, was wir nicht sehen ... können

Klimaforschung

Das Thema Klimawandel wird für die Menschheit von immer größerer Bedeutung. Um die langfristigen Trends und Tendenzen feststellen zu können, ist die kontinuierliche und verlässliche Messung von Temperaturen sehr wichtig. Mit Hilfe von Satelliten können Oberflächentemperaturen auch in solchen Regionen gemessen werden, die für Menschen – und damit für die „konventionelle" Temperaturmessung – unzugänglich sind: beispielsweise auf hoher See, in Wüsten oder Urwaldregionen. Seit 1991 werden klimatische Veränderungen durch Satelliten flächendeckend aufgezeichnet. Die gesammelten Daten fließen in Klimadatenbanken ein, mit denen sich das Ausmaß des Klimawandels untersuchen und eine Prognose für die Zukunft erstellen lässt.

Das arktische Eis nahe der Baffin-Insel zwischen Kanada und Grönland

Algenwachstum vor der Küste Norwegens

Umweltbeobachtung

Einer der wichtigsten Gründe für den globalen Klimawandel ist die hohe Emission von Schadstoffen, die bisher vor allem von den traditionellen Industrienationen verursacht wurde. Seit wenigen Jahren treten zusätzlich noch die Schwellenländer Asiens und Lateinamerikas auf den Plan, die in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung rapide aufholen. Damit steigt die ohnehin schon hohe Belastung der Atmosphäre durch CO_2 noch weiter an. Satelliten können solche Umwelteinflüsse – und ihre Konsequenzen – beobachten, z. B. die Erwärmung der Meere und das dadurch begünstigte Algenwachstum. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für gezielte Gegenmaßnahmen.

Alle Abbildungen: © ESA

Waldbrände in Kalifornien

Katastrophen-Prävention und -Management

Naturkatastrophen lassen sich oft nicht voraussehen. Wenn sie eingetreten sind, können Satelliten allerdings die Hilfs- und Rettungsmaßnahmen wirkungsvoll unterstützen: Bei Waldbränden zeigen sie die Brandherde auf einen Blick. Auch im Falle von Überschwemmungen geben Satellitenbilder schnell Auskunft über die betroffenen Gebiete. Bei großen Erdbeben wie beispielsweise 2010 in Haiti zeigen Karten, die auf Satellitenbildern basieren, die besten Standorte zur Errichtung von Hilfsunterkünften oder Rettungskliniken.

Auch lange bevor es – im wörtlichen oder übertragenen Sinne – „brennt" oder das Land unter Wasser steht, hilft Erdbeobachtung, Menschenleben zu retten. Diese Vorbeugungsmaßnahmen nennt man „Prävention". Dank der satellitengestützten Analyse lassen sich beispielsweise Schutzdämme oder Deiche planen, um die nächste Überschwemmung zu verhindern.

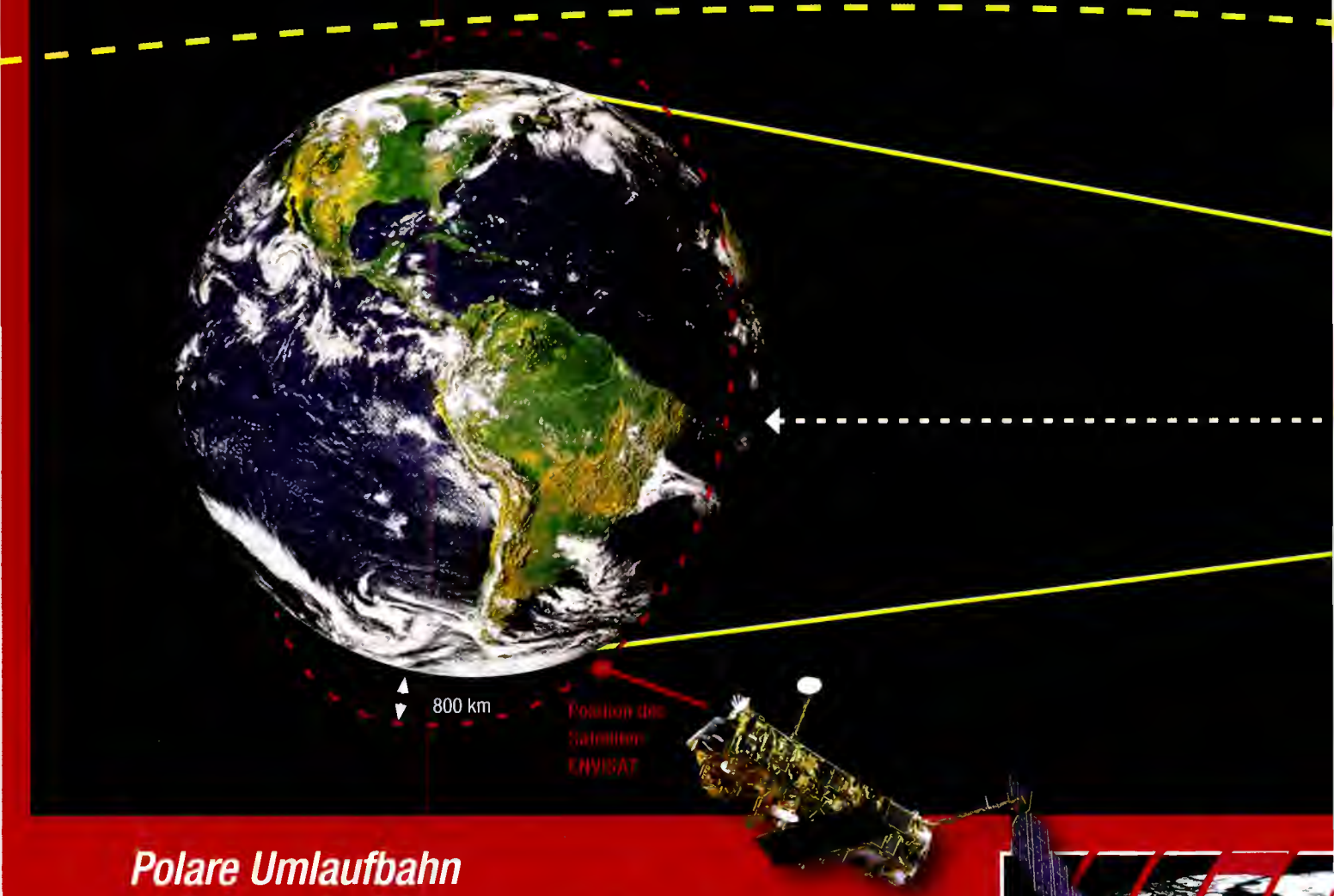
Ackerbau in Spanien

Landwirtschaft

Die Erdbevölkerung wächst. Um für alle Menschen ausreichend Lebensmittel bereitstellen zu können, muss die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen optimiert werden. Von Satelliten ermittelte Daten zu Bodenbeschaffenheit und Fruchtbarkeit fließen in die Erstellung sogenannter „Erntekalender" ein, mit denen Landwirte die Aussaat und Ernte planen. Mit Hilfe von Satelliten werden diese Kalender immer weiter präzisiert – oftmals werden dadurch Mehrfach-Ernten ermöglicht.

2 – Eine Frage der Technik

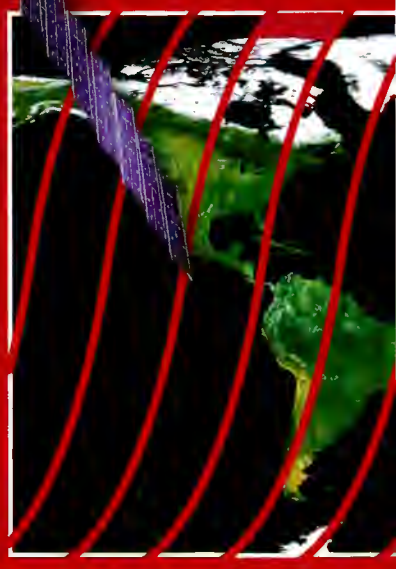
Was sehen die über 800 Satelliten, die die Erde umkreisen – und vor allem: Wie sehen sie? Bei der großen Anzahl künstlicher Erdtrabanten ist klar, dass Satellit nicht gleich Satellit ist. Kommunikations-, Navigations-, Umwelt-, Militär- oder Wettersatelliten erfüllen unterschiedliche Aufgaben, sind dementsprechend unterschiedlich ausgestattet und unterschiedlich positioniert. Die Umlaufbahn von Satelliten und damit verbunden auch Flughöhe und Geschwindigkeit sind wichtige Unterscheidungsmerkmale – und eben auch ihre Ausstattung mit verschiedensten Instrumenten je nach Anwendung und Aufgabe.



Polare Umlaufbahn

Auf einer polaren Umlaufbahn umkreisen Satelliten die Erde in einer Höhe von ca. 800 Kilometern. ENVISAT beispielsweise absolviert täglich 14,4 solcher Runden. Bei jedem Überflug „betrachtet" er dabei ein anderes Gebiet. Aus der Zusammensetzung der einzelnen Bildstreifen ergibt sich so nach und nach ein Bild der gesamten Erdoberfläche.

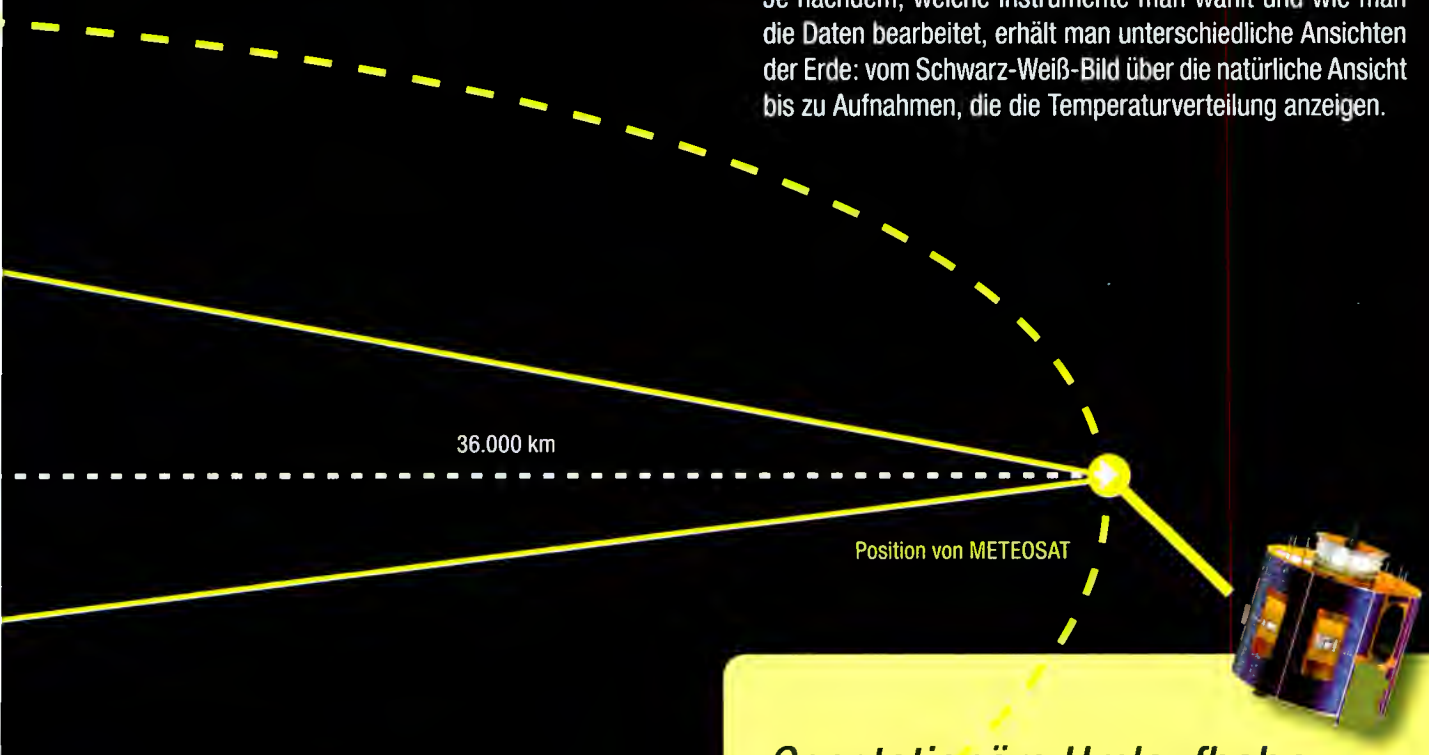
Je nachdem, mit welchen Instrumenten „polare" Satelliten bestückt sind, können sie im doppelten Sinn zu „Allroundern" werden: Sie erfassen jedes Gebiet der Erde im Überflug und eignen sich deshalb dafür, Veränderungen auf der Erde auch langfristig zu beobachten. Die Bilder, die sie produzieren, sind meist sehr hochauflösend. So lassen sich die Veränderungen – etwa durch Umwelteinflüsse – genau und dauerhaft verfolgen.



Auf dieser Weltkarte sind die einzelnen Orbits eines Tags des Satelliten ENVISAT rot markiert. Da sich die Erde unter dem Satelliten weiterdreht, erfasst er so im Laufe der Zeit die gesamte Oberfläche.

© 2004 EUMETSAT

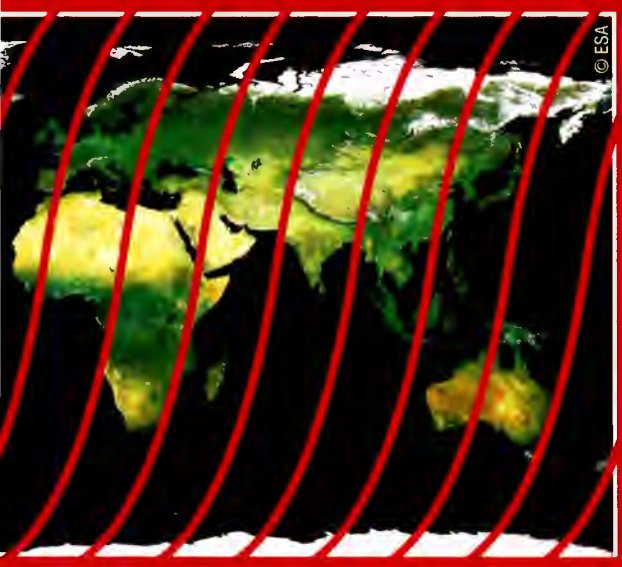
Je nachdem, welche Instrumente man wählt und wie man die Daten bearbeitet, erhält man unterschiedliche Ansichten der Erde: vom Schwarz-Weiß-Bild über die natürliche Ansicht bis zu Aufnahmen, die die Temperaturverteilung anzeigen.



Geostationäre Umlaufbahn

Die Umlaufbahn geostationärer Satelliten ist wie der Name schon sagt „stationär", also im Verhältnis zur Erdoberfläche fixiert. Geostationäre Satelliten „stehen" in ca. 36.000 Kilometer Höhe über dem Äquator, denn sie umkreisen die Erde mit derselben Geschwindigkeit, mit der unser Planet rotiert.

Die geostationäre Position – bei der ein Satellit immer dieselbe Region zeigt – ist vor allem für die Beobachtung von meteorologischen Phänomenen (Wolkenbildung, Wolkenbewegung etc.) wichtig. Denn ein europäischer Wettersatellit soll ja schließlich immer das Wetter über unserem Kontinent zeigen – und nicht plötzlich das Wetter über Australien. So sind die Bilder der täglichen Wettervorhersage von geostationären Satelliten aufgenommen (aktuell METEOSAT 9). Auch für die Übertragung von Fernsehsignalen werden übrigens geostationäre Satelliten genutzt. Denn da der Satellit – von der Erde aus gesehen – immer am selben Punkt am Himmel zu stehen scheint, muss man eine Parabolantenne nur einmal auf ihn ausrichten – und eben nicht immer nachführen.



© ESA

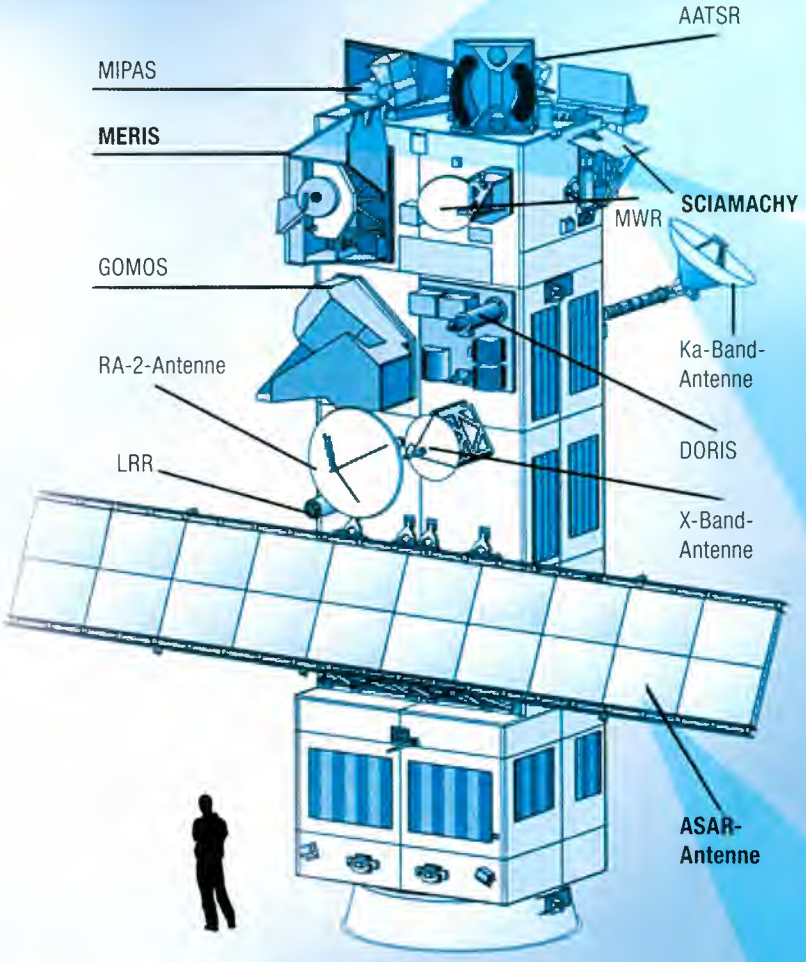
Was „sehen“ Satelliten?

Was ein Satellit „sieht“, hängt davon ab, mit welchen „Augen“ – sprich Aufnahmegeräten – er die Erde „betrachtet“. Ähnlich dem Tierreich, wo Schlangen die Wärme wahrnehmen, Fledermäuse Signale aussenden und anhand des Echos ihre Beute finden oder Insekten ganz andere Farben sehen als wir Menschen, können auch Satelliten die Umwelt ganz verschieden untersuchen – je nach Aufgabe. Anhand des europäischen Satelliten ENVISAT, der besonders vielfältig ausgestattet ist, können die wichtigsten „bildgebenden“ Verfahren beschrieben werden.

Multitalent ENVISAT

ENVISAT (**Envi**ronmental **Sat**ellite), der Umweltsatellit der Europäischen Weltraumorganisation ESA (**E**uropean **S**pace **A**gency), ist ein echter „Multifunktionssatellit“: Während viele Satelliten lediglich ein oder zwei Sensoren tragen und somit hoch spezialisiert sind, deckt ENVISAT mit insgesamt zehn wissenschaftlichen Sensoren ein enormes Spektrum an Beobachtungsmöglichkeiten ab: Er kann die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre ebenso analysieren wie die Temperatur der Ozeane, Wellenhöhen und -richtungen, Windgeschwindigkeiten, Wachstumsphasen von Pflanzen, kann Waldbrände detektieren und Umweltverschmutzung aufspüren.

Hinter seinen Sensoren mit Namen wie MERIS, ASAR oder SCIAMACHY verbergen sich Radargeräte, Spektrometer und Infrarotkameras. Einige Funktionen sind doppelt angelegt – einerseits als Backup, andererseits aber auch um sich gegenseitig zu „kontrollieren“. Die Daten, die ENVISAT sammelt, überträgt er an eine Bodenstation, wo sie analysiert, verarbeitet und dann an Nutzer in aller Welt verteilt werden. Erst durch diese Auswertung können viele der beobachteten Phänomene korrekt interpretiert werden.



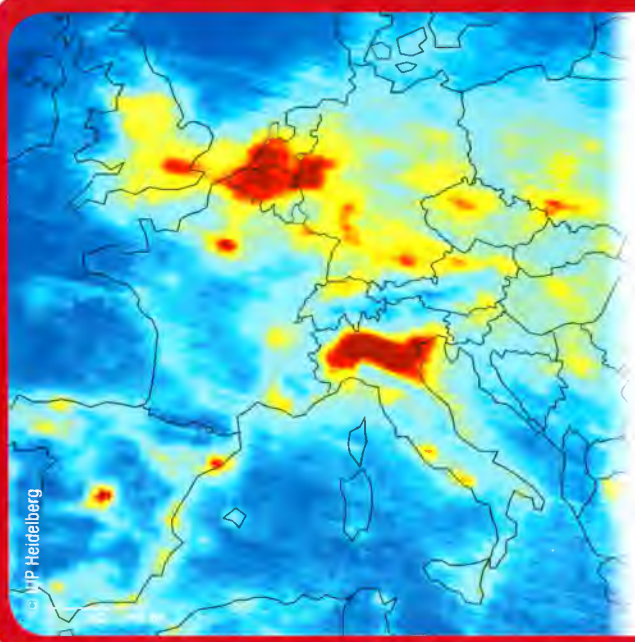
Technische Daten ENVISAT:

- Gesamtgewicht 8.211 kg, davon 2.050 kg Messinstrumente und 300 kg Treibstoff für Bahnkorrekturen
- Abmessungen ohne Sonnenkollektor 10 m x 4 m x 4 m
- Polare Umlaufbahn in 790 km Höhe
- 10 Sensoren
- Wiederholrate 35 Tage

ENVISAT sammelt und überträgt bis zu 280 Gigabyte Daten pro Tag. Das Datenvolumen entspricht etwa 70.000 Mp3-Dateien.

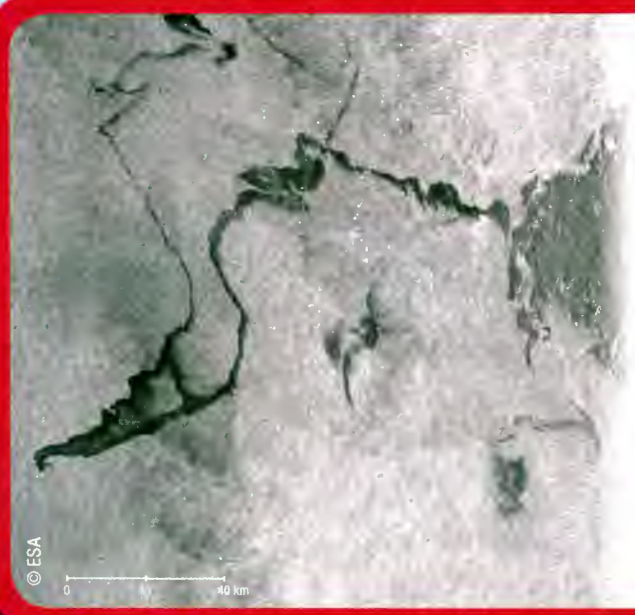
MERIS (**ME**dium **R**esolution **I**maging **S**pectrometer) und AATSR (**A**dvanced **A**long-**T**rack **S**canning **R**adiometer) nehmen die Erde in unterschiedlichen Bereichen des elektromagnetischen Wellenspektrums auf: Mit MERIS werden im Spektralbereich des **sichtbaren Lichts** „konventionelle" Tagesaufnahmen erzeugt. Zudem nimmt MERIS Bilder im **nahen Infrarotbereich** auf, die die Wasser- und Chlorophyll-Konzentration an der Erdoberfläche wiedergeben. Sie erlauben Rückschlüsse auf den jeweiligen Zustand der Vegetation an Land oder im Meer. AATSR arbeitet im **thermalen Infrarotbereich** und errechnet aus der Reflexion bzw. aus der Emission von Wärmestrahlung die Temperatur der Meeresoberfläche auf 0,3 Grad Celsius genau.

Die Algenblüte vor der Ostküste Schottlands (07.05.2008)



SCIAMACHY (**SC**anning **I**maging **A**bsorption Spectro**M**eter for **A**tmospheric **CH**artograph**Y**) ist ein Instrument zur Messung von Gasspuren, Wolken und Staubpartikeln in der Erdatmosphäre. SCIAMACHY misst zugleich in zwei bis zu 960 Kilometer breiten Streifen – zum einen direkt unter ENVISAT, zum anderen tangential in Richtung des Horizonts. Die Kombination der zwei Beobachtungsarten ermöglicht es, ein dreidimensionales Bild der Atmosphäre zu erstellen. Dabei registriert SCIAMACHY in Höhenschichten von bis zu 100 Kilometern die Zusammensetzung der Atmosphäre und bildet diese ab.

Diese Aufnahme zeigt die NO_2-Konzentration in der Atmosphäre über Europa (2003/2004).

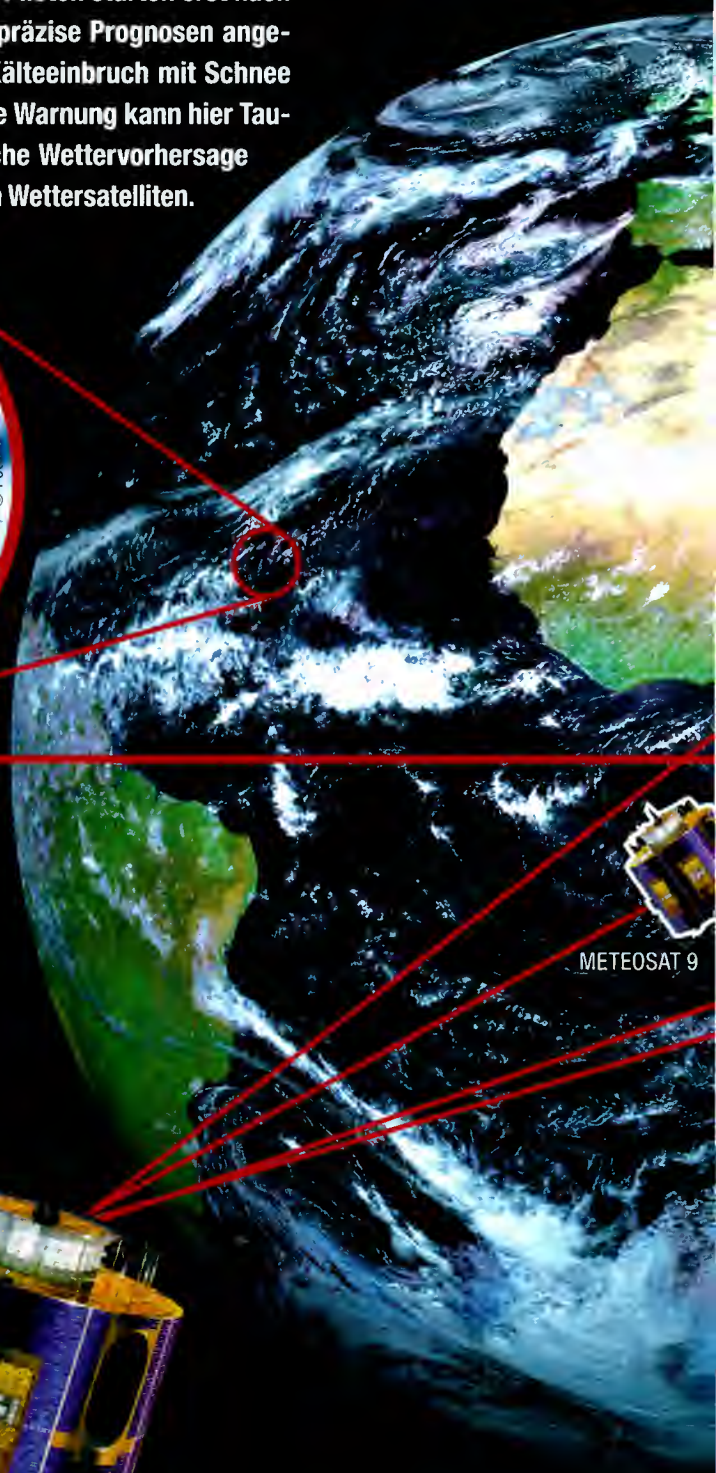


ASAR (**A**dvanced **S**ynthetic **A**perture **R**adar) arbeit auf Basis von Radar und kann deshalb auch nachts oder bei dichter Wolkendecke verwendet werden. Das ist wichtig, wenn man Gebiete untersuchen will, die wie der Regenwald meist bewölkt sind oder wie die Polkappen oft im Dunkeln liegen. Das Radar sendet Impulse aus und erfasst deren Echo. Diese Signale werden je nach Beschaffenheit der Oberfläche unterschiedlich stark reflektiert: Eine unruhige Wasserfläche mit Wellen beispielsweise unterscheidet sich deutlich von einem glatten Ölfilm, der das Meer verschmutzt. Radar-Instrumente wie ASAR dienen daher zum Aufspüren von Umweltverschmutzungen, aber auch zur Kartierung.

Diese Aufnahme zeigt die durch den Tanker Prestige verursachte Ölpest vor der spanischen Küste (17.11.2002).

3 – Das Wetter

Freibad oder Kino? Rausgehen oder im Zimmer bleiben? Mal eben den Wetterbericht hören oder online anklicken und wir wissen, ob in den nächsten Tagen die Sonne scheint oder ob es regnet. Doch Wettervorhersagen haben noch eine weitaus größere Bedeutung, als uns in unserer Freizeitplanung zu unterstützen. Die Schifffahrt kommt ohne genaue Vorhersage des Seewetters nicht aus, Piloten starten erst nach Prüfung des Wetterberichts und auch Landwirte sind auf präzise Prognosen angewiesen. Dazu kommt die Warnung vor Unwettern – vom Kälteeinbruch mit Schnee und Glatteis bis zu schweren Wirbelstürmen. Die frühzeitige Warnung kann hier Tausende von Menschenleben retten. Grundlage für die tägliche Wettervorhersage und all diese wichtigen Informationen ist ein dichtes Netz von Wettersatelliten.

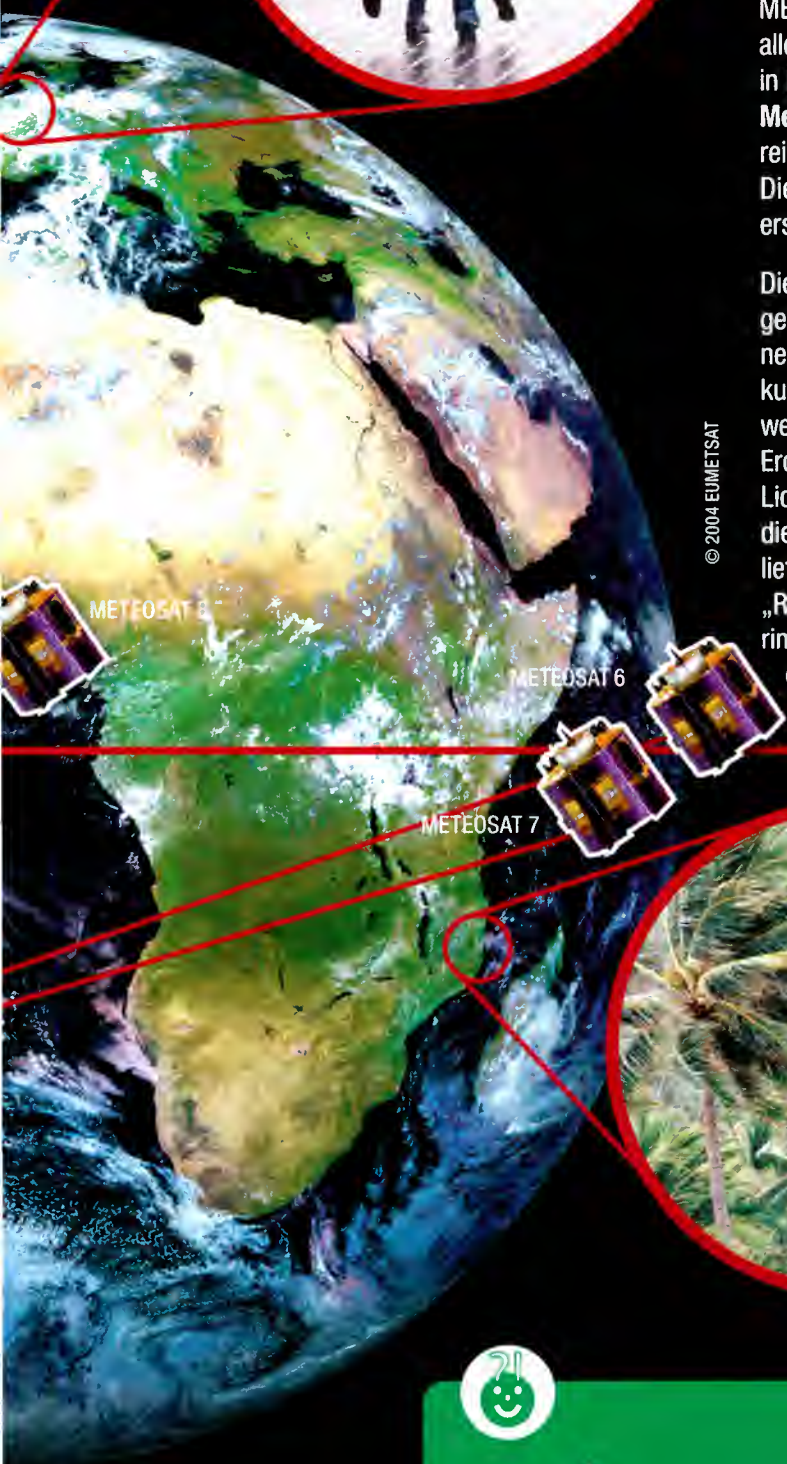


1977 wurde der erste METEOSAT auf seine geostationäre Umlaufbahn gebracht. Wie auch seine Nachfolger beobachtete er vor allem die Wolkenbewegung und maß Oberflächentemperaturen der Erde.

METEOSAT – der europäische „Wetterfrosch“

Der berühmte Wetterfrosch, der in einem Einmachglas auf seiner Leiter hoch- oder runterklettert und damit auf das kommende Wetter schließen lässt, hat ausgedient. Seine Nachfolger liefern deutlich zuverlässigere Ergebnisse, „klettern“ dafür aber auch viel höher. 36.000 Kilometer über der Erdoberfläche stehen die beiden geostationären Satelliten METEOSAT 8 und 9 (**Meteo**rological **Sat**ellite) und senden alle 15 Minuten ein aktuelles Bild an die EUMETSAT-Zentrale in Darmstadt (**Eu**ropean Organisation for the Exploitation of **Met**eorological **Sat**ellites). METEOSAT 8 und 9 gehören bereits der „zweiten Generation“ von METEOSAT-Satelliten an. Die von ihnen übertragene Datenmenge übertrifft die der ersten Generation um etwa das Zwanzigfache.

Die „Dopplung“ mit zwei Satelliten macht das System insgesamt sicherer: Die Daten von METEOSAT 8 und 9 können miteinander abgeglichen werden. Außerdem kann der kurzfristige Ausfall eines der beiden Satelliten kompensiert werden. Die Sensoren der beiden METEOSATs beobachten die Erde in zwölf Spektralbereichen, von denen vier das sichtbare Lichtspektrum abdecken. Um auch über Wetterphänomene, die sich besonders schnell entwickeln, verlässliche Daten liefern zu können, ist METEOSAT 8 darüber hinaus mit einem „Rapid Scan Service“ ausgestattet. Der weist zwar eine geringere Bildqualität auf, sendet dafür jedoch alle fünf Minuten ein aktuelles Bild zur Erde.

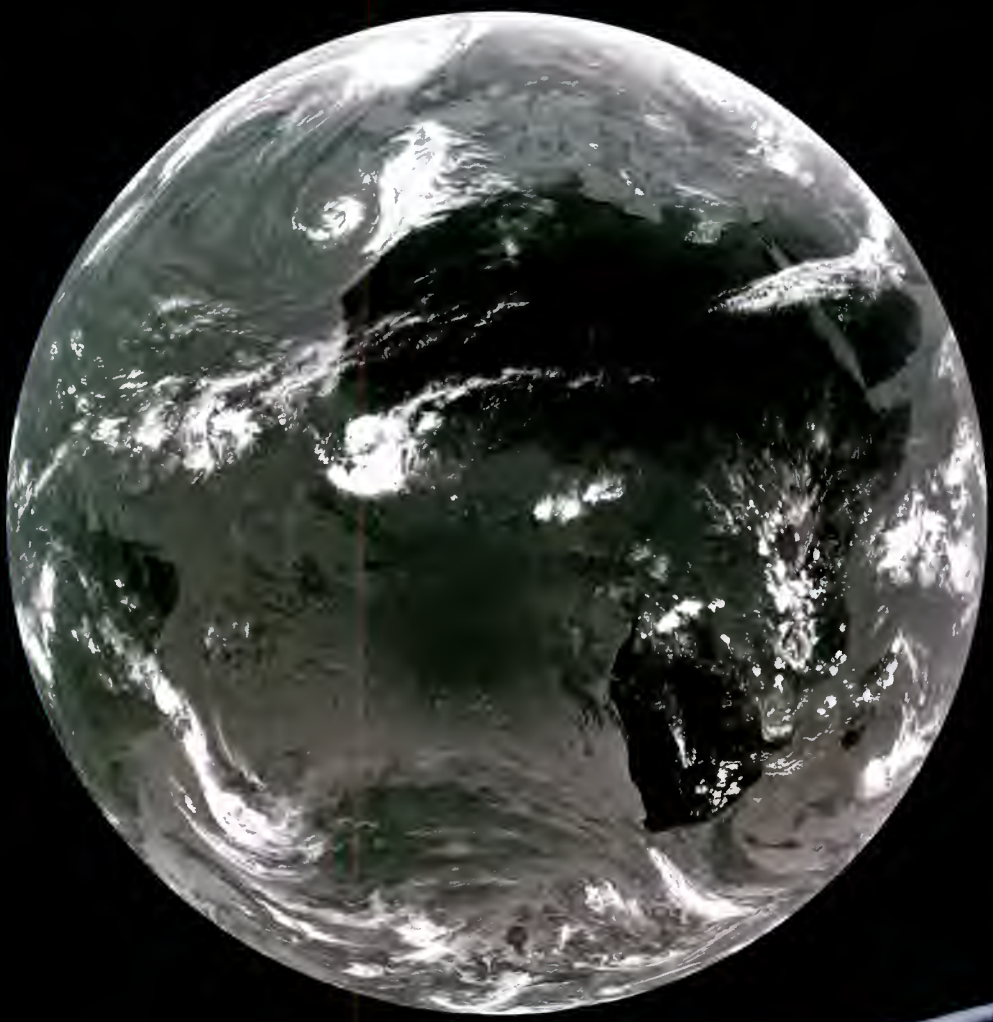


Die verschiedenen Wetterdienste in Europa (in Deutschland zum Beispiel der Deutsche Wetterdienst) greifen – gegen Gebühren – auf die von EUMETSAT bereitgestellten Daten und Bilder zurück. Sie ergänzen diese um Daten der von ihnen betriebenen Messstationen auf der Erde (Bodentemperatur, Luftdruck) und errechnen daraus die jeweils aktuelle Wetterprognose.

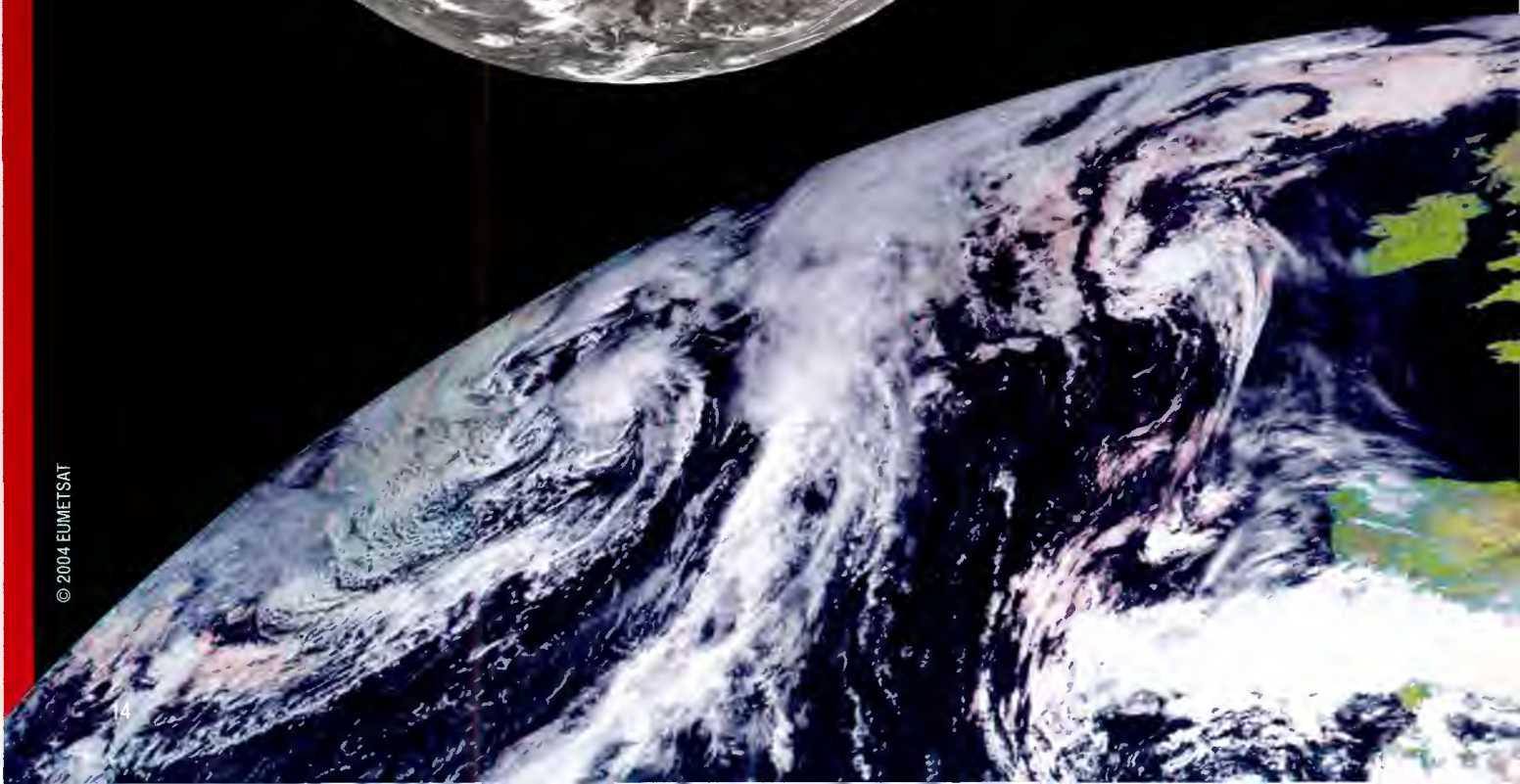
Neben METEOSAT 8 und 9 betreibt EUMETSAT auch einen Beobachtungssatelliten auf einer 820 Kilometer hohen polaren Umlaufbahn: METOP-A (Meteorological Operational Satellite). Er ist der erste von drei geplanten METOP-Satelliten, die das bisherige Beobachtungsspektrum um höher auflösende Daten ergänzen sollen. Außerdem kann METOP die für die Klimabeobachtung wichtigen Polarregionen viel besser erfassen als die METEOSATs von ihrer fixen Position über dem Äquator.

Wetterphänomene aus Satellitensicht

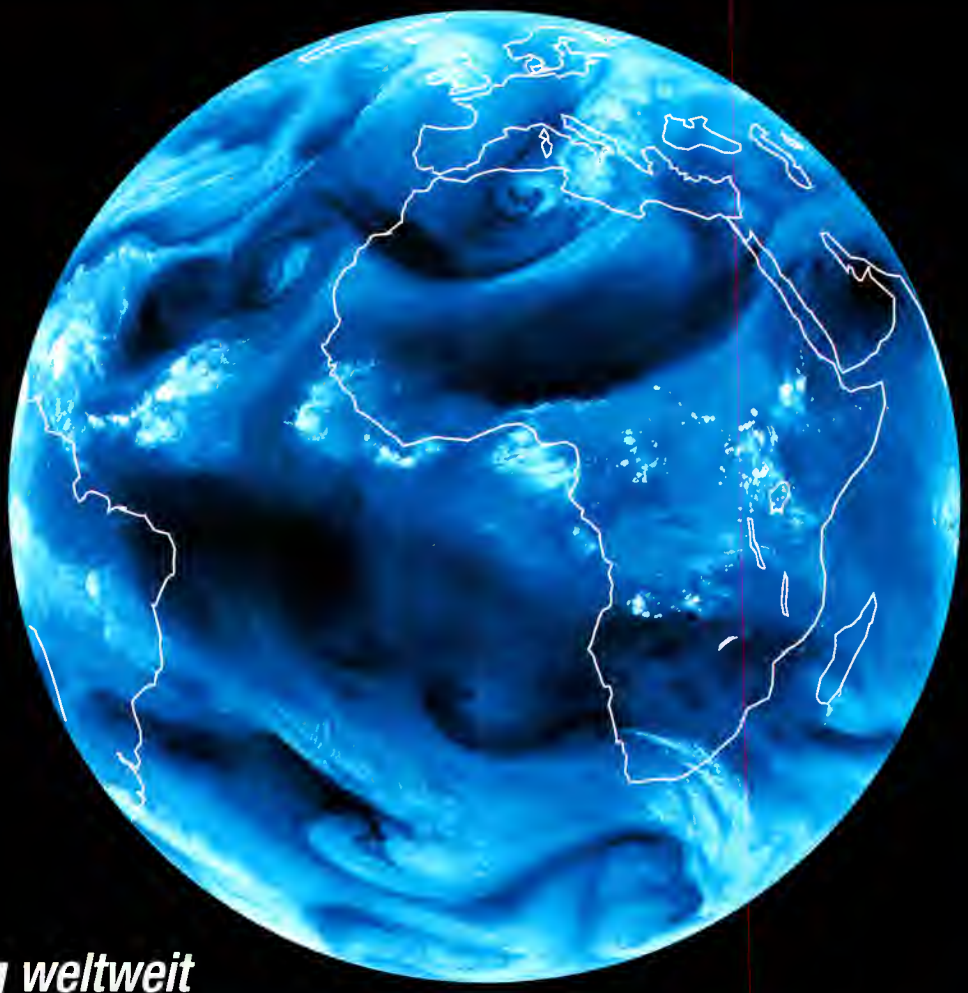
Wettersatelliten sind mit lichtempfindlichen Sensoren bestückt, so genannten Radiometern. Diese messen die Strahlung in verschiedenen Spektralkanälen, hauptsächlich im sichtbaren und infraroten Bereich. Der sichtbare Kanal des Wettersatelliten misst die von der Erde und der Atmosphäre reflektierte Sonneneinstrahlung. Wolken reflektieren besonders stark, da sie aus Wassertropfen bestehen. Sie erscheinen im sichtbaren Kanal sehr hell. Wolken aus Eiskristallen erscheinen im nahen Infrarotkanal dunkel, weil sie die Strahlung am stärksten absorbieren, also schlucken. Auf diese Weise können verschiedene Wolkenarten unterschieden werden. Werden die einzelnen Bilder zu einem „Film" montiert, lässt sich aus der Bewegung der Wolken auf Windgeschwindigkeit und -richtung schließen.



Durch die Messung der thermalen Infrarotstrahlung, die die Erde abgibt, kann – soweit der Himmel nicht von Wolken bedeckt ist – die Temperatur von Erd- oder Wasseroberflächen bestimmt werden.



© 2004 EUMETSAT



Während Wolkenformationen nur regional auftreten, ist Wasserdampf überall in der Atmosphäre vorhanden – als farbloses Gas. Um ihn sichtbar zu machen, muss die Messung angepasst werden und mit genau der Wellenlänge erfolgen, die vom Wasserdampf „verschluckt" – also nicht reflektiert – wird. Das entsprechende Bild wird schließlich auf Basis reflektierter und nicht reflektierter Strahlung errechnet.

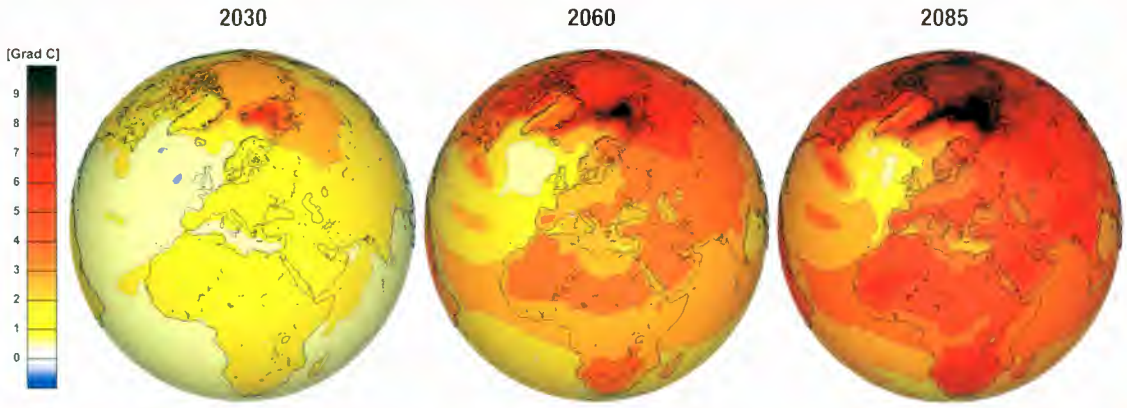
Wetterbeobachtung weltweit

Um das Wetter kontinuierlich im Blick zu behalten, betreiben verschiedene Nationen – darunter die USA, Russland, Japan und China – eigene Wettersatelliten. Mit den geostationären METEOSAT-Satelliten leistet auch Europa einen wesentlichen Beitrag zur weltweiten Sammlung und Auswertung von Wetterdaten. Das globale Wetterbeobachtungs-Netzwerk umfasst zudem noch Zehntausende Bodenstationen, Messungen auf rund 7.000 Schiffen, Messbojen auf den Ozeanen und rund 500 Wetterradar-Stationen. Sie alle „produzieren" stündlich etwa 25.000 Wettermeldungen. Den Wettersatelliten kommt in diesem System eine herausragende Stellung zu, denn sie beobachten auch schwer zugängliche Regionen (Gebirge, Regenwälder), die für viele Wetterphänomene große Bedeutung haben.

Trotz modernster Technik kann Wetter nur für eine Woche im Voraus mit einer etwa 70-prozentigen Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden. Denn das Wetter ist ein „chaotisches" System, das von unzähligen Faktoren beeinflusst wird. Da es also viele „Variablen" und Möglichkeiten gibt, die man bei Vorhersagen berücksichtigen und berechnen muss, arbeiten einige der rechenstärksten Computer im Wetter- und Klimabereich. Wesentlich leichter ist dagegen die Vorhersage des Wetters von morgen und übermorgen. Hier haben die modernen Satelliten mit ihrer immer weiter verbesserten Technik an Bord dazu beigetragen, dass die Vorhersagen immer genauer wurden.

4 – Das Klima

Der globale Klimawandel ist eine der großen Umweltfragen unserer Zeit. Die wichtigsten Phänomene, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang gebracht werden: die Erwärmung der Erde, das Schmelzen der polaren Eismassen, der Anstieg des Meeresspiegels und die Zunahme von Unwettern und Stürmen.



Simulierte Temperaturänderung mit ECHAM5/MPI-OM: IPCC Szenario A1B

Um sinnvoll in das Thema einsteigen zu können, ist zunächst eine wichtige Unterscheidung zu machen: Klima ist nicht gleich Wetter. Wetter, wie im vorangehenden Kapitel besprochen, bezeichnet die Witterungsverhältnisse in einem geografischen Gebiet und innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Unter Klima ist dagegen ein langfristiger, unter Umständen Jahrhunderte anhaltender Zustand zu verstehen. Ein einzelner Hurrikan, ein besonders warmer Winter oder ein verregneter Sommer sind isoliert betrachtet Witterungsphänomene. Erst ihre Häufung oder auffällige Wiederholung lassen auf Trends schließen und so das Einzelphänomen zum Indiz für einen echten Klimawandel werden. Erst der Vergleich von Satellitendaten, die über Jahrzehnte gesammelt wurden, untermauert die Erkenntnis: Das Klima auf der Erde ändert sich bedrohlich.

© Fotolia

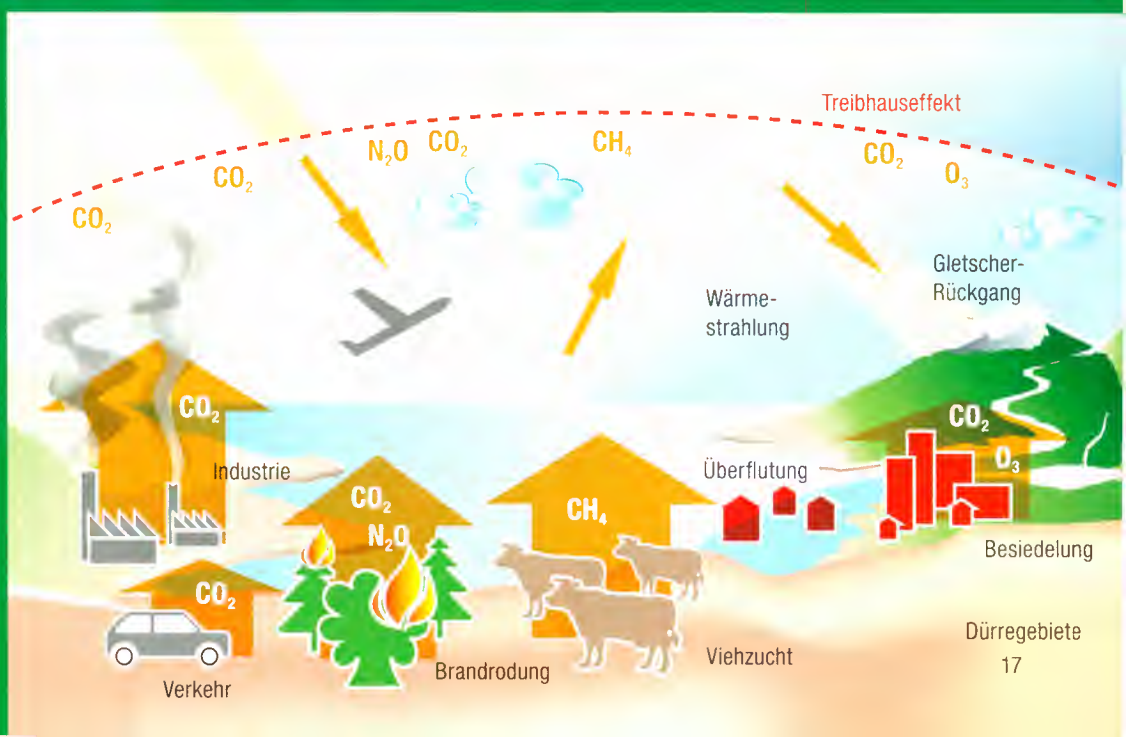
Die Erde verheizt?

Die globale Erwärmung schreitet voran und alles lässt darauf schließen, dass der Mensch erheblich dazu beiträgt – im Wesentlichen durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie Erdöl und Kohle. Sie sind der „Treibstoff" für Wohlstand und Fortschritt, sowohl in der Wirtschaft als auch im privaten Bereich: das eigene Auto, möglichst als Geschenk zum 18. Geburtstag, die gut geheizte Wohnung im Winter, im Sommer klimatisiert, portionsweise abgepackte Lebensmittel auf Vorrat in der Kühltruhe. All das verbraucht Energie, verursacht Emissionen und verunreinigt so die Atmosphäre mit Kohlendioxid, einem Abfallprodukt der Verbrennung.

Diese Belastung der Atmosphäre verstärkt den sogenannten Treibhauseffekt: Dabei lassen die in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase – wie zum Beispiel Kohlendioxyd oder Methan – zwar die Sonnenstrahlung von außen weiterhin nahezu ungefiltert eindringen. Die von der Erde abgegebene Wärmestrahlung jedoch, die eine andere Wellenlänge als das Sonnenlicht hat, kann nicht mehr nach außen entweichen. So heizt sich die Atmosphäre langsam immer weiter auf.

Darüber hinaus setzt der Klimawandel noch einen echten Teufelskreis in Gang: Steigende Temperaturen lassen das Eis an den Polkappen schmelzen. Die Eisfläche schrumpft, die Wasserfläche nimmt zu. Während aber das helle Eis Sonnenlicht reflektiert, also zurückweist, wird es vom viel dunkleren Wasser absorbiert, also gespeichert. Die Erwärmung unseres Planeten beschleunigt sich durch diesen Effekt, den man „positive Rückkopplung" nennt, zusätzlich.

So „funktioniert" der Treibhauseffekt: Die Erdatmosphäre lässt Sonnenstrahlung eindringen. Dies ist Voraussetzung für das Leben auf der Erde. Zugleich ist es wichtig für den irdischen Energie-Haushalt, dass ein Teil der Wärme wieder in den Weltraum abgegeben wird. Schadstoffe wie Kohlendioxid oder andere Treibhausgase verhindern diese Abstrahlung und halten die Sonnenenergie auf der Erde. Die Temperatur steigt.



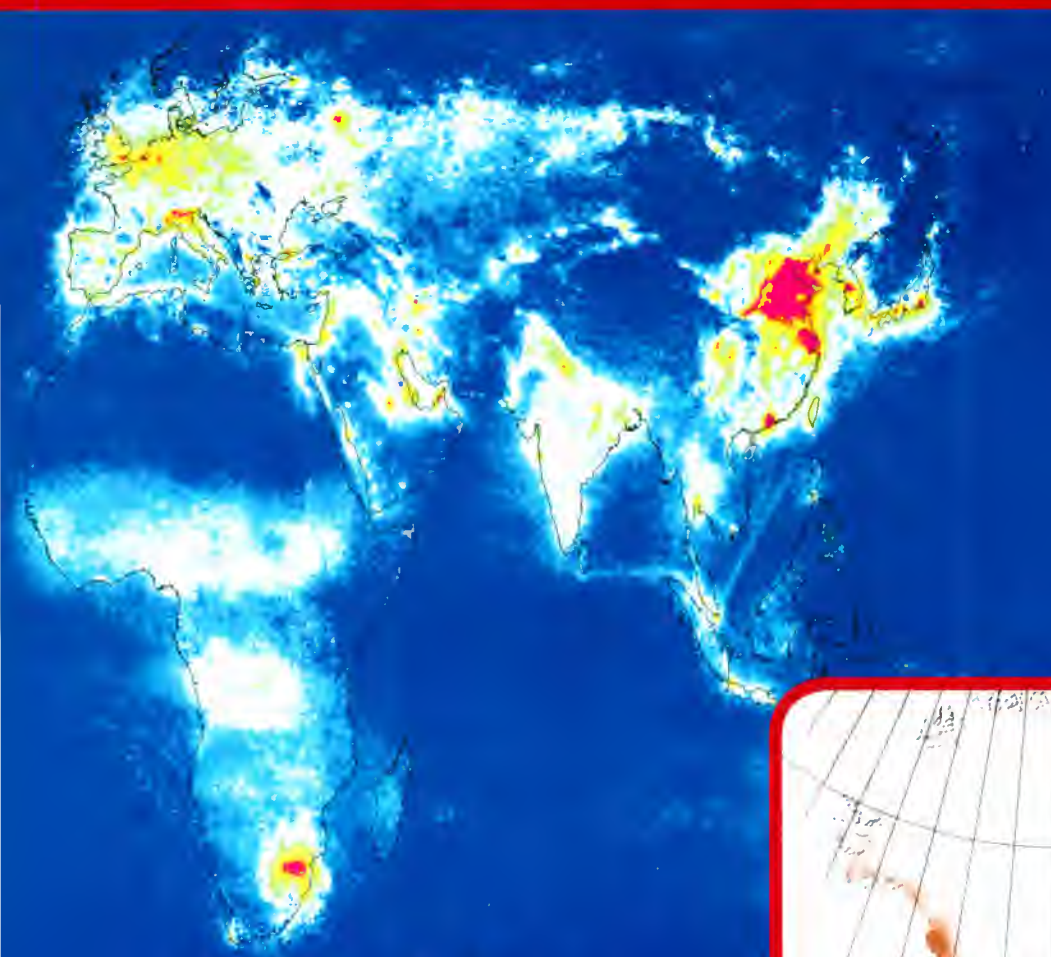
Alarmierende Bilder ...

Erdbeobachtungssatelliten und die von ihnen erzeugten Bilder führen uns die globale Dimension der Erderwärmung deutlich vor Augen: Sie zeigen das Abbrechen riesiger Schelfeis-Blöcke in der Antarktis, das Austrocknen großer Seen, die zunehmende Versteppung oder gar Verwüstung riesiger Landflächen, das Verschwinden der Gletscher. Diese und viele andere Bilder sind nicht nur von wissenschaftlicher Bedeutung. Sie werden auch von der Öffentlichkeit sofort verstanden: „Hier läuft etwas falsch!"

Damit all das auch der Öffentlichkeit bekannt wird, spielt übrigens auch eine andere Art von Satelliten eine wichtige Rolle: Kommunikationssatelliten. Sie verbreiten die brisanten Informationen rasant im gesamten „globalen Dorf" und helfen so, die Menschen überall auf der Erde im wahrsten Sinne des Wortes „ins Bild" zu setzen.

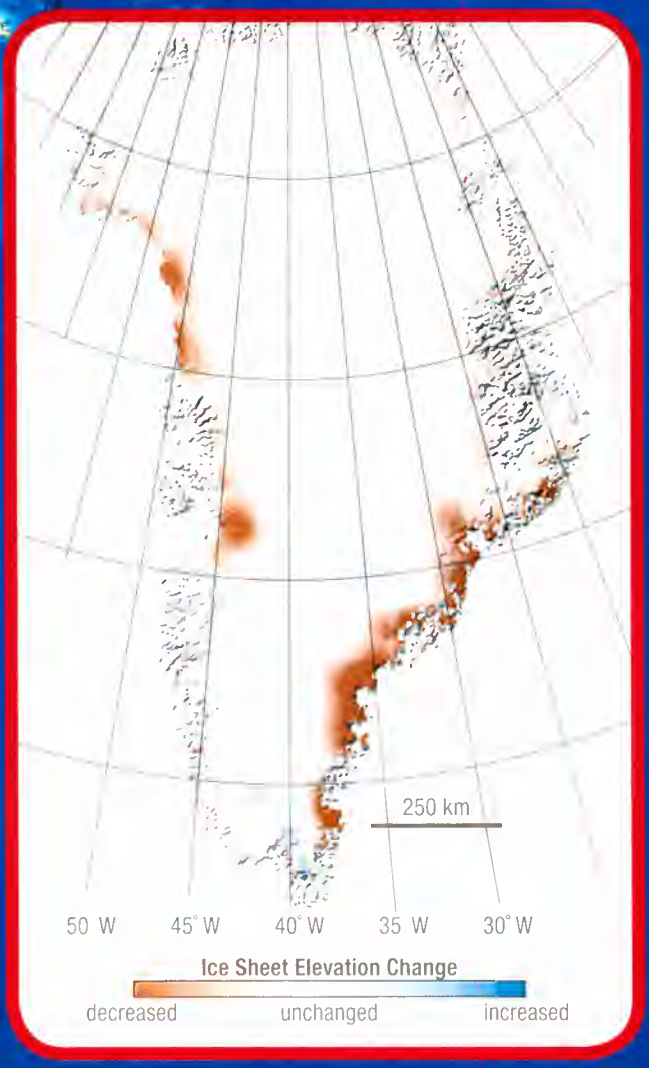
Bis etwa 2003 schrumpfte der Aralsee (einst der viertgrößte Binnensee der Erde) durch Austrocknung auf weniger als ein Drittel seiner ursprünglichen Größe. Die ausgetrockneten Flächen (und auch der ursprüngliche Umfang) sind auf den Satellitenbildern deutlich zu erkennen. Durch Dammbau-Projekte und ein verbessertes Wasser-Management entlang der Zuflüsse des Sees konnte dieser Trend inzwischen gestoppt, ja sogar umgekehrt werden.

Wenn das Eis am Rande der Antarktis abbricht, ist das ein faszinierendes Naturschauspiel. Der Rückgang des Larsen-Schelfeises hat jedoch erschreckende Ausmaße angenommen.



Die Karte zeigt das weltweite Aufkommen des Spurengases Stickstoffdioxid (NO_2) in der Erdatmosphäre. Rot bezeichnet eine sehr hohe, blau eine verhältnismäßig niedrige Konzentration.

Die ausgewerteten Satellitendaten ergeben eine deutliche Abnahme der Eisdicke entlang der Küste Grönlands – nämlich an all den Stellen, die rötlich eingezeichnet sind.

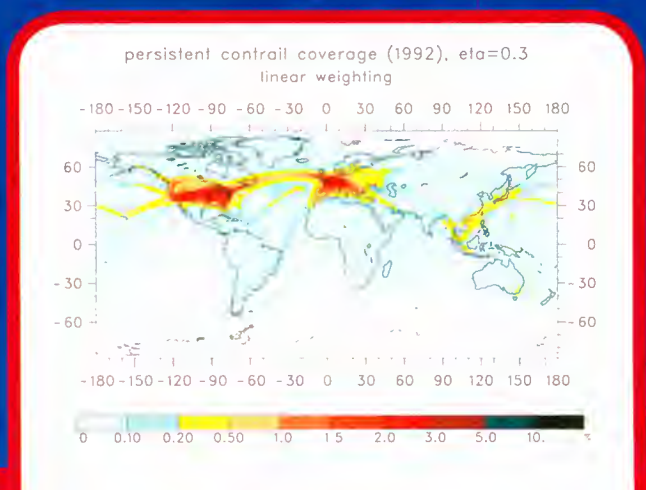


Quelle: NASA Earth Observatory (NEO)

... und ihre Ursachen

Handfeste Daten untermauern die Aussagen der Bilder: Die Vermessung aus dem Weltall ergab beispielsweise, dass die Fläche des Larsen-Schelfeises von 11.500 Quadratkilometern im Jahr 1995 auf 2.500 Quadratkilometer schrumpfte. Mit Satellitenmessungen ließ sich diese Entwicklung auch genau begründen: Die Durchschnittstemperatur auf der antarktischen Halbinsel stieg in den vergangenen 50 Jahren um etwa 2,5 Grad Celsius. Die Folge: Die Larsen-Eisschelfs A und B zerbrechen in einzelne Segmente, welche nach Norden treiben und dort schmelzen.

Neben Meeren und Polkappen beobachten Umweltsatelliten noch andere maßgebliche Klimafaktoren: Sie analysieren die Erdatmosphäre und deren Zusammensetzung und registrieren so auch die erhebliche Luftverschmutzung – beispielsweise über Ballungsgebieten oder entlang der Hauptrouten des internationalen Luftverkehrs. Diese Messungen beschreiben das Ausmaß der Verschmutzung genau und widerspruchsfrei. Das wiederum setzt die Verursacher (Industrien, Regierungen) unter Handlungsdruck.



Die Abbildung zeigt Flugzeug-Emissionen weltweit: Die meistgenutzen Flugrouten heben sich in gelben und roten Farben deutlich ab.

5 – Wasser-Management

Immer häufiger hört man, Wasser sei das „blaue Gold" des 21. Jahrhunderts: begrenzt vorhanden und teuer. So selten und kostbar, dass in Zukunft sogar Kriege um Wasser ausbrechen könnten.

Wie kann das sein, wenn doch über 80 % der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt sind? Wenn die Sommer bei uns angeblich immer verregneter werden? Wenn Wasser unbegrenzt und billig aus unseren Wasserhähnen läuft, wir sogar täglich duschen und unsere Toiletten damit spülen können?

Wir sollten uns nicht täuschen: In manchen Regionen der Erde wird es künftig nur noch durch den Einsatz modernster Satellitentechnologie gelingen, das Problem des Wassermangels auch nur annähernd in den Griff zu bekommen. Schon heute verfügen viele Menschen nicht über sauberes Trinkwasser.

- **Wasser ist der wichtigste „Rohstoff" für das Leben auf der Erde**
- **Wasser ist in unterschiedlichster Form und sehr ungleichmäßig auf der Erde verteilt**
- **Nur ein geringer Teil des Wassers auf der Erde ist für den Menschen unmittelbar nutzbar**
- **Erdbeobachtungssatelliten helfen, Wasser-Ressourcen effizienter zu nutzen – vor allem in sehr wasserarmen Regionen**

Wasser: eine Seltenheit?

Es stimmt: Wasser ist eigentlich im Überfluss vorhanden: Allein die Ozeane bestehen aus 1.350 Millionen Kubikkilometern Wasser – das sind rund 97 % des gesamten auf der Erde vorhandenen Wassers. Von dieser Menge könnte sich jeder Mensch auf der Erde etwa 270.000 Badewannen volllaufen lassen. Wo also liegt das Problem?

Betrachten wir die Wasserreserven der Erde einmal genauer, sieht die Sache schon etwas weniger beeindruckend aus – denn nicht alles Wasser lässt sich unmittelbar für unsere Zwecke nutzen:

97,1 % des Wassers auf der Erde befinden sich in den Weltmeeren – das heißt, es handelt sich um Salzwasser, das weder für die Ernährung noch für die Landwirtschaft unmittelbar genutzt werden kann.

2,9 % des Wassers befinden sich auf dem Festland. Sind sie deshalb leicht zu nutzen? Nein, denn drei Viertel davon sind als Schnee oder Eis gebunden (zum Beispiel an den Polen) und das letzte Viertel ist Grundwasser, liegt also oft in sehr großen Tiefen.

Nur 0,029 % des Wassers befindet sich flüssig an der Oberfläche des Festlands – beispielsweise in Seen oder Flüssen.

0,001 % des Wassers ist Bestandteil der Erdatmosphäre, z. B. als Wasserdampf (gasförmig), Regen (flüssig) oder Schnee/Hagel (fest).

© 2004 EUMETSAT

Wir sehen: Wasser, das dem Menschen unmittelbar nützen kann, ist tatsächlich eine Rarität. Und selbst hier müssen wir noch Abstriche machen: Flüsse dienen häufig als wichtige Transportwege für Schiffe. Auch die Industrie nutzt viel Wasser – etwa bei der Kühlung von Kraftwerken.

Wasserreinigung und der Wasserkreislauf

Um aus dem Wasser, das uns unmittelbar zur Verfügung steht, Trinkwasser zu machen, wird es durch mechanische, biologische und chemische Verfahren aufwändig gereinigt – meistens in Kläranlagen.

Nachdem es vom Menschen genutzt wurde – in industriellen Prozessen, als Getränk, zur Reinigung – wird es gesäubert und wieder in die Flüsse geleitet.

Stufe 1:

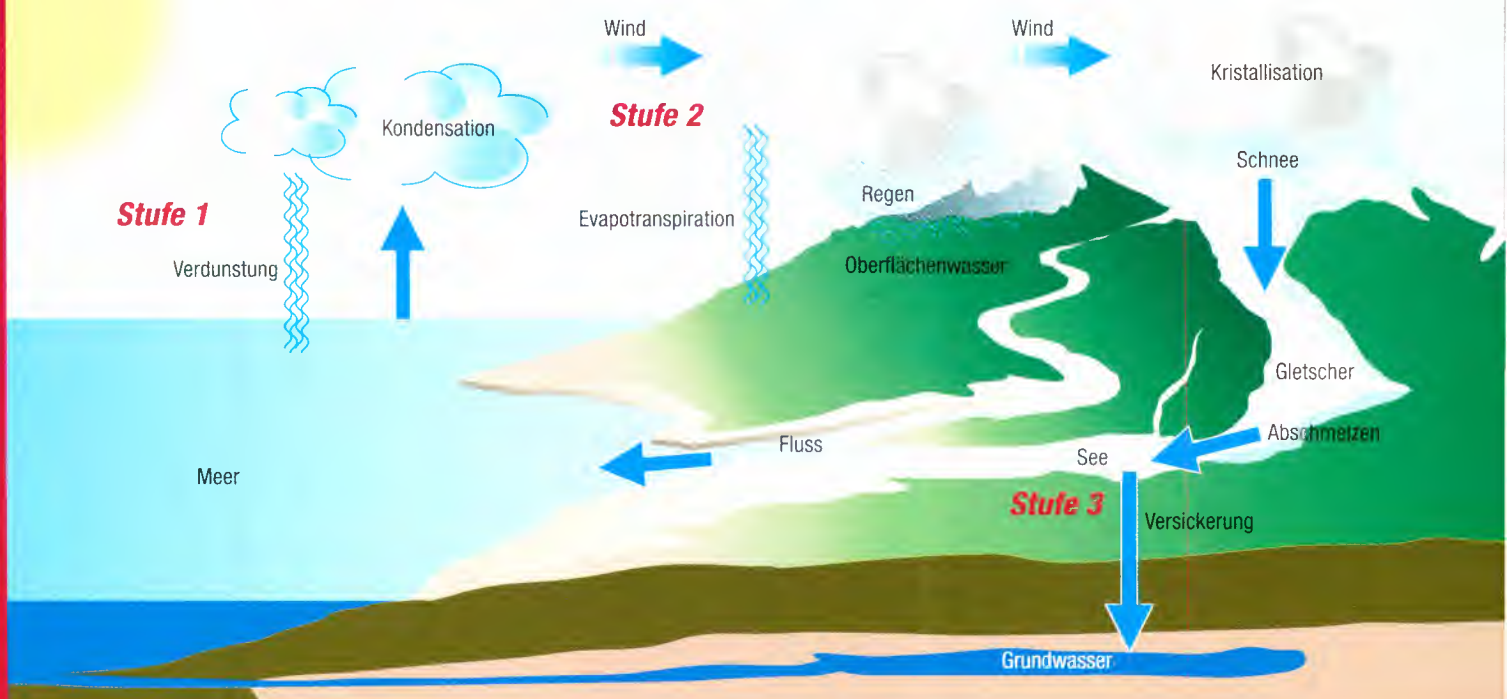
Die Sonneneinstrahlung lässt über den Ozeanen große Mengen Wasser verdunsten. Es steigt in die Atmosphäre auf. Das ist bereits ein riesiger Reinigungsprozess, denn Schadstoffe im Wasser sind zu schwer, um mit aufzusteigen.

Stufe 2:

In großen Höhen kühlt das Wasser ab. Je nach Witterung fällt es als Regen, Schnee oder auch Hagel zu Boden.

Stufe 3:

Auf dem Land nimmt das Wasser ganz unterschiedliche Wege. Mittelfristig sammeln sich große Teile von ihm wieder in den Flüssen, die es erneut ins Meer tragen. Danach beginnt der Prozess von vorne.



Übrigens: Auch Pflanzen bestehen zum größten Teil aus Wasser – die Regenwälder im Amazonasgebiet sind deshalb ebenfalls ein riesiger Wasserspeicher.

Und die anderen?

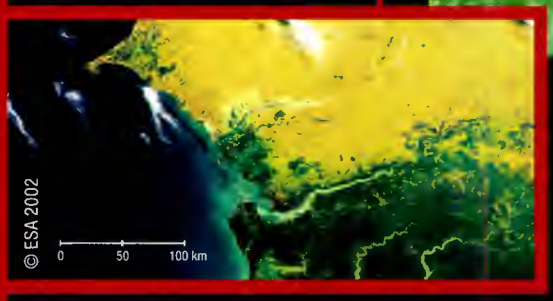
Schön, wenn der Wasserkreislauf so reibungslos funktioniert und uns immer wieder mit „frischem" Wasser versorgt. Es gibt aber auch Regionen auf der Welt, wo das nicht so einwandfrei funktioniert. Eine Milliarde Menschen – vorwiegend in Afrika und Asien – haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, was u. a. an sinkenden Grundwasserspiegeln und auch an schlechter Versorgung (z. B. defekte Leitungen, Wasserverschmutzung usw.) liegt. Wie kommen die Menschen dort zu Wasser? Wie finden sie es überhaupt? Zum Beispiel mit der Hilfe von Satelliten.

Afrika – alles so grün hier

Auf den ersten Blick könnte man denken: Afrika ist ein grüner Kontinent. Grün sind Pflanzen. Und wo Pflanzen sind, ist auch Wasser. Alles bestens? Keineswegs.

Natürlich hat Afrika, das mit über 30,1 Millionen Quadratkilometern rund dreimal so groß ist wie Europa, viele fruchtbare Regionen. Grob lässt sich Afrika in fünf Klimazonen unterteilen, die sich durch Sonneneinstrahlung und Niederschlagshäufigkeit unterscheiden – wenn es auch generell sehr warm ist.

Äquatorialklima
Wechselfeuchtes Tropenklima
Tropisches Trockenklima
Wüstenklima
Mittelmeerklima
Gebirgseinfluss



© ESA 2002

© ESA

Den klimatischen Bedingungen entsprechend variiert auch die Besiedelungsdichte in den unterschiedlichen Regionen Afrikas. Dort wo Ackerbau und Viehzucht möglich sind, leben tendenziell mehr Menschen als in den unwirtlichen Regenwaldgebieten oder in den Wüstenregionen im nördlichen Teil des Kontinents.

Klimaveränderungen einerseits, eine unzureichende Landnutzung andererseits tragen aber dazu bei, dass immer mehr Land verloren geht – beispielsweise durch Versteppung. Bei Weitem nicht alle Menschen haben die wirtschaftlichen Möglichkeiten, diesen veränderten Bedingungen zu entkommen. Ihnen drohen Dürrekatastrophen, Hunger und Durst.

Die Erdbeobachtung mit Satelliten bietet allerdings vielfältige Möglichkeiten, das Wasser-Management zu steuern und die Situation für viele Menschen zu verbessern. Die ESA-Initiative TIGER bündelt vielfältige Einzelprojekte – von der Suche nach Grundwasser bis zur Hochwasser-Prävention in flussnahen Regionen.

Für diese Aufnahme von Afrika überflog der Satellit ENVISAT den Kontinent viele Male bei unterschiedlichsten Wetterbedingungen in einer Höhe von 800 Kilometer. Bei jedem Überflug nahm er einen etwa 1.150 Kilometer breiten Streifen auf, der anschließend mit anderen Bildstreifen zu einem kompletten Motiv zusammengesetzt wurde. Da sämtliche Einzelaufnahmen bei „freier Sicht" gemacht wurden, sind keine Wolken zu sehen – eine Situation, die es in Wirklichkeit natürlich niemals gibt.

Der Bildausschnitt zeigt, wie dicht fruchtbare Gebiete und Wüstengegenden in Afrika beieinanderliegen.

Wasser finden: Viele Gegenden in Afrika sind auf die Nutzung von Grundwasser angewiesen. Satelliten können aus großer Höhe erkennen, wo Grundwasservorkommen möglichst dicht unter der Erdoberfläche liegen und wo deshalb der Bau von Brunnen am sinnvollsten ist und am meisten Erfolg verspricht.

Besonders hilfreich erwies sich dieses Verfahren im Jahr 2004 während der Flüchtlingskatastrophe, die durch den Krieg in der sudanesischen Region Darfur verursacht worden war. Mit Hilfe von Satelliten ließen sich innerhalb kürzester Zeit optimale Plätze zur Brunnenbohrung in der Nähe der rasant wachsenden Flüchtlingslager finden. Nur so waren Zehntausende Flüchtlinge mit Trinkwasser zu versorgen. Zugleich konnten die besten Standorte für die Gründung neuer Flüchtlingslager ausfindig gemacht werden.

Landwirtschaft bei Kufra in Libyen: Die Kreisform der Felder ergibt sich aus dem Radius des Bewässerungssystems.

Wassersuche mit Satelliten – wie funktioniert's?

Satelliten können sogar unter die Erdoberfläche „sehen" und erkennen, wo es Grundwasser gibt. Zu diesem Zweck werden die Messdaten von bis zu drei unterschiedlichen Beobachtungssatelliten kombiniert.

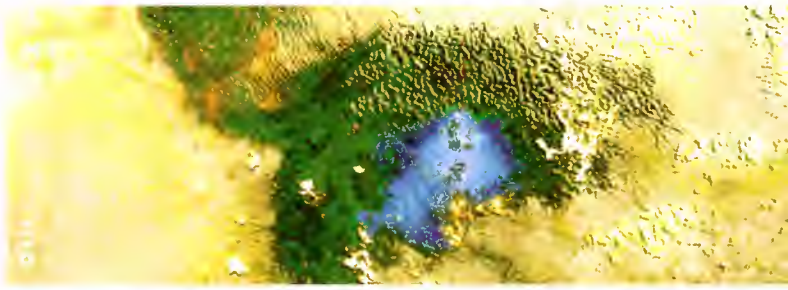
- Bilder des Landsat-Satelliten verschaffen einen Überblick über die Oberflächenstruktur einer Region – die verschiedenen Vegetationen lassen auf die grundsätzliche Bodenfeuchte schließen.
- Die Sensoren eines Radarsatelliten „scannen" die Oberflächenbeschaffenheit der Landschaft. Diese Wellen des sogenannten C-Bands dringen zwar nur wenige Zentimeter in den Boden ein. Doch das Relief der Oberfläche verrät ausgetrocknete Flussläufe und liefert so wichtige Anhaltspunkte, wo Grundwasser zu finden sein könnte.
- Mit den Daten des langwelligen Radars eines weiteren Satelliten geht der Blick zusätzlich mehrere Meter tief unter die Erdoberfläche. So „sieht" der Satellit, wo der Boden feucht ist.

Die Kombination von Oberflächendaten und verschiedenen „Tiefeninformationen" erzeugt dann einen „Querschnitt" durch das Gelände.

Ressourcen schützen: Der Tschad-See war einst 25.000 Quadratkilometer groß. Nun sind es nur noch 3.000 Quadratkilometer und während Trockenzeiten sogar nur 500 Quadratkilometer. Die Zufluss-Geschwindigkeit verschiedener Quellen hat sich drastisch verringert, weniger Wasser gelangt in den See, sodass dieser – Nahrungsquelle für eine große Region in der Umgebung – endgültig zu versiegen droht.

Hier hilft Erdbeobachtung mittels Satellit bei der Ursachenanalyse: Wo wird übermäßig viel Wasser „vergeudet", wo sinkt der Grundwasserspiegel aufgrund anderer Faktoren besonders schnell?

Wenn diese Informationen bekannt sind, können die Anrainer-Staaten zielgerichtet Gegenmaßnahmen ergreifen und den Trend verlangsamen oder vielleicht sogar umkehren.



Der Tschad-See aus Satellitensicht.

1963 1973 2001

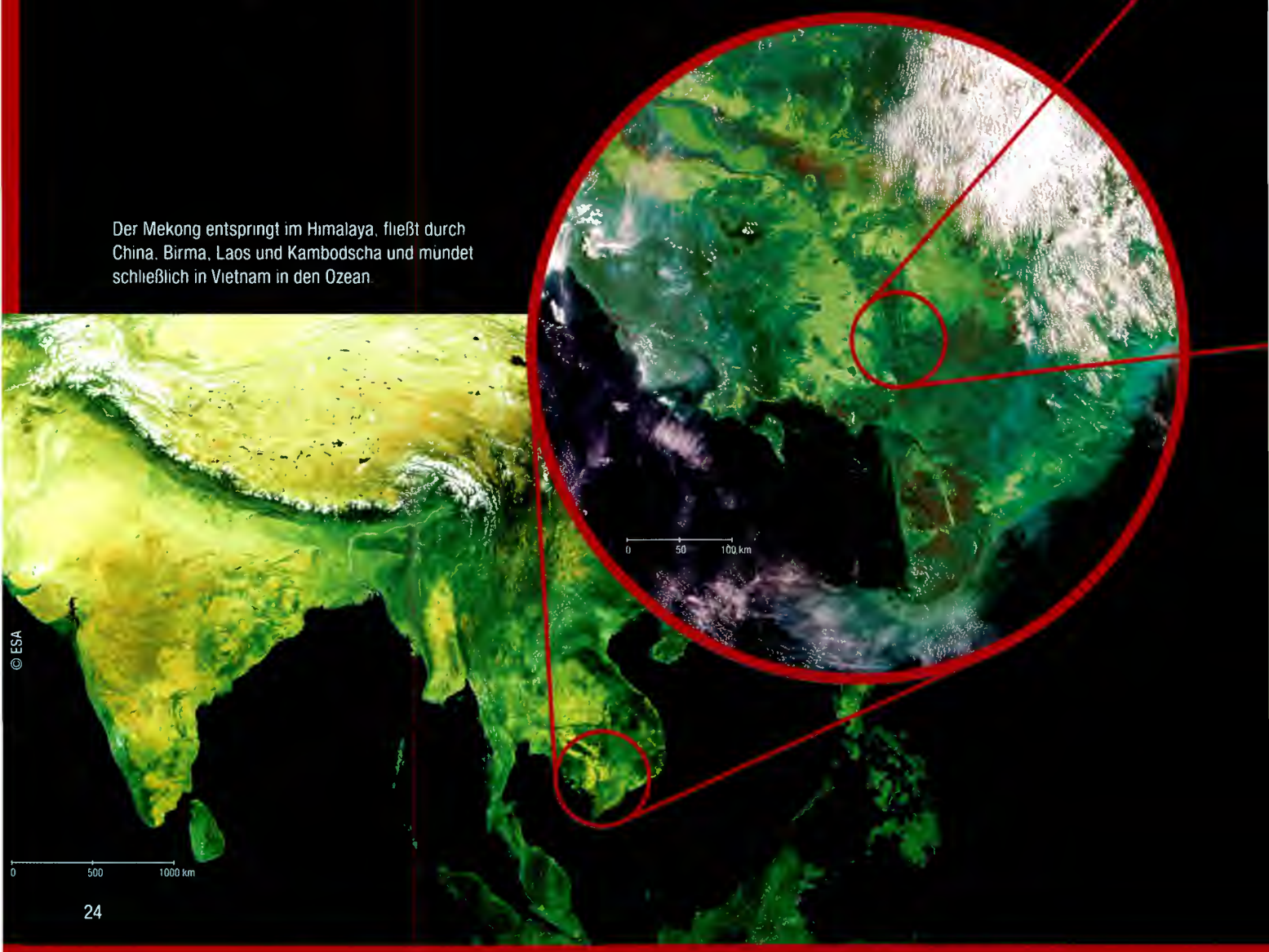
6 – Lebensmittel-Management

Satelliten: die Hightech-Erntehelfer

Die Weltbevölkerung nimmt stetig zu: Während im Jahr 1804 „nur" eine Milliarde Menschen auf der Erde lebten, sind es inzwischen rund sieben Milliarden. Zwar sind die Geburtenzahlen in vielen industrialisierten Ländern rückläufig, doch wird dieser Rückgang durch das Bevölkerungswachstum in Entwicklungs- und Schwellenländern mehr als wettgemacht.

Mit der Anzahl der Menschen, die auf der Erde leben, steigt auch der Bedarf an Lebensmitteln. Da die Landwirtschaft ihre Kapazitäten bisher nicht in gleichem Maß ausweiten konnte und außerdem sehr von Wettereinflüssen abhängig ist, ist es bis heute nicht gelungen, die Lebensmittelproduktion dem steigenden Bedarf anzupassen. Ein Effekt dieser Entwicklung sind steigende Preise für Grundnahrungsmittel in den Entwicklungsländern. Viele Menschen können sich nicht mehr ausreichend mit Nahrung versorgen. Naturkatastrophen und die durch sie verursachten Missernten verstärken den Effekt. Jeder siebte Mensch auf der Welt leidet an Hunger.

Satellitengestützte Erdbeobachtung kann die Landwirtschaft in vielen Regionen der Erde dabei unterstützen, Bodenressourcen besser zu nutzen oder zu schützen, die Ernteerträge zu verbessern und damit viele Menschen vor drohender Unterversorgung zu bewahren.



Der Mekong entspringt im Himalaya, fließt durch China, Birma, Laos und Kambodscha und mündet schließlich in Vietnam in den Ozean.

© ESA

Reisanbau in Asien

Reis, eine der bedeutendsten Kulturpflanzen der Welt, ist das wichtigste Grundnahrungsmittel in Asien – und ein ideales Beispiel dafür, wie Erdbeobachtung die Landwirtschaft unterstützen kann. Der Anbau von Reis ist sehr wasserintensiv. Außerdem erfordert sein Wachstum ein feucht-warmes Klima. Entsprechend eignet sich das Monsunklima Südostasiens hervorragend für den Reisanbau, ganz besonders im schlammreichen Mekong-Delta in Vietnam.

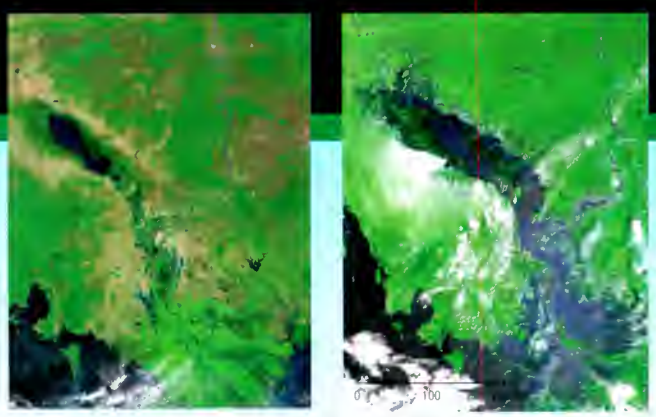
© X. Zimbardo/Hoa Qui

© Michael Waibel

91 % des weltweit geernteten Reises stammt aus Asien und der Pazifikregion. Um den steigenden Bedarf zu decken, müsste dort die Jahresproduktion (490 Millionen Tonnen) bis 2025 verdoppelt werden.

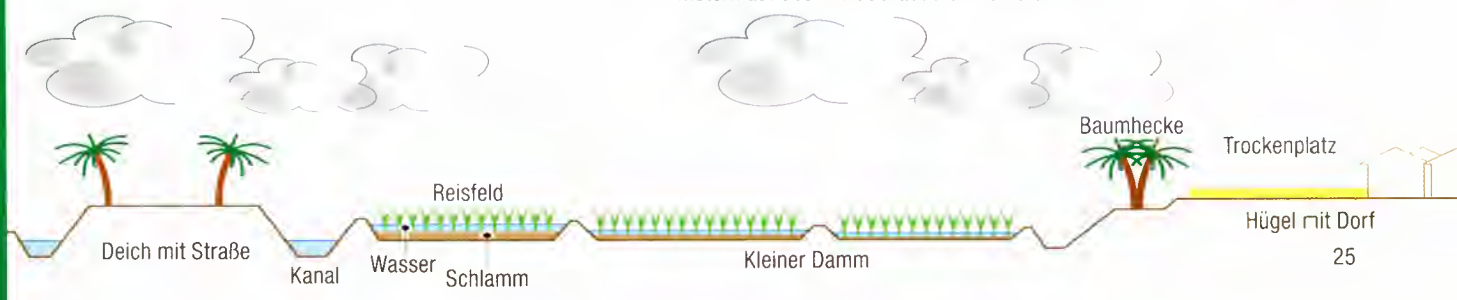
Auf dieser Aufnahme des Mekong-Deltas sind die großen Mengen an Schlamm und das dadurch entstandene Schwemmland gut zu erkennen.

Während des Monsuns vervierfacht sich die vom Mekong transportierte Wassermenge auf 65.000 Kubikmeter pro Sekunde. Landstriche von insgesamt 20.000 Quadratkilometern werden überschwemmt, das verfügbare Wasser kanalisiert und auf weitere Anbauflächen umgeleitet. Reis wächst auf wasserbedeckten Feldern, deren Wasserspiegel in dem Maße erhöht wird, wie die Pflanze wächst.



© NASA GSFC (Modis)

Während der Regenzeit (Bild rechts, Oktober 2002) wächst die Oberfläche des Tonle Sap (Großer See) im Mekong-Delta von 200 Quadratkilometern auf über 12.000 Quadratkilometer an.



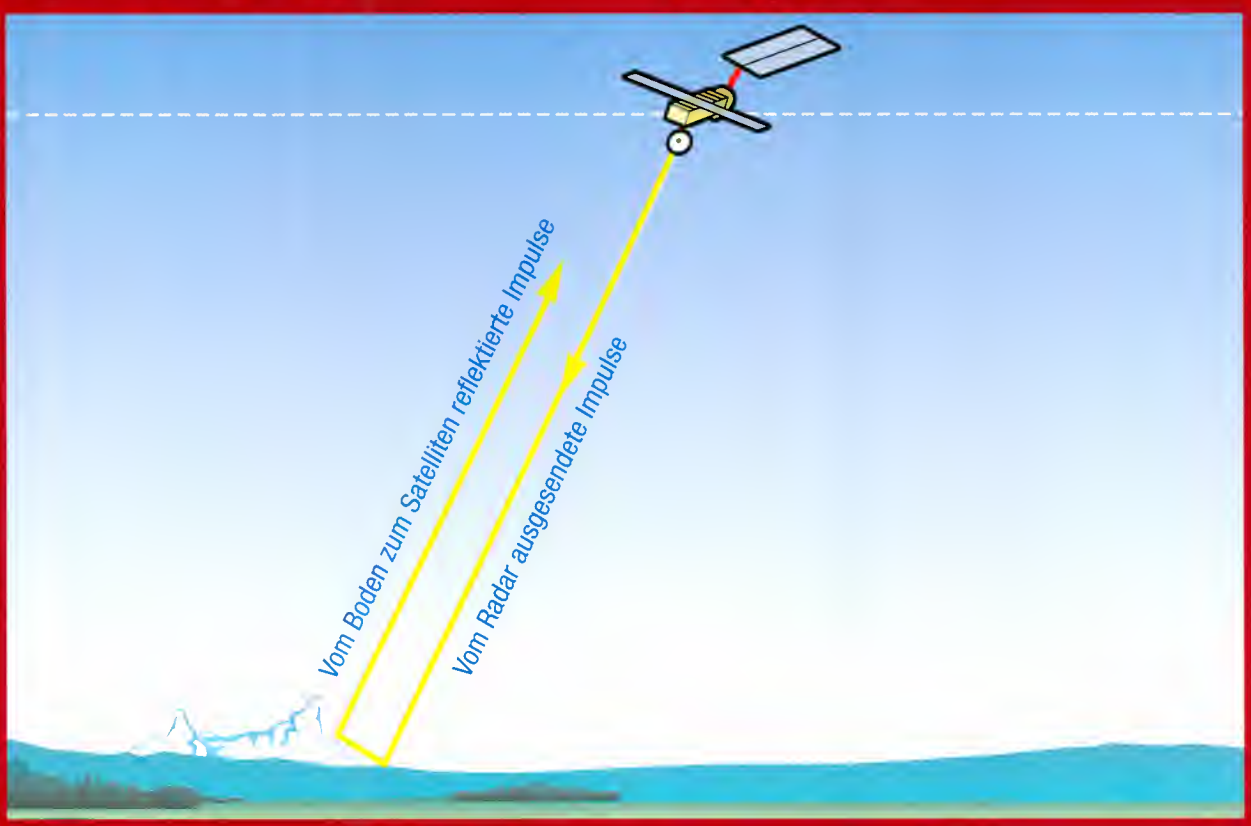
Besser geplant, häufiger geerntet

Wenn Reis produzierende Länder genaue und aktuelle Informationen über den Zustand ihrer Reisfelder und über das Wachstum der Pflanzen erhalten, können sie so früh wie möglich die am besten geeigneten Reissorten anbauen, mehrmals pro Jahr ernten und so das zur Verfügung stehende Land optimal nutzen.

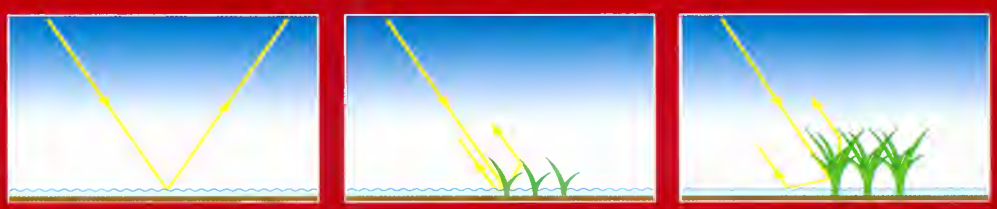
Die entsprechenden Informationen am Boden zu „sammeln" – und das noch für ein ganzes Land und über ein ganzes Jahr hinweg – ist überaus kostenintensiv und sehr ungenau. Per Satellit können alle erforderlichen Daten auch für ein sehr großes Gebiet regelmäßig zur Verfügung gestellt werden. Dabei lassen sich mittels Radarsignal, das auch durch Wolkendecken dringt, die Wachstumsphasen von Reis deutlich unterscheiden.

Das Auge fürs Detail

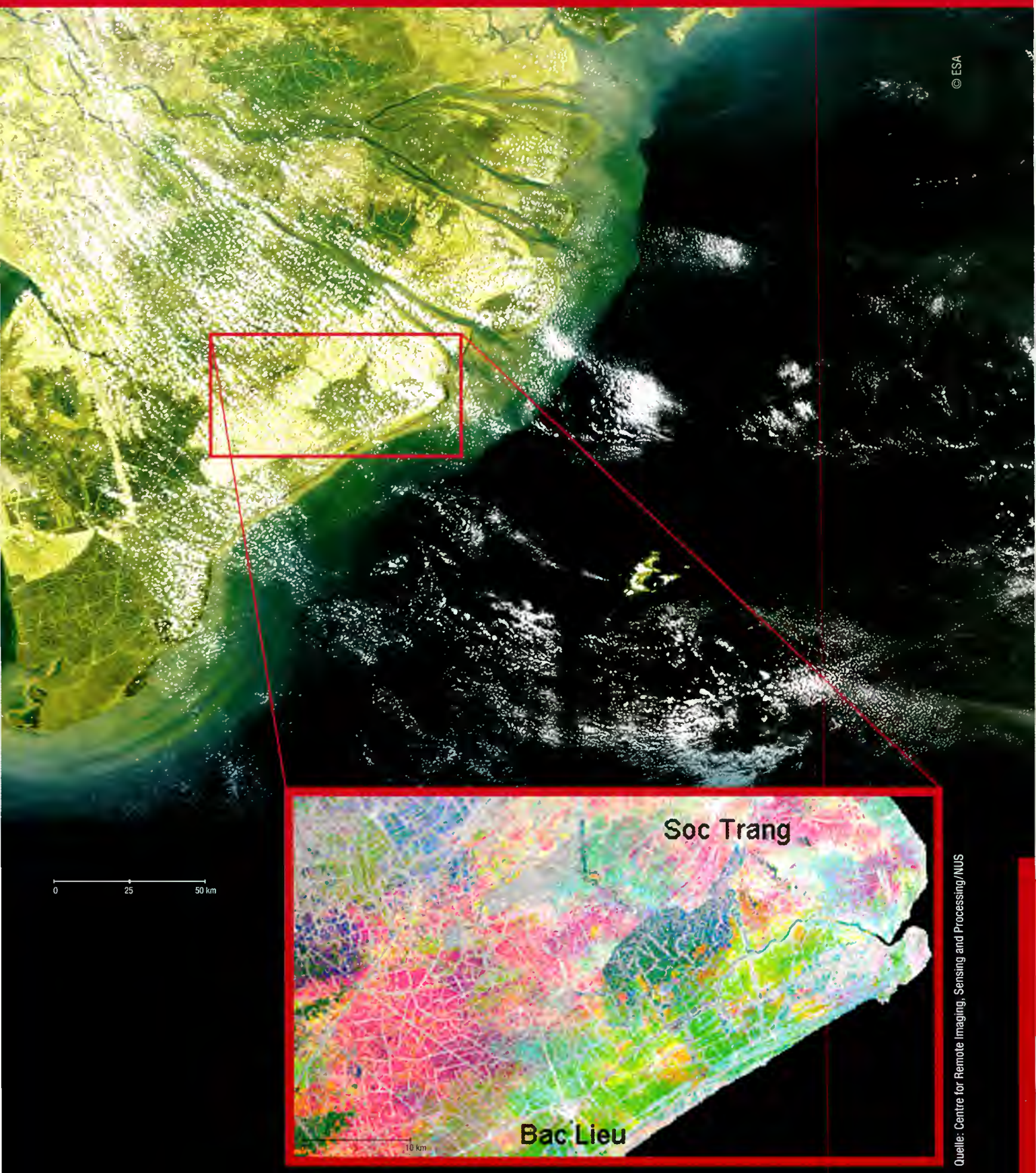
Um das Wachstum von Pflanzen zu beobachten, senden Satelliten Radarimpulse. Sie werden von der Erde reflektiert und schließlich wieder vom Satelliten aufgenommen. Je nach Beschaffenheit der Oberfläche wird das Signal unterschiedlich stark reflektiert: So kann ein Satellit sogar erkennen, ob die Pflanzen schon reif für die Ernte sind. Bei großflächigem Anbau sind das wichtige Informationen für die Landwirtschaft.



© ESA



Der Wachstumszyklus von Reis ist dreiteilig: Er erstreckt sich vom Sprießen der ersten Sprösslinge im wasserbedeckten Boden über die Blütenbildung bis zur Reife. Nach der Ernte werden die Felder entwässert und trocknen aus. Anschließend kann ein neuer Anbauzyklus beginnen.



Quelle: Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing/NUS

Das hier gezeigte Bild wurde aus drei Radarbildern erstellt, die jeweils im Mai, Juni und Juli aufgenommen wurden. Rot bedeutet erntereifer Reis im Mai, grün Erntereife im Juni und blau im Juli. So erkennt man auf einen Blick, wann der Reis wo geerntet werden kann. Solche Verfahren, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommene Daten in einem Bildprodukt vereinen, nennt man übrigens „multitemporal". Da die Farben natürlich nicht den wirklichen Farben entsprechen, spricht man von Falschfarbenbildern.

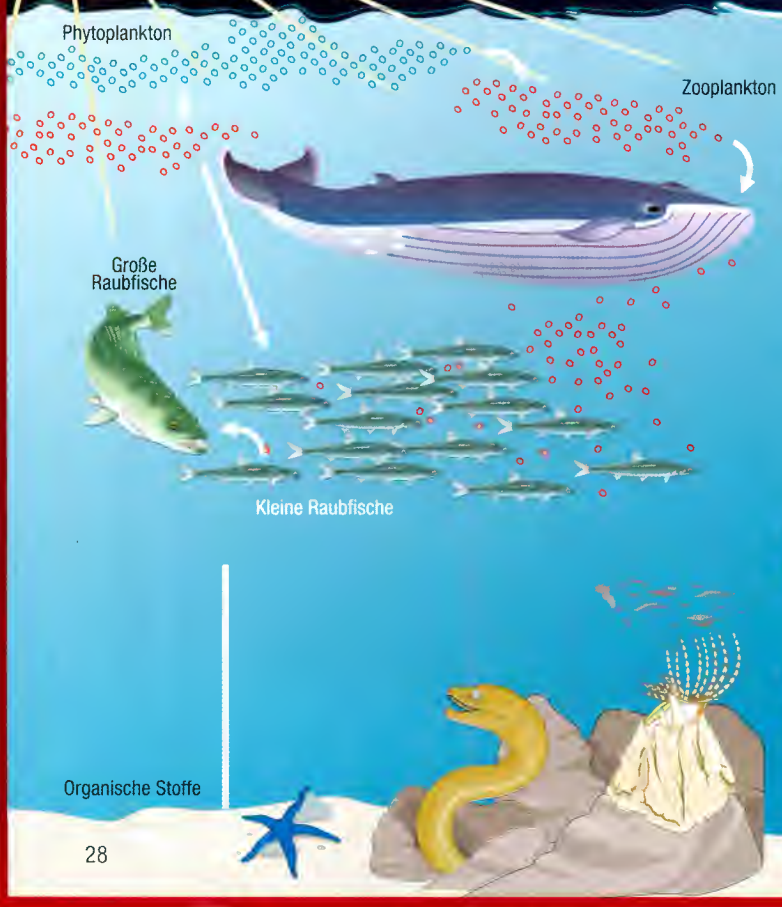
7 – Das Ökosystem Weltmeere

Die Meere – Lebensräume und Klimafaktor

Die Erde wird auch „Blauer Planet“ genannt: Meere und Ozeane bedecken 71 % ihrer Oberfläche und verleihen ihr – beim Blick aus dem Weltraum – ihre charakteristische Erscheinung. Die Ozeane sind ein überaus bedeutendes und artenreiches Ökosystem – dabei sind viele Bereiche noch gar nicht ausgiebig erforscht. In der Tiefsee (den lichtlosen Tiefenschichten unter 800 Metern) wird gerade erst begonnen, die Tier- und Pflanzenwelt systematisch zu erfassen. Die Meereswelt reagiert sehr empfindlich auf klimatische Veränderungen. Das ist besonders deshalb von Bedeutung, weil sich die Ozeane auf sämtliche Klimazonen der Erde erstrecken. Sie beeinflussen daher das Leben vieler Millionen Menschen, die an Küsten und auf Inseln wohnen. Erdbeobachtung mit Satelliten leistet einen wichtigen Beitrag dazu, unser Wissen über das Ökosystem Meer und seine Wechselwirkung mit dem Klima der Erde zu erweitern. Sie ist darüber hinaus unverzichtbar für den Schutz des Lebensraums und der darin lebenden Tierarten.

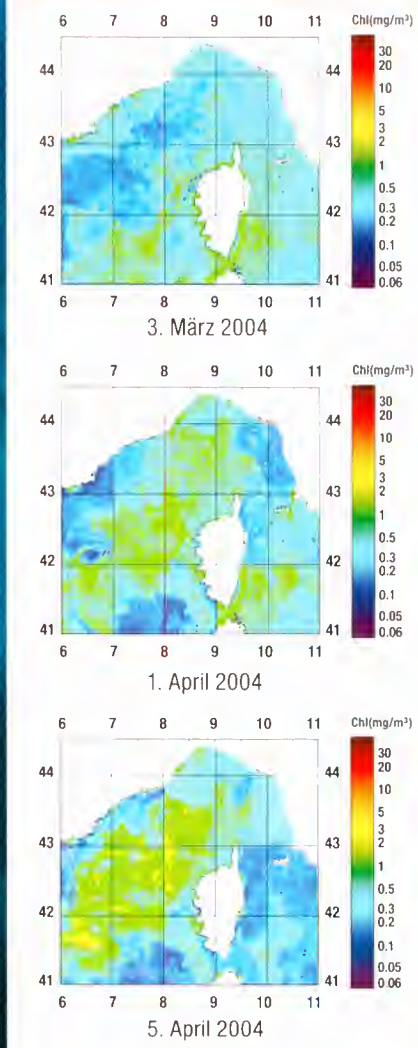
Ökosysteme sind komplexe biologische Einheiten aus verschiedenen Organismen, die eine Lebensgemeinschaft bilden (Biotop) sowie die zwischen diesen Organismen herrschenden Wechselbeziehungen (Biozönose). Wesentliches Merkmal eines Ökosystems ist die in ihm etablierte Nahrungskette, deren Grundbestandteile fast immer chlorophyllhaltige Pflanzen sind. Ökosysteme grenzen sich als relativ autonome Einheiten deutlich gegeneinander ab.

Mit 22 Metern Körperlänge und 50 Tonnen Gewicht ist der Finnwal nach dem Blauwal die zweitgrößte Tierart der Erde. Rund 4.000 Exemplare leben im westlichen Mittelmeer.



Fressen und gefressen werden

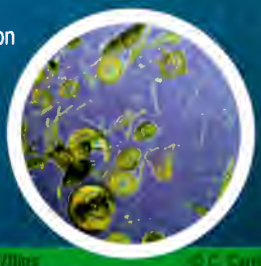
Die Nahrungskette im Meer stützt sich auf das Phytoplankton (winzige, im Meer schwebende Algen). Im Frühling vermehrt es sich aufgrund der stärkeren Sonneneinstrahlung rasch, was zu einer „Algenblüte“ führt. Ganze „Algenteppiche“ können sich im Meer über mehrere Hundert Quadratkilometer erstrecken und bieten dem Zooplankton (zum Beispiel Kleinstkrebsen) eine 300 bis 400 Mal reichhaltigere Nahrung als unter normalen Umständen. Das Zooplankton wiederum ist die Grundnahrung von Walen und Fischen. Diese „saisonal“ entstehenden Algenteppiche sind ein wichtiger Teil der Nahrungskette. Das gilt allerdings nicht für Algenteppiche, die beispielsweise wegen der Einleitung von Schadstoffen oder den Rückständen von Düngemitteln im Wasser entstehen: In zu großer Menge entziehen sie dem Wasser Sauerstoff und verdunkeln zudem das Meer. Die Folge: Viele Meerestiere, die sich eigentlich von den Algen ernähren, sterben. Das Meer „kippt“.



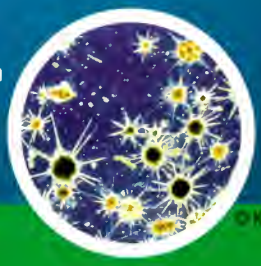
Die Entwicklung der Chlorophyll-Konzentration vor der Ligurischen Küste und um Korsika im Laufe eines Monats.

© Doc White/Hoa Qui

Zooplankton



Phytoplankton



© K. Manfred/P. Arnold/Illus

© C. Carre/Phanie/Illus

Die Farbe der Ozeane ist abhängig vom einfallenden Sonnenlicht und den im Wasser vorhandenen Substanzen und Teilchen. Üblicherweise wirkt das Meer blau. Phytoplankton setzt sich aus photosynthetisch aktiven Organismen zusammen, die das Pigment Chlorophyll enthalten. Dieses absorbiert rote und blaue Lichtwellen, reflektiert jedoch grüne. Deshalb erscheint auch das Meer an Stellen mit starkem Algenwuchs grün. Entsprechende Bilder liefert beispielsweise der Sensor MERIS (**ME**dium **R**esolution **I**maging **S**pectrometer) des Umweltsatelliten ENVISAT.

© ESA

Über 400 Kilometer lang: die Algenblüte vor der bretonischen Küste im Frühjahr, aufgenommen von ENVISAT.

Da das Plankton in seinem Wachstum sehr stark von der Meerestemperatur abhängt, verändert die Erwärmung unseres Planeten auch das Gleichgewicht des Ökosystems Meer. Bei Klimaveränderungen besteht die Gefahr, dass sich die Wachstumszyklen verschieben und entsprechend das Verhältnis zwischen „Futter" und „Fressern" aus dem Gleichgewicht gerät.

Um das Gleichgewicht zu bewahren, ist es wichtig, die Entwicklung der Biomasse (Phytoplankton und Zooplankton) im Auge zu behalten. Satelliten gelingt es, die Menge und Verbreitung von Plankton über große Gebiete hinweg zu erfassen, indem sie Chlorophyll-Konzentration und Wassertemperaturen messen. Die Auswertung der Daten lässt Rückschlüsse darauf zu, ob sich das Meer in einem „gesunden" Zustand befindet oder ob es an bestimmten Orten zu sterben droht. In diesem Fall müssen Anrainerstaaten ihre Umwelt- oder Landwirtschaftspolitik korrigieren, um eine noch stärkere Verschmutzung zu verhindern.

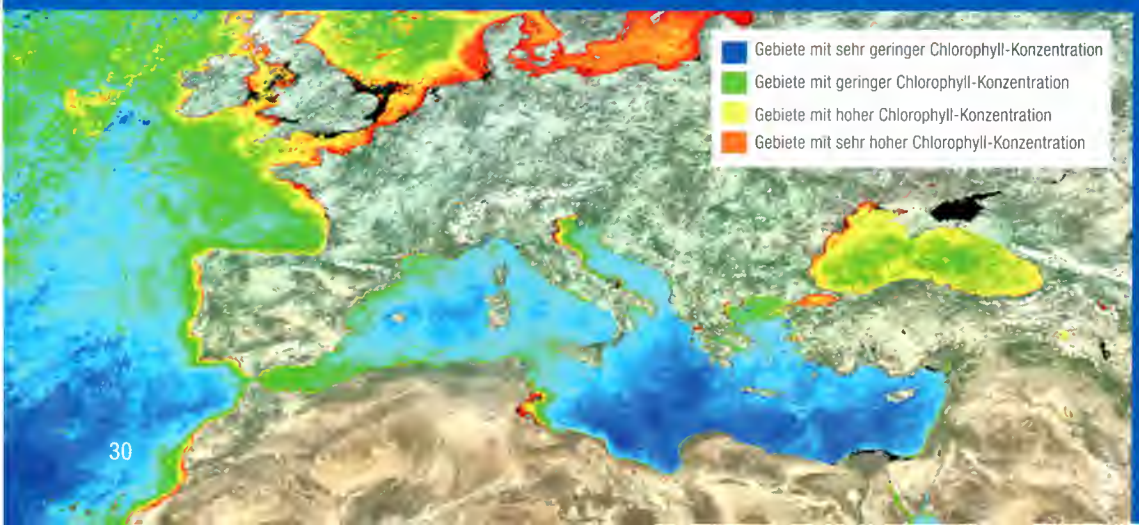
Es wird warm!

Schon heute führt die Erderwärmung zu starken Veränderungen in den Meeren. Auch wenn sich seit 1955 die Oberflächentemperatur nur um 0,6 Grad Celsius erhöht hat, sind die Folgen gravierend: Fische und Meeressäuger wandern in Richtung Pole ab. Die Wasserqualität sinkt, denn die Ozeane nehmen verstärkt Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf und „versauern" dadurch. Darauf wiederum reagieren beispielsweise tropische Korallenriffe sehr sensibel, die zugleich Lebensraum für viele Kleinstlebewesen als auch ein wichtiger natürlicher „Küstenschutz" sind, da sie an vielen Stellen wie Wellenbrecher fungieren.

Die steigenden Temperaturen verursachen auch das langsame Abschmelzen der Polkappen und der riesigen Gletscherfelder Grönlands. Wird dieser Prozess nicht aufgehalten, droht der Meeresspiegel langfristig so sehr zu steigen, dass Tausende von Inseln oder auch niedrig gelegene Küstenregionen – einige von ihnen dicht besiedelt – unterzugehen drohen.

Durch die großen Meeresströmungen sind die Ozeane selbst ein starker, das Klima in vielen Weltregionen bestimmender Faktor. So macht beispielsweise der Golfstrom das Leben in unseren Breiten überhaupt erst erträglich: Ohne ihn wäre es bei uns deutlich kälter.

Auch bei der Messung der Meerestemperaturen sind Satelliten unverzichtbar. Dabei ist die Genauigkeit, mit der sie arbeiten, äußerst beeindruckend: Ihre Sensoren messen die Temperatur der Meeresoberfläche auf Bruchteile eines Grads genau – und das aus vielen Hundert Kilometern Entfernung.



Oberflächentemperaturen und Chlorophyll-Konzentrationen in Mittelmeer, Atlantik und Nordsee

Umweltsündern auf der Spur

Eine große Bedrohung für das Ökosystem Weltmeere ist leider auch ganz unmittelbar der Mensch: Aufgrund des steigenden Welthandels sind immer mehr große Frachtschiffe auf den Meeren unterwegs, die Verkehrsdichte nimmt zu und damit auch das Unfallrisiko. Tankerhavarien beispielsweise können Hunderte Küstenkilometer als Lebensraum zerstören. In solchen Fällen kann man mit Satelliten die Entwicklung und Bewegungsrichtung eines Ölteppichs beobachten und dessen Eindämmung unterstützen.

Auch im Fall illegaler Verklappung von Abfällen oder Schadstoffen auf hoher See dürfen Umweltsünder nicht mehr darauf hoffen, unbeobachtet zu bleiben: Satelliten behalten sie im Auge, zum Beispiel ENVISAT mit seinem Sensor ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar).

© ESA

Die Aufnahme zeigt einen riesigen Ölteppich, der im Jahr 2002 durch ein Tankerunglück vor der spanischen Küste verursacht wurde. Das ausgeflossene Öl dämpft die Wellen, wodurch die Meeresoberfläche an diesen Stellen geglättet wird, Satellitensensoren geben diese Flächen als dunkle Bildpunkte wieder.

Strömungen in den Ozeanen sind ein Faktor, der weltweit das Klima beeinflusst: Sie transportieren erwärmtes Wasser aus den äquatorialen Breiten in die kalten, nördlichen Regionen; kaltes Wasser fließt von dort als Tiefenströmung in Richtung Äquator.

8 – Katastrophen-Prävention und -Management

© NASA

Katrina trifft 2005 bei New Orleans das Festland der USA.

Leben retten mit Satelliten

Bilder, die um die Welt gingen: der Tsunami im Indischen Ozean 2004, der Hurrikan Katrina, der 2005 New Orleans verwüstet, die großen Erdbeben in China und in der Türkei 2009. Naturkatastrophen fordern Jahr für Jahr Tausende von Menschenleben. Auch ihre wirtschaftlichen Folgen sind beträchtlich: Die Kosten für Nothilfe und Wiederaufbau gehen oft in die Milliarden. Zugleich ist vielen Menschen durch die Zerstörung jede Möglichkeit genommen, mittelfristig ihren Lebensunterhalt zu erzielen.

Zudem verstärkt der Klimawandel offenbar die Effekte und Häufigkeit einiger Naturkatastrophen. Erdbeben und Tsunamis gehören nicht dazu. Doch es wird beispielsweise befürchtet, dass Hurrikans, die sich erst ab einer Meerestemperatur von über 25 Grad Celsius bilden, in Zukunft immer öfter und stärker auftreten werden. Allen Prognosen zufolge könnten extreme Wetterereignisse wie Starkregen und Überflutungen aber auch bei uns in Europa weiter zunehmen.

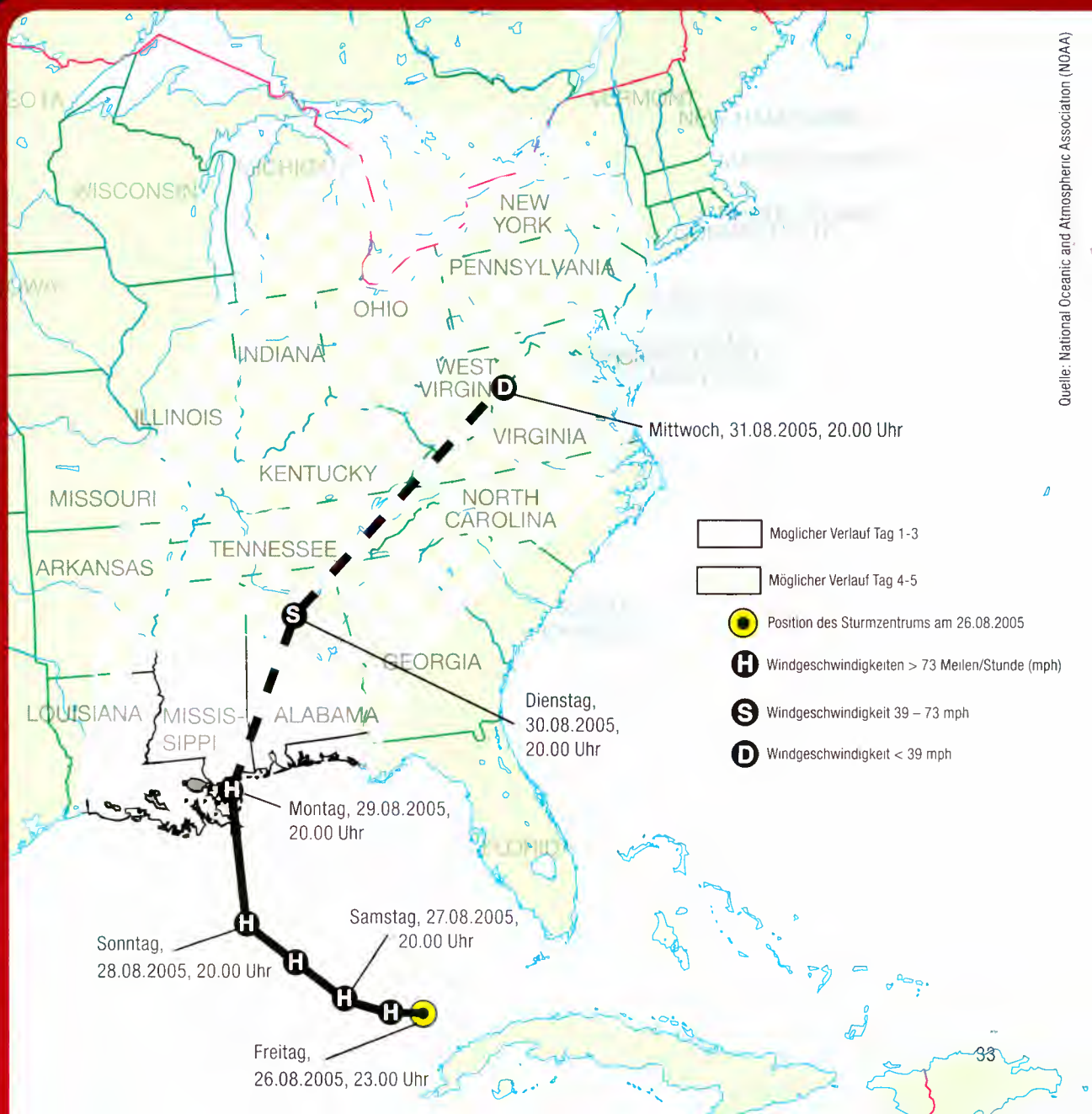
Satelliten können Naturkatastrophen nicht verhindern – höchstens, indem die von ihnen erhobenen Daten dazu beitragen, den Klimawandel wirksam zu bekämpfen. Sie leisten aber einen wichtigen Beitrag dazu, die Folgen von Katastrophen zu minimieren und Rettungsmaßnahmen wirkungsvoll zu unterstützen. Und in vielen Fällen können Satelliten vor Unwettern warnen, sodass die Bevölkerung evakuiert werden kann. Das nennt man Prävention.

Hurrikans

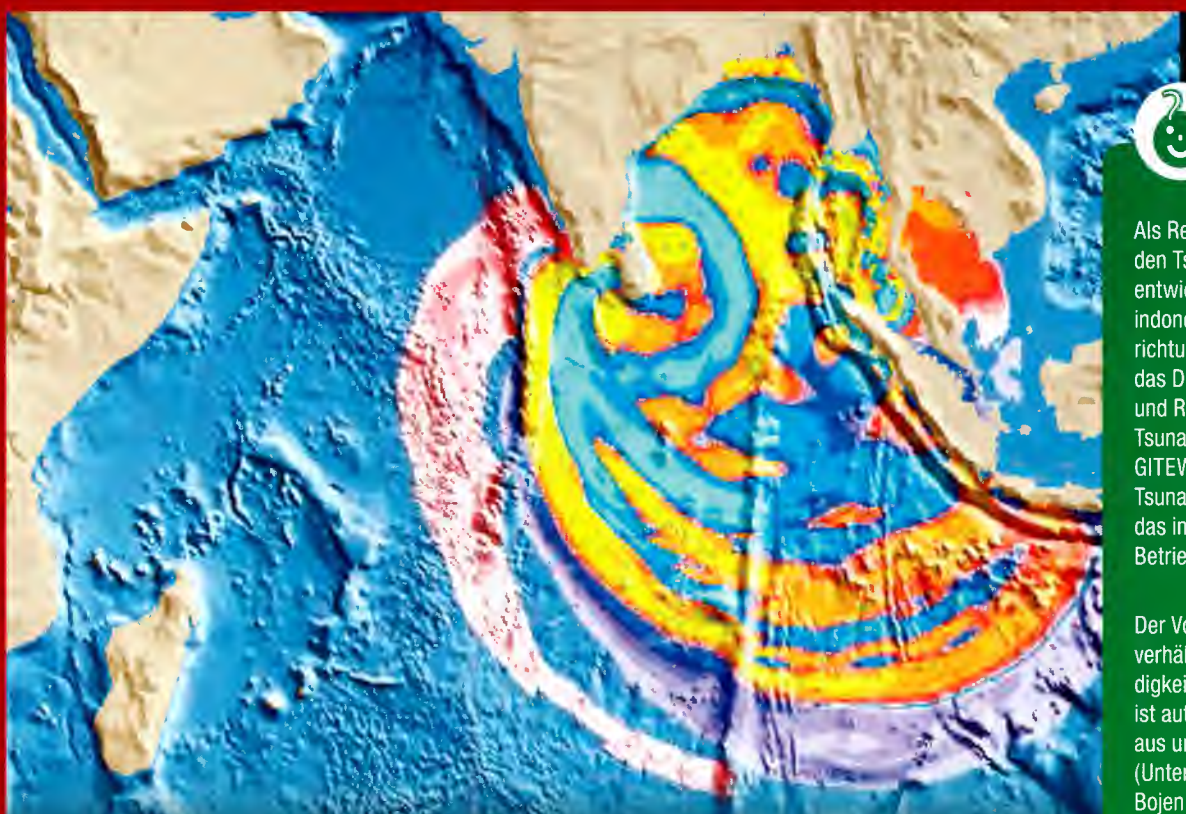
Wirbelstürme: Im Atlantik werden sie Hurrikans genannt, im Pazifik heißen sie Taifune. Der Golf von Mexiko gilt besonders in den Sommermonaten als eine regelrechte Brutstätte für Hurrikans. Sie bilden sich dort über dem Meer und ziehen dann meist in Richtung Festland. Zwar verlieren viele oft schon auf dem Weg deutlich an Kraft oder verflüchtigen sich gänzlich. Jahr für Jahr aber treffen einige Hurrikans mit erheblicher Wucht auf die Küsten von Texas, Louisiana oder Florida. Dort entfalten sie eine doppelte Zerstörungsgewalt: Vom Meer kommend, treiben sie hohe Flutwellen vor sich her, die das Land überschwemmen. Starker Wind und Regen sorgen darüber hinaus für Verwüstung bis weit ins Landesinnere.

Die Bilder von Wettersatelliten – in Verbindung mit anderen Wetterdaten – ermöglichen es, den voraussichtlichen Verlauf von Hurrikans zu berechnen. So können bereits im Vorfeld besonders gefährdete Landstriche identifiziert und Evakuationsmaßnahmen frühzeitig eingeleitet werden.

Die Grafik unten zeigt eine solche Verlaufskarte. Sie wurde erstellt, als sich im August 2005 der Hurrikan „Katrina" dem Festland der Vereinigten Staaten näherte.



Quelle: National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA)



Auf Basis von Satellitendaten können Höhenprofile der Meeresoberfläche erstellt werden, die die Ausbreitung der Flutwellen veranschaulichen. Hier zum Beispiel drei Stunden und 15 Minuten nach dem Beben vor der Küste Indonesiens im Dezember 2004.

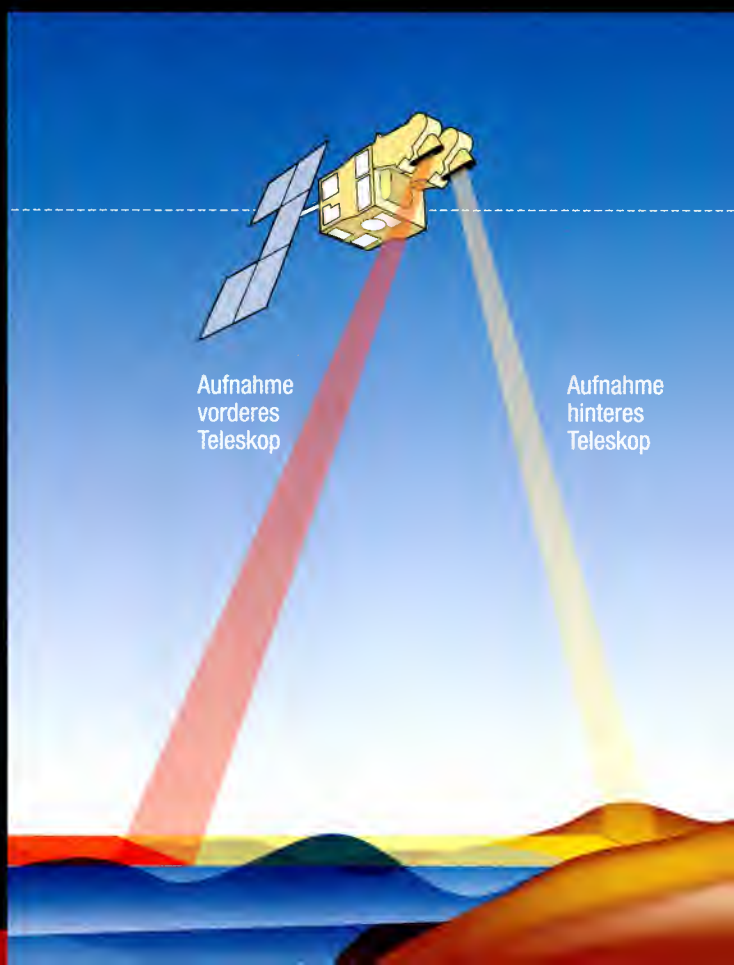
See- und Erdbeben, Vulkanismus

Der Tsunami, der im Dezember 2004 in den Anrainerstaaten des Indischen Ozeans weit über 200.000 Todesopfer forderte, wurde durch ein Seebeben verursacht. Bei diesen Erdbeben am Meeresgrund erzeugen die Erschütterungen eine sich rund um das Epizentrum ausbreitende Flutwelle. Auf dem offenen Meer ist eine solche Welle nur als geringe Hebung der Meeresoberfläche wahrzunehmen, die sich allerdings mit enormer Geschwindigkeit – schnell wie ein Flugzeug – fortbewegt. In unmittelbarer Küstennähe türmen sich die Wassermassen dann jedoch zu regelrechten „Wasserwänden" auf, die schließlich über dem Land zusammenschlagen und Menschen und Gebäude mit sich fortreißen.

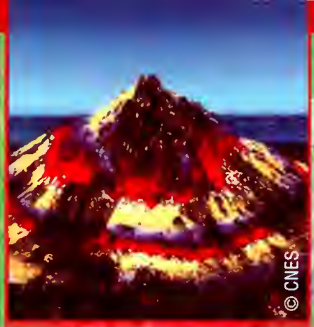
Satelliten sind bereits im akuten Fall von Tsunami-Katastrophen im Einsatz, um Menschenleben zu retten: Sie übertragen die von Bojen oder Sonden an der Meeresoberfläche oder am Meeresgrund gemessenen Daten in Windeseile an die Einsatzzentrale. Dort werden dank intelligenter Software in Sekundenschnelle sogenannte „Vulnerabilitätskarten" erstellt: Sie zeigen, welche Küstengebiete bedroht sind. So kann die Bevölkerung rechtzeitig gewarnt werden. Dabei geht es oft um Minuten.

Als Reaktion auf den verheerenden Tsunami im Jahr 2004 entwickelten deutsche und indonesische Forschungseinrichtungen – darunter auch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – das Tsunami-Frühwarnsystem GITEWS (German-Indonesian Tsunami Early Warning System), das im November 2008 seinen Betrieb aufnahm.

Der Vorteil von GITEWS ist seine verhältnismäßig hohe Geschwindigkeit: Die Gefahren-Erkennung ist automatisiert und speist sich aus unterschiedlichen Quellen (Unterwasser-Messstationen, Bojen, GPS- und Erdbeobachtungsdaten). Im Ernstfall werden die Daten dank einer Spezial-Software „blitzschnell" mit einer Datenbank abgeglichen, die bereits viele Tsunami-Szenarien gespeichert hat. Das spart kostbare Zeit: Die Einsatzzentrale kann dann sofort Alarm auslösen. Tempo ist bei Seebeben besonders wichtig, weil deren Epizentren oft in Küstennähe liegen.



Um das Höhenprofil der Erd- oder Meeresoberfläche mit einer Genauigkeit von nur zwei Metern abzubilden, müssen Satelliten den Untergrund aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln aufzeichnen – etwa durch zwei Sensoren, von denen einer vorwärts- und der andere rückwärtsgerichtet ist. Aus der Synthese beider Bilder erstellen beispielsweise die SPOT-Satelliten des französischen Unternehmens „Spotimage" Relief-Bilder. Mit ihnen können u. a. Bedrohungsszenarien für potenzielle Überschwemmungsgebiete erstellt werden.

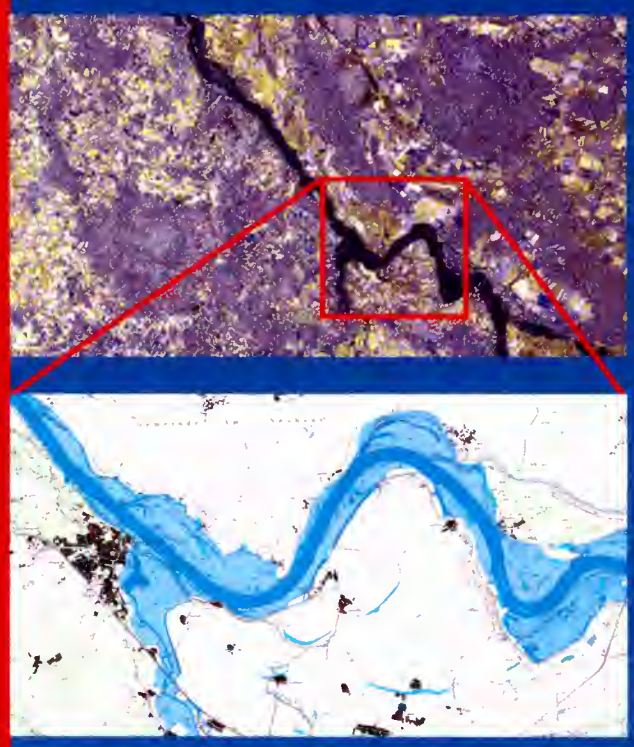


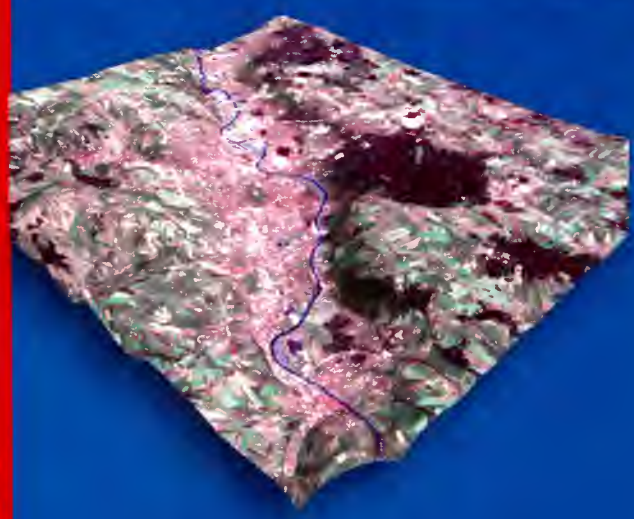
Die konzentrischen Farbringe um den Vulkan repräsentieren die relative Veränderung der Höhe zwischen zwei Radarsatellitenaufnahmen (mind. 35 Tage). Die phasenartige Wiederholung der Farben zeigt mindestens zwei, aber praktisch drei Zyklen. Jeder Zyklus entspricht einer Änderung der Oberflächenhöhe von 2,8 Zentimetern. Der Vulkan hat sich somit insgesamt um circa 8,4 Zentimetern angehoben.

Höhenmessungen durch Satelliten erleichtern auch die Vorsorge im Fall von Vulkanausbrüchen. Denn oft kündigen sie sich durch eine zunehmende Aktivität im Vulkan an: Der steigende Druck aus dem Erdinneren hebt dessen Oberfläche – wenn auch nur um wenige Zentimeter – an. Genug, um von Satelliten erkannt zu werden. Kommt es schließlich zum Ausbruch, liefern Satelliten stets aktuelle Informationen über den Zug der oft enormen Aschewolken.

Im Juli 2001 bricht der Ätna auf Sizilien aus: Das Satellitenbild zeigt deutlich den Fluss der Lava sowie die große Rauchwolke. Die hohe Fruchtbarkeit der Vulkanerde verdeutlicht die überaus üppige Vegetation um den Ätna.

© Cnes 2001 - Distribution Spot Image



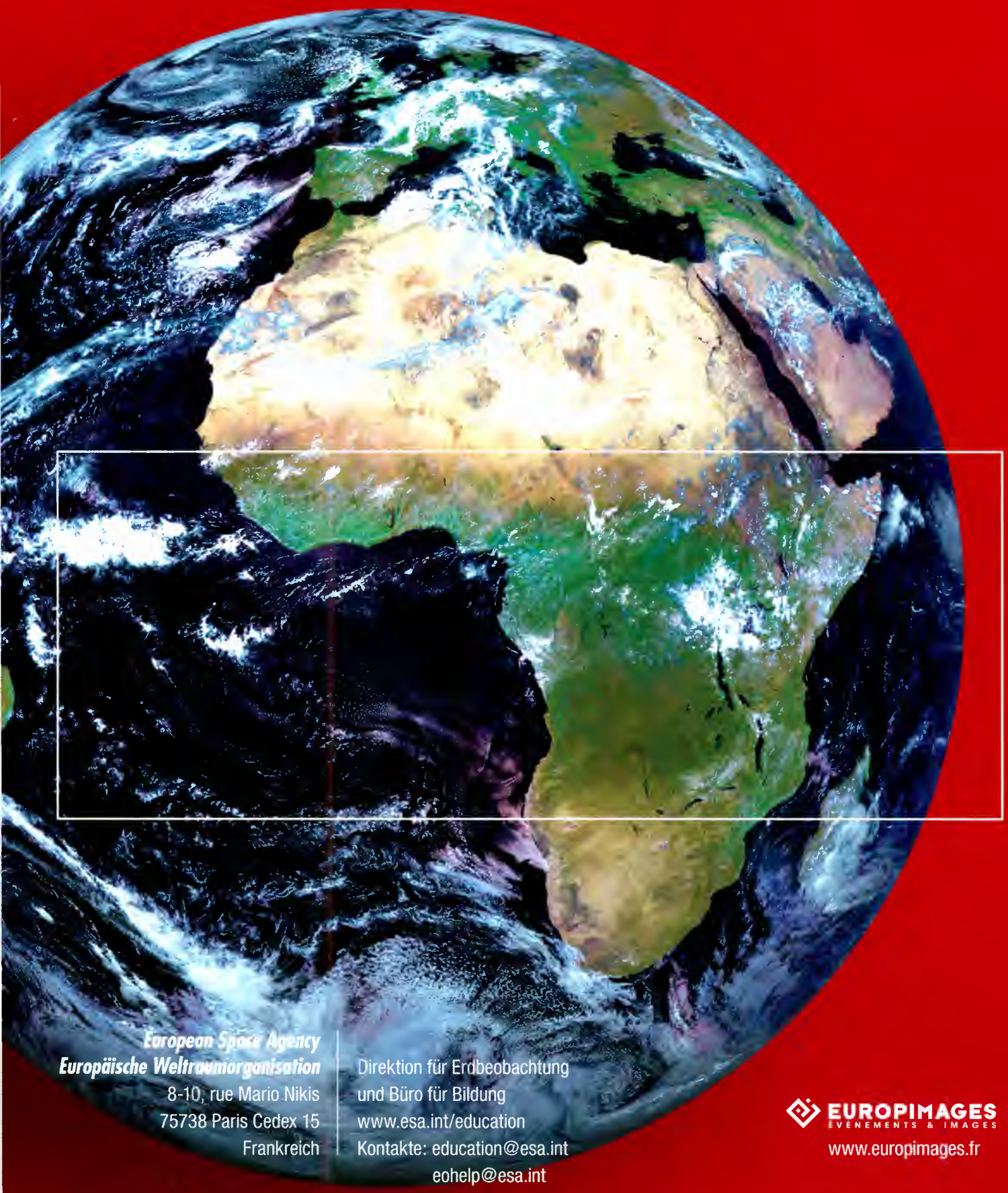


Hochwasser

Wenn Wasser durch Bodenversiegelung oder Austrocknung des Bodens nicht schnell genug versickern kann, schwellen Bäche und Flüsse bei länger anhaltendem Regen bedrohlich an. Dort, wo sie durch Begradigung oder starke Eindämmung schneller fließen, kommt es dann – meist in den Wintermonaten – zu Überschwemmungen. In Deutschland bleibt die „Jahrhundertflut" an der Oder im Jahr 2002 in Erinnerung.

Durch den Vergleich von Satellitenaufnahmen der betroffenen Gebiete im „Normalzustand" mit Bildern, die während einer Überschwemmung aufgenommen werden, lassen sich besonders gefährdete Flächen sehr genau definieren. Dabei werden die Bilder, die vor und während der Überflutung aufgenommen wurden, überlagert: Die Flächen, die sich gegenüber dem „Normalzustand" verändert haben, also die überfluteten Gebiete, treten dann – mittels Bildverarbeitung – besonders deutlich hervor. So kann man erkennen, wo künftig Dämme und Deiche gebaut werden müssen, um die nächste Flut zu verhindern oder aber, wo sogenannte „Retentionsräume" anzulegen sind: Wiesen und Felder, die überflutet werden sollen, um die Situation an anderen Orten, an denen hoher Schaden droht, zu „entspannen".

Das Satellitenbild zeigt einen Abschnitt der Elbe während einer Flut im Jahr 2006. Die Karte unten wurde auf Basis des Radarbilds erstellt und zeigt die überfluteten Gebiete in Hellblau, während der „normale" Flusslauf dunkelblau erscheint. Da hier Informationen aus zwei verschiedenen Zeitpunkten – vor und während der Flut – verarbeitet wurden, sprechen Fachleute von einem „multitemporalen" Verfahren.



European Space Agency
Europäische Weltraumorganisation
8-10, rue Mario Nikis
75738 Paris Cedex 15
Frankreich

Direktion für Erdbeobachtung
und Büro für Bildung
www.esa.int/education
Kontakte: education@esa.int
eohelp@esa.int

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Linder Höhe
51147 Köln
Deutschland

Vorstandsbeauftragter für
Nachwuchsförderung
www.DLR.de > Nachwuchs
Kontakt: nachwuchsfoerderung@dlr.de

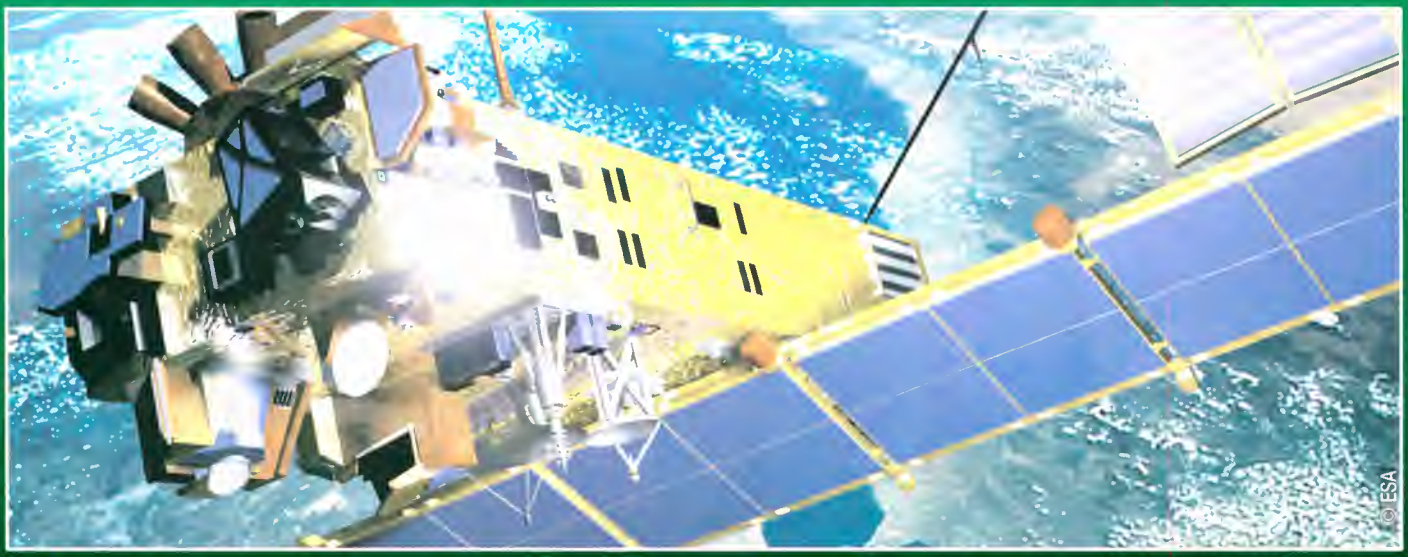
EUROPIMAGES
ÉVÉNEMENTS & IMAGES
www.europimages.fr

CD
CD WERBEAGENTUR GMBH
www.cdonline.de

DLR

esa

→ Erdbeobachtung und Fernerkundung
Begleitmaterial



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.

European Space Agency
Europäische Weltraumorganisation

Die Europäische Weltraumorganisation

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) ist eine internationale Organisation mit der Aufgabe, das europäische Weltraumprogramm zu konzipieren und umzusetzen.

Die ESA entwickelt Raumfahrzeugträger, Satelliten und Bodenanlagen, um sicherzustellen, dass Europa bei Raumfahrtvorhaben weltweit weiterhin an der Spitze bleibt. Sie startet Erdbeobachtungs-, Navigations-, Telekommunikations- und Astronomiesatelliten, schickt Raumsonden in entlegene Regionen des Sonnensystems und beteiligt sich an der bemannten Exploration des Weltraums.

Die 18 Mitgliedsstaaten der ESA sind: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Irland, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, die Schweiz, Spanien und die Tschechische Republik. An bestimmten Projekten arbeitet im Rahmen entsprechender Kooperationsverträge auch Kanada mit. Estland, Polen, Rumänien und Ungarn sind Europäische Kooperierende Staaten (ECS). Zudem pflegt die ESA enge Beziehungen zur Europäischen Union, mit der sie eine gemeinsame Europäische Raumfahrtpolitik verfolgt.

Heute beschäftigt die ESA über 2.000 ständige Mitarbeiter aus allen Mitgliedstaaten.

Die ESA hat ihren Hauptsitz in Paris. Darüber hinaus hat sie jedoch in ganz Europa weitere Zentren mit jeweils verschiedenen Aufgabenbereichen: das Europäische Weltraumforschungs- und -technologiezentrum ESTEC (European Space Research and Technology Centre) in den Niederlanden; das Europäische Raumfahrtforschungsinstitut ESRIN (European Space Research Institute) in Frascati in Italien; das Europäische Raumflugkontrollzentrum ESOC (European Space Operations Centre) in Darmstadt in Deutschland; das Europäische Astronautenzentrum EAC (European Astronaut Centre) in Köln in Deutschland und das Europäische Weltraum-Astronomiezentrum ESAC (European Space Astronomy Centre) in Villafranca del Castillo in Spanien. Der europäische Raumflughafen CSG (Guiana Space Centre) befindet sich in Kourou in Französisch-Guayana.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung zu innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandorts Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.

Für die Inhalte der in dieser Broschüre aufgeführten Internetseiten ist stets der jeweilige Anbieter oder Betreiber verantwortlich.

Kapitel 1: Erdbeobachtung

Kapitel 1 bildet gemeinsam mit Kapitel 2 (Satellitentechnik) die Grundlage zum Verständnis der weiteren Kapitel. Sie vermitteln einen Überblick über unterschiedliche Anwendungsgebiete satellitengestützter Erdbeobachtung sowie über die technische Funktionsweise von Satelliten und die damit verbundenen Möglichkeiten der Erdbeobachtung. Entsprechende Detailinformationen werden bei Bedarf in den Folgekapiteln ergänzt. Grundsätzlich finden Sie wichtige Schulinformationen der ESA zum Thema Fernerkundung unter
www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_DE/index.html

Der Aufbau von Kapitel 1 im Überblick:

1) Wir alle nutzen Satelliten häufiger, als wir glauben
2) Wie leistungsfähig sind Satelliten?
3) Wichtige Beispiele für die Nutzung von Erdbeobachtungssatelliten

zu 1 – Satelliten sind „All"-gegenwärtig

Hunderte Satelliten umkreisen unsere Erde. Von ihren Diensten profitieren wir alle im täglichen Leben. Dabei erfüllen Satelliten ganz unterschiedliche Aufgaben: Kommunikations- und Nachrichtensatelliten übertragen Daten von einem Ort zum anderen. Ohne sie wäre moderne Telekommunikation ebenso undenkbar wie ein flächendeckendes Internet oder Live-Übertragungen im Fernsehen. Navigationssatelliten erleichtern es uns, den Weg zum Ziel zu finden – im Straßenverkehr wie auch in der Luftfahrt und auf See. Militärische Satelliten dienen vor allem der Beschaffung von Information, die zur Entscheidungsfindung in der nationalen Sicherheitspolitik unerlässlich sind.

Der Nutzen von Erdbeobachtungssatelliten ist für die gesamte Weltbevölkerung von großer Wichtigkeit. Diese vielfältigen Anwendungen behandelt die vorliegende Schulinformation. Kapitel 1 geht beispielhaft auf die Themen ein, die in den Folgekapiteln ausführlich behandelt werden: Klimaforschung, Umweltbeobachtung, Katastrophen-Prävention und Landwirtschaft.

Mehr zum Thema:
Schulinformationsseite der europäischen Raumfahrtagentur ESA:
www.esa.int/eduspace

Berechnung und Prognose der Sichtbarkeit von Satelliten:
www.heavens-above.com

Weiterführende Aktivität:
Schüler erstellen eine Liste, in welchen Bereichen des täglichen Lebens und wie häufig sie – direkt oder indirekt – die Dienste von Satelliten nutzen. Referate könnten auch im Sinne eines kleinen „Gedanken-Experiments" darstellen, wie ein Tag ohne Raumfahrt aussehen würde: kein Satellitenfernsehen, kein Wetterbild aus dem All, keine Navigation – mit den Konsequenzen z. B. für Luftverkehr und andere Abläufe auf der Erde.

zu 2 – Leistungsfähigkeit von Satelliten

In der Beobachtung der Erde vereinen Satelliten zwei wesentliche Vorteile: Dank ihrer Position weit über der Erdoberfläche können sie überaus große Gebiete „im Auge" behalten. Dieser globale Blick wird ergänzt durch regionale und sogar lokale Untersuchungen: Ihre Sensoren und Kameras erlauben spektakuläre Vergrößerungen einzelner Ausschnitte der von ihnen beobachteten Fläche. Maximale Auflösungen, also die „Größe" einzelner wiedergegebener Bildpunkte, erreichen bereits wenige Zentimeter.

An dieser Stelle ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass die eigentliche „Qualität" der von Satelliten übermittelten Daten – neben der Güte der eingesetzten Sensoren – stets auch von der Bildverarbeitung und -interpretation abhängt. Die Daten müssen oft mit weiteren Informationen kombiniert werden, die entweder am Boden oder von anderen Satelliten gewonnen wurden: Erfahrungswerte, Statistiken, Validationen oder ergänzende Bilddaten. Erst so entstehen mit Hilfe von Satelliten wirklich neue Informationen und Erkenntnisse.

Mehr zum Thema:
Webseite des deutschen Wetterdiensts mit Informationen über Leistungen rund um die Meteorologie: www.dwd.de

Homepage des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums:
www.dlr.de/caf/desktopdefault.aspx

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren, welche Informationen dem täglichen Wetterbericht zugrunde liegen, welchen Quellen sie entstammen und wie sie gewonnen wurden. Dabei ist zu beachten, dass in den Wetterbericht sowohl „historische" als auch „prognostische", also vorausschauende Informationen einfließen. Letztere können nicht von Satelliten kommen – woher aber stammen sie?

zu 3 – Nutzungsbeispiele von Erdbeobachtungssatelliten

Die Veränderung des Klimas und die damit verbundenen Konsequenzen für das Leben auf der Erde sind auch für junge Menschen wichtige Themen. Einige von ihnen engagieren sich in Umweltverbänden, die meisten haben zumindest eine Meinung zum Thema Umwelt und dazu, welche politischen Konsequenzen zu ergreifen sind.

Ein bedeutender „Input" für diesen Meinungsbildungsprozess stammt häufig von Satelliten – wie auch viele einprägsame und symbolträchtige Bilder, die den globalen Erwärmungsprozess oder die Verschmutzung des Planeten Erde darstellen: das wachsende Ozonloch, die schrumpfende Eisdecke der Polkappen oder Spuren von Müll- oder Öl-Verklappung auf den Ozeanen. Zugleich hilft die Erdbeobachtung durch Satelliten, Auswege und Lösungen für die durch den Klimawandel mit verursachten Probleme zu finden.

Erdbeobachtungssatelliten sind daher eine objektive „Referenz" in der Debatte um jene Probleme, mit denen sich die Weltbevölkerung noch bis in weite Zukunft wird beschäftigen müssen. Sie sind die Werkzeuge, die es erlauben, sich eine wirklich fundierte Meinung zu bilden.

Mehr zum Thema:
Themenportal Erdbeobachtung der ESA:
www.esa.int/esaEO/index.html

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren selbstständig Bildinformationen (Satellitenbilder) zu den Themen bzw. Auswirkungen des Klimawandels, die ihnen am bedeutendsten erscheinen.

Kapitel 2: Eine Frage der Technik

Kapitel 2 beschreibt wesentliche technische Unterscheidungsmerkmale, nach denen sich Erdbeobachtungssatelliten kategorisieren lassen: einerseits deren Orbit, andererseits die technische Ausstattung, die unterschiedliche Beobachtungsmöglichkeiten bietet.

Der Aufbau von Kapitel 2 im Überblick:

1) Unterscheidung von polarer und geostationärer Umlaufbahn
2) Der Satellit ENVISAT als Musterbeispiel für die weitere Betrachtung
3) Drei wesentliche bildgebende Verfahren

zu 1 – Polare und geostationäre Umlaufbahn

Vielleicht haben einige Schüler sogar schon Erfahrungen mit dem Empfang von Satellitendaten gesammelt: dann nämlich, wenn sie zu Hause versucht haben, die Fernseh-Satellitenschüssel auszurichten. Das gängige Satellitensystem für die Übertragung von Fernsehdaten ist bei uns ASTRA. ASTRA-Satelliten haben – wie alle geostationären Satelliten – festgelegte Positionen (in Ausrichtung und Grad z. B. 28,2° Ost). Auch die von Fernsehanstalten bei Live-Events genutzten Übertragungsfahrzeuge müssen ihre „Schüsseln" jeweils auf die geostationären Satelliten ausrichten, auf denen die Sender Übertragungskapazitäten angemietet haben. Ohne Satelliten gäbe es sonst keine Live-Bilder z. B. von großen Sportereignissen wie einer Fußball-Weltmeisterschaft.

In der Fernerkundung der Erde werden geostationäre Satelliten, die sich mit der Erdrotation im gleichen Tempo bewegen und daher immer dieselbe Region im Blick haben, vor allem zur Wetterbeobachtung eingesetzt. Denn schließlich soll ein europäischer Wettersatellit nicht plötzlich das Wetter von Australien zeigen.

Polare Satelliten dagegen überfliegen die Erde auf einer niedrigeren Umlaufbahn. Unter ihnen dreht sich die Erde, sodass die Satellitenbahn bei jeder Umkreisung einen anderen Landstrich überfliegt. Aus den Einzelbildern dieser Überflüge lässt sich dann eine komplette Abbildung der Erdoberfläche zusammensetzen.

Mehr zum Thema:
Liste und Position geostationärer Satelliten:
de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_geostation%C3%A4ren_Satelliten

Weiterführende Aktivität:
Wie kommt das Bild von der Fußball-Weltmeisterschaft zu uns nach Hause? Um dies zu leisten, müssen TV-Satelliten geostationär positioniert sein. Schüler veranschaulichen sich dies mit Zeichnungen, Modellen und Berechnungen. Darüber hinaus überlegen sie, warum Wettersatelliten ebenfalls geostationär positioniert sein sollten. Dazu recherchieren sie Bilder von polaren und geostationären Satelliten und vergleichen diese.

zu 2 – ENVISAT

Um verschiedene bildgebende Verfahren zu beschreiben, konzentrieren wir uns auf den europäischen Umweltsatelliten ENVISAT. Er wurde 2002 als Nachfolger der Erdbeobachtungssatelliten ERS-1 und ERS-2 in Betrieb genommen und ist aus verschiedenen Gründen ein besonderer Satellit: Mit acht Tonnen Gewicht und bis zu zehn Meter Länge (inklusive Sonnensegel sogar bis zu 26 Meter) ist er außergewöhnlich groß und schwer. Das liegt daran, dass ENVISAT insgesamt zehn Instrumente besitzt, um unterschiedlichste Aufgaben erfüllen zu können: Seine Instrumente ermöglichen Messungen mit Radar-, Mikrowelle, Radiometrie, Spektrometrie und Laser.

In dieser Fülle liegen viele Chancen, jedoch auch nicht unerhebliche Risiken. Zunächst ist das hohe Gewicht ein Kostenfaktor beim Start. Außerdem ist das Verlustrisiko im Fall eines missglückten Starts sehr hoch. Nicht nur deshalb bleibt ENVISAT mit der Vielfalt seiner Möglichkeiten eine Ausnahme unter den Satelliten. Heutzutage sind vor allem kleinere Satelliten mit einem höheren Grad an Spezialisierung gefragt. Entsprechende Missionen lassen sich zudem auch kostengünstiger und schneller realisieren.

Alle Systeme sind redundant, also doppelt angelegt. So kann einerseits ein Systemausfall kompensiert werden, andererseits können die Messungen gegenseitig verglichen und somit verifiziert werden.

Mehr zum Thema:
Informationsbroschüren zu ENVISAT (als PDF): DLR-Dokument (deutsch):
www.dlr.de/rd/Portaldata/28/Resources/dokumente/RE/Broschuere_Envisat_hires.pdf

ESA-Dokument: esamultimedia.esa.int/docs/Envisat_Brochure_Ger.pdf

ENVISAT-Homepage: envisat.esa.int

Weiterführende Aktivität:
Schüler erstellen eine Bildergalerie mit ENVISAT-Bildern und präsentieren diese in einem Powerpoint-Vortrag.
(Bildquelle: http://miravi.eo.esa.int/en/)

zu 3 – Bildgebende Verfahren an Bord von ENVISAT

Neben den drei in den Schülermaterialien erläuterten Instrumenten führt ENVISAT noch folgende weitere Instrumente mit sich:

RA-2 (**Ra**dar) sendet Signale in Richtung Erde und misst die Dauer bis zum Empfang des reflektierten Signals. Durch Abgleich mit der eigenen Flughöhe kann ein Höhenprofil der überflogenen Fläche erstellt werden.

MWR (**M**ikrowellen-**R**adiometer) misst die Feuchtigkeit der Erdatmosphäre und ist wichtig, um die Daten des RA-Bands zu verifizieren, dessen Messergebnisse stark von Feuchtigkeitsschwankungen abhängig sind.

AATSR (**A**dvanced **A**long-**T**rack **S**canning **R**adiometer) erfasst die Oberflächentemperatur des Meers bis auf 0,3° genau. Über Land können die Messdaten zur Interpretation der Vegetation genutzt werden.

LRR (**L**aser **R**etro **R**eflector) reflektiert ein von der Bodenstation ausgestrahltes Signal, aus dem sich die Flughöhe von ENVISAT errechnen lässt.

DORIS (**D**oppler **O**rbitography and **R**adio-Positioning **I**ntegrated by **S**atellite) erhebt Messdaten zur Bahnbestimmung.

GOMOS (**G**lobal **O**zone **M**onitoring by **O**ccultation of **S**tars) untersucht die Zusammensetzung der Atmosphäre und arbeitet mit Hilfe „klaren" Sternenlichts als Referenz. GOMOS kommt vor allem bei der Beobachtung von Ozon, Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden zum Einsatz.

MIPAS (**M**ichelson **I**nterferometer for **P**assive **A**tmospheric **S**ounding) ist als Spektrometer im Gegensatz zu MERIS ausschließlich zur Analyse der Atmosphäre im Einsatz und arbeitet im infraroten Wellenlängenbereich.

Mehr zum Thema:
Liste von Erdbeobachtungssatelliten:
de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Erdbeobachtungssatelliten
Lexikon zur Fernerkundung: www.fe-lexikon.info/FeLexikon.htm
Group on Earth Observation: www.earthobservations.org

Kapitel 3: Das Wetter

Neben der Bedeutung der Erdbeobachtung für Wetter- und Klimaforschung sollen die Kapitel 3 (Das Wetter) und 4 (Das Klima) den grundlegenden Unterschied zwischen Wetter und Klima erklären. Auch in der aktuellen Diskussion über den Klimawandel werden beide Begriffe oft missverständlich oder synonym verwendet.

Der Aufbau von Kapitel 3 im Überblick:

1) Abgrenzung von Wetter zu Klima und Bedeutung von Wetterbeobachtung
2) Das europäische System zur Wetterbeobachtung
3) Was sehen und wie messen Wettersatelliten?

zu 1 – Wetter und Klima sowie die Bedeutung von Wetterbeobachtung

Der Klimawandel führt zu einer immer stärkeren Häufung extremer Wetterereignisse mit unterschiedlichen regionalen Ausprägungen. Viele Küstenregionen werden immer häufiger von Stürmen heimgesucht, die mit starken Regenfällen verbunden sind. Hurrikans und Zyklone sind besondere Ausprägungen dieser Phänomene. Andere Regionen leiden unter immer länger anhaltenden Hitze- und Dürreperioden. Die möglichst präzise Vorhersage des Wetters wird für die Menschen in den betroffenen Regionen immer wichtiger. Zum einen, damit sie frühzeitig vor einem aufziehenden Unwetter gewarnt werden können. Zum anderen aber auch, um mit den gesammelten Daten langfristige Klimatrends validieren und verifizieren zu können.

Mehr zum Thema:
Homepage des Deutschen Wetterdiensts: www.dwd.de

Aktuelle und historische Wetterdaten: www.wetterzentrale.de

Lehrmaterial Wetter der ESA für die gymnasiale Unter- und Mittelstufe: http://esamultimedia.esa.int/docs/edumsg_de_00.pdf

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren spezialisierte Wetterdienste und vergleichen deren Angebot mit den Inhalten konventioneller Wettervorhersagen aus den Tagesmedien.

zu 2 – Das europäische System zur Wetterbeobachtung

Wetterbeobachtung ist eine Aufgabe von allgemeinem gesellschaftlichen Interesse. Sie obliegt deshalb überall auf der Welt staatlichen Institutionen. In und für Europa betreibt die European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) verschiedene Satelliten, wertet die von ihnen empfangenen Daten aus und stellt sie staatlichen, halbstaatlichen sowie privaten Wetterdienstleistern zur Verfügung. EUMETSAT ist eine internationale Kooperation von 24 europäischen Staaten, die ihren Hauptsitz im hessischen Darmstadt hat. Hier werden die Wetterdaten, die von den Satelliten an verschiedene über Europa verteilte Bodenstationen gesendet werden, gesammelt, ausgewertet und vorbearbeitet, bevor sie – als eigentliches EUMETSAT-„Produkt" – den Wetterdiensten angeboten werden.

Die wichtigsten EUMETSAT-Satelliten sind METEOSAT 8 und 9 (seit 2004 und 2005 in Betrieb). Sie werden seit 2006 ergänzt um METOP, einen Satelliten auf polarer Umlaufbahn. Zwei METEOSAT-Satelliten der ersten Generation wurden über den Indischen Ozean umplatziert und sind dort in ein Tsunami-Frühwarnsystem integriert.

Mehr zum Thema:
EUMETSAT-Bildergalerie:
www.eumetsat.int/Home/Main/Image_Gallery/index.htm?/=en

EUMETSAT-Broschüre zur Wetter- und Klimaüberwachung: www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_br_eum02_de.pdf

Wikipedia-Seite zu METEOSAT mit weiterführenden Links:
http://de.wikipedia.org/wiki/Meteosat

Weiterführende Aktivität:
Wie funktioniert die Koordination der Wetterbeobachtung weltweit? Schüler recherchieren, welche Institutionen in anderen Ländern für die Wetterbeobachtung zuständig sind, wie viele Satelliten insgesamt im Einsatz sind und wie die einzelnen Dienste international koordiniert sind.

zu 3 – Was sehen und wie messen Wettersatelliten?

Wettersatelliten messen die verschiedenen, von der Erdoberfläche reflektierten oder emittierten Lichtwellen. METEOSAT misst auf insgesamt zwölf Kanälen innerhalb des elektromagnetischen Wellenspektrums, von denen sich lediglich zwei im sichtbaren Lichtspektrum befinden. Aus diesem Spektrum resultieren die Bilder, wie wir sie aus dem Wetterbericht kennen.

Den Hauptteil im Sensorenspektrum von METEOSAT nehmen acht Kanäle ein, die im Infrarotbereich angesiedelt sind. Aufnahmen, die im thermischen Infrarotkanal gemacht werden, sind im Prinzip nichts anderes als Temperaturkarten der Erdoberfläche. Während warme Oberflächen wie Wüstengegenden viel Strahlung abgeben, senden Eisflächen oder Meere nur wenig Strahlung aus. Das Resultat sind Schwarz-Weiß-Aufnahmen, in denen Wärme hell, Kälte dagegen dunkel angezeigt wird.

Die Bilddaten, die METEOSAT alle 15 Minuten aktuell bereitstellt, sind in ihrer höchsten Auflösung rund 11.000 x 11.000 Pixel groß, entsprächen also einer Digitalkamera mit 124 Megapixeln.

Mehr zum Thema:
Informationen über die aktuell aktiven Wettersatelliten:
www.de.allmetsat.com/wetter-satelliten.php

Wetterbeobachtungen, Wetterprognosen und Klimadaten weltweit:
www.de.allmetsat.com

Lexikon der Fernerkundung mit vielen technischen und weitergehenden Erläuterungen: www.fe-lexikon.info/FeLexikon.htm

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren verschiedene bildgebende Verfahren, die in der Erdbeobachtung zur Anwendung kommen. Als Grundlage beschäftigen sie sich zunächst experimentell mit der additiven Farbsynthese, basierend auf den Primärfarben rot, blau und grün. Dazu nutzen sie z. B. die ESA-Software LEOWorks: www.eduspace.esa.int/subdocument/default.asp?document=364&language=de Besonders interessant ist es, LEOWorks unmittelbar auf echte Satellitenbilder anzuwenden, wie zum Beispiel LANDSAT-Bilder, die hier heruntergeladen werden können: www.glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat

Kapitel 4: Das Klima

Klimawandel ist ein Streitthema: Die Einschätzungen, ob und wenn ja wie schnell sich das Klima auf der Erde verändert, ist Gegenstand von Kontroversen in Wissenschaft und Politik. Mit den von Satelliten erhobenen Daten lässt sich allerdings der Beweis führen, dass die Erwärmung eine reale Bedrohung darstellt. Auch die Hauptursache für den Temperaturanstieg ist bekannt: der Treibhauseffekt.

Der Aufbau von Kapitel 4 im Überblick:

1) Das Phänomen Erderwärmung
2) Die meinungsbildende Bedeutung von Erdbeobachtung im Kontext Klimawandel
3) Die wissenschaftliche Bedeutung von Erdbeobachtung im Kontext Klimawandel

zu 1 – Das Phänomen Erderwärmung

Auf welcher Grundlage soll unser Wohlstand in Zukunft stehen? Ungebremstes Wirtschaftswachstum auf Basis des Verbrauchs fossiler Brennstoffe ist langfristig eine „Sackgasse": Öl, Kohle und andere Rohstoffe sind endlich und ihre Vorräte gehen inzwischen immer schneller zur Neige, da sie seit einigen Jahren auch verstärkt von schnell wachsenden Volkswirtschaften wie China oder Indien nachgefragt werden. Der Westen ist kaum in der Position, diesen Ländern Vorschriften zu machen, nachdem er selbst so lange „aus dem Vollen" geschöpft hat. Vor allem ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe aber die Hauptursache für den sich rapide verstärkenden Treibhauseffekt und damit für die sich beschleunigende Erderwärmung. Unter deren Folgen drohen wir alle mehr leiden zu müssen als unter dem Abschied von lieb gewonnenen Konsumgewohnheiten.

Das Phänomen des Klimawandels wird aktuell eigentlich nicht mehr bestritten. Unterschiedliche Meinungen bestehen allerdings bezüglich der Frage, inwiefern der Klimawandel „menschgemacht" ist und welche Dimensionen und Folgen er künftig haben wird.

Die Diskussion wird verkompliziert durch unterschiedliche Berechnungsmethoden, die der Argumentation als Grundlage dienen: Werden beispielsweise rückkoppelnde Effekte berücksichtigt, fällt das Resultat gravierender aus. Der wichtigste Rückkopplungseffekt betrifft die schmelzenden Eismassen, die das Reflektionsvermögen der Erdoberfläche beeinflussen: Je weniger helle Eisflächen es gibt, desto weniger strahlt die Erde Energie ins All zurück – und umso stärker beschleunigt sich der Prozess der Erwärmung.

Auch sagt die prognostizierte Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur nichts über die unterschiedlichen lokalen Temperaturveränderungen aus. So wird beispielsweise in den Polarregionen – also gerade den sensibelsten Gebieten mit großer Wirkung auf den Anstieg des Meeresspiegels (Grönland und Antarktis) – ein deutlich höherer Temperaturanstieg erwartet als andernorts.

Mehr zum Thema:
ESA-Website zum Thema Erdklima:
www.esa.int/SPECIALS/Space_for_our_climate/index.html

Website des Intergovernmental Panel on Climate Change: www.ipcc.ch

Das Klima der Erde: www.klima-der-erde.de

Schlusskommuniquee der Weltklimakonferenz in Kopenhagen:
www.denmark.dk/NR/rdonlyres/C41B62AB-4688-4ACE-BB7B-F6D2C8AAEC20/0/copenhagen_accord.pdf

Weiterführende Aktivitäten:
Schüler recherchieren die unterschiedlichen Positionen und Meinungen in der gegenwärtigen Klimadebatte. Wer argumentiert wie? Welche Interessen könnten sich dahinter verbergen? Sind die Argumente stichhaltig?

Schüler stellen ihre persönliche „Klimabilanz" auf: Wie verursachen sie selbst CO_2 und welche Einsparpotenziale sehen sie?

zu 2 – Die meinungsbildende Bedeutung von Erdbeobachtung im Kontext Klimawandel

Der Klimawandel ist ein überaus komplizierter Vorgang, der sich der breiten Öffentlichkeit gegenüber nur schwer in seiner Komplexität darstellen lässt. Die wissenschaftlichen Hintergründe sind vielschichtig und erfordern ein großes Maß an Fachwissen. Dennoch muss ein Bewusstseinswandel einsetzen. Wie kann der Ernst der Lage also verdeutlicht werden – medienwirksam und aussagekräftig? Ohne „Panikmache", aber auch ohne Verharmlosung? Bilder sprechen eine deutliche Sprache und oftmals waren und sind es die Bilder von Erdbeobachtungssatelliten, die ohne viele Worte das Ausmaß der Erderwärmung verdeutlichen.

Mehr zum Thema:
Website von Greenpeace Deutschland: www.greenpeace.de

Website des World Wildlife Fund: www.wwf.de

Weiterführende Aktivität:
Schüler analysieren die Internetseiten von führenden Naturschutzorganisationen und Industrieunternehmen: Wie stark ist das Thema Klimaschutz „angekommen"? Mit welchen Bildwelten wird es kommuniziert?

zu 3 – Die wissenschaftliche Bedeutung von Erdbeobachtung im Kontext Klimawandel

Je erhitzter die Diskussion über die Erderwärmung tobt, desto wichtiger sind „harte" Fakten – Messdaten, wie Erdbeobachtungssatelliten sie kontinuierlich übermitteln. Die wichtigsten Klimadaten, die durch Satelliten-Messungen quantifiziert werden können:

- Oberflächentemperaturen auf der Erde
- Entwicklung der Eisdecke in den Polarregionen (Eisfläche und Eisdicke)
- Zusammensetzung der Atmosphäre
- Schadstoffemissionen weltweit und Beeinflussung der Atmosphärenzusammensetzung
- Höhe des Meeresspiegels

Die langfristige Analyse dieser Daten, die Erstellung von Zahlenreihen über Jahrzehnte, der Abgleich mit historischen Daten aus früheren Jahrhunderten und schließlich die Interpretation von Zusammenhängen erlauben uns dezidierte Aussagen über die Klimaentwicklung auf der Erde.

Mehr zum Thema:
World Data Center for Remote Sensing of the Atmosphere: http://wdc.dlr.de/

NASA Earth Science Data and Services (Jahresberichte):
www.nasadaacs.eos.nasa.gov/articles/index.html

Weiterführende Aktivitäten:
Wie lange gibt es bereits Wetter- und Klimaaufzeichnungen? In welcher Tradition stehen die Daten, die heute per modernster Technologie gesammelt werden?

Kapitel 5: Wasser-Management

Kapitel 5 behandelt ein Thema, das für die Erdbevölkerung in mehrfachem Sinn von vitalem Interesse ist: den Wasserkreislauf und das Management der Wassergewinnung und -nutzung. Das Kapitel verdeutlicht, welchen Beitrag die Erdbeobachtung mit Hilfe von Satelliten leisten kann, um die Ressource Wasser zu schützen, neue Vorkommen zu erschließen und deren Nutzung zu optimieren.

Der Aufbau von Kapitel 5 im Überblick:

1) Verteilung von Wasserressourcen auf der Erde und Präzisierung des Begriffs „Wasserknappheit"
2) Hintergrund: der Wasserkreislauf
3) Exemplarische Eingrenzung auf den afrikanischen Kontinent: ungleiche Verteilung und Wassermangel
4) Exemplarische Beispiele für Wasser-Management mit Hilfe von Satelliten: Wasser finden, Wasserverbrauch optimieren, technische Voraussetzungen

zu 1 – Wasserknappheit

Spätestens seit Beginn des neuen Jahrtausends rückt neben den „klassischen" Bodenschätzen wie Öl, Gas oder Edelmetallen eine weitere Ressource ins Zentrum der Aufmerksamkeit von Politik und Wirtschaft: das Trinkwasser. Auch in den Medien finden sich immer häufiger Berichte zu diesem Thema.

Viele Millionen Menschen – vor allem in Afrika und Asien – haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. In den wachsenden Ballungsräumen und Mega-Cities ist es oftmals verschmutzt und mit Krankheitserregern belastet. Neben der Verschmutzung von Trinkwasser steht aber vor allem die generelle Frage der Wasserknappheit im Vordergrund. Es wird befürchtet, dass sogar schon bald Kriege um Wasser ausbrechen könnten. Selbst in Westeuropa kam es aufgrund von Wasserknappheit bereits zu Konflikten, als vor wenigen Jahren einige spanische Regionen in den Sommermonaten den Abfluss aus Staudämmen drosselten, weil sie andere Regionen beschuldigten, Wasser zu vergeuden.

Zum Verständnis der Problematik ist es wichtig, sich zu verdeutlichen, dass trotz hoher und vielfältiger Wasservorkommen auf der Erde nur ein verschwindend geringer Teil unmittelbar für Menschen nutzbar und sauberes Wasser daher ein wertvolles und schützenswertes Gut ist.

Mehr zum Thema:
Website des Club of Rome: www.clubofrome.de

Weiterführende Aktivität:
Schüler führen ein „Wassertagebuch" über ihren Wasserverbrauch im Laufe einer Woche unter Berücksichtigung auch des indirekten Verbrauchs, der z. B. auch die Produktion von Textilien und anderen Gütern und die dafür eingesetzten Wassermengen einschließt.

zu 2 – der Wasserkreislauf

Der Rekurs zur Erklärung des Wasserkreislaufs bietet Gelegenheit, den Knappheitsbegriff zu präzisieren und einige wesentliche Phänomene darzustellen: die Sonneneinstrahlung als „Motor" des Wasserkreislaufs, die „Beständigkeit der Wassermenge", die großen regionalen Unterschiede in der Ausprägung des Kreislaufs und die Unterschiede in der Verweildauer des Wassers in den verschiedenen Reserven.

Unter „Beständigkeit" des Wasserkreislaufs verstehen wir die Tatsache, dass die absolute Wassermenge auf der Erde sich nicht verändert – und das seit ca. 2 Milliarden Jahren. Auch innerhalb der einzelnen Reserven bleibt die Wassermenge stabil.

Der Wasserkreislauf unterscheidet sich in einzelnen Regionen sehr stark und trägt so ebenfalls zur unterschiedlichen Wasserverteilung bei: In der Atacamawüste Chiles regnet es kaum alle hundert Jahre einmal, in der ostindischen Region Shillon fallen jährlich 12 Meter Regen pro Quadratmeter.

Auch die Verweildauer des Wassers in den unterschiedlichen Reserven ist relevant: durchschnittlich zehn Tage in der Atmosphäre, einige Wochen in Bächen und Flüssen, mehrere Jahre in Seen und Hunderte bis Millionen von Jahren in tiefen Erdschichten.

Mehr zum Thema:
Detailinformationen zum Wasserkreislauf:
www.hydrogeographie.de/wasserkreislauf.htm

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren weltweit Niederschlagsmengen und setzen sie in Relation zu Geografie und Jahreszeit.

zu 3 – Wassermangel in Afrika

Anhand des afrikanischen Kontinents lassen sich einige Aspekte der regionalen Ausprägungen des Wasserkreislaufs veranschaulichen: Wüstengegenden grenzen fast übergangslos an dicht bewaldete Zonen, Regionen mit geringen Niederschlagsmengen an solche mit hohem Regenaufkommen. Zentrale Regionen Afrikas verfügen über große Mengen von Oberflächen- oder in der Vegetation gebundenem Wasser, andere lediglich über Grundwasservorkommen in großer Tiefe.

Mehr zum Thema:
Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: Broschüre „Partner für ein starkes Afrika." Zusammenarbeit im Bereich Wasser:
www.bmz.de/de/service/infothek/fach/materialien/Materialie162.pdf

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren die Strategien von Pflanzen und Tieren zur Wasserversorgung in Regenwald vs. Wüstengebieten Afrikas

zu 4 – Wasser-Management mit Hilfe von Satelliten

Wasser-Management hat vielfältige Facetten – zwei wesentliche, nämlich das Auffinden von Wasserressourcen und deren Management werden anhand zweier Beispiele exemplarisch vorgestellt.

Viele weitere Projekte dieser Art steuert und betreut das internationale TIGER-Programm, in dem multinationale Organisationen wie UN und UNESCO unter Führung der Europäischen Weltraumorganisation ESA die Erdbeobachtung zum Wasser-Management einsetzen. TIGER bündelt das gesamte Spektrum technischer und organisatorischer Möglichkeiten zum Einsatz von Satelliten zur Optimierung des Wasser-Managements.

Mehr zum Thema:
Homepage der ESA-Initiative TIGER – Looking after water in Afrika:
www.tiger.esa.int

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren einzelne Projekte im Rahmen von TIGER und referieren darüber.

Kapitel 6: Lebensmittel-Management

Bevölkerungsreiche Länder – insbesondere viele Staaten in Asien – sind auf eine gut funktionierende Landwirtschaft angewiesen, zumal ihnen oft das Geld zum Kauf großer Mengen an Nahrungsmitteln auf den Weltmärkten fehlt. Satelliten können dabei eine große Hilfe darstellen – vor allem im Hinblick auf die Optimierung der Ernteerträge. Der Anbau von Reis wird in diesem Kapitel exemplarisch herangezogen, um das Wirkungsprinzip und die Möglichkeiten zu erklären.

Der Aufbau von Kapitel 6 im Überblick:

1) Grundproblematik Bevölkerungswachstum vs. Kapazitätsengpässe in der Landwirtschaft
2) Musterbeispiel Reisanbau
3) Optimierungsmöglichkeiten mit Satellitenunterstützung

zu 1 – Satelliten: die Hightech-Erntehelfer

In den letzten 200 Jahren hat sich die Weltbevölkerung auf fast sieben Milliarden Menschen in etwa versechsfacht. Die Gründe für diese „Bevölkerungsexplosion" sind vielfältig: Industrialisierung und Arbeitsteilung haben in vielen Ländern den Lebensstandard gesteigert. Sinkende Sterblichkeit und höhere Lebenserwartung sind die Folgen. In den armen Ländern ist die Logik eine andere: Bei hoher Sterblichkeitsrate und niedrigem Lebensstandard gelten viele Nachkommen als Garantie für das Überleben der Familie und die Versorgung im Alter.

Mit der Bevölkerungszahl wächst auch der Bedarf an Lebensmitteln. Doch die Landwirtschaft stößt an Grenzen. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Viele Regionen eignen sich klimatisch oder geografisch von vornherein nicht für die landwirtschaftliche Nutzung. Viele Flächen werden ineffizient genutzt, um „Luxusprodukte" zu erzeugen, z. B. Viehwirtschaft auf Böden, auf denen ebenso gut Kulturpflanzen wie Soja angebaut werden könnten. Der Versuch, durch künstliche Düngung Ernteerträge zu steigern, hat vielerorts ausgelaugte Böden zurückgelassen. Zudem ist Landwirtschaft sehr witterungsabhängig: Extreme Wetterereignisse können in wenigen Stunden ganze Jahresernten vernichten.

Mehr zum Thema:
Internetseite des World Food Programms: www.wfp.org

„Hungerkarte" des World Food Programms: http://one.wfp.org/country_brief/hunger_map/map/hungermap_popup/map_popup.html

Problematik Bevölkerungswachstum: www.3sat.de/dynamic/sitegen/bin/sitegen.php?tab=2&source=/nano/cstuecke/12209/index.html

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren, aus welchen Regionen die von ihnen vorrangig konsumierten Lebensmittel stammen und unter welchen Bedingungen sie angebaut wurden.

zu 2 – Reisanbau in Asien

Reis ist die wichtigste Getreideart und das Grundnahrungsmittel der Bevölkerung in Asien. Er wird in den Deltas der großen Flüsse ebenso angebaut wie in den niederschlagsreichen Bergregionen. Reis ist in Asien nicht nur Nahrungsmittel: Sein Stroh dient auch als Brennstoff, Dünger oder zur Herstellung von Gebrauchsgegenständen wie Seilen, Taschen und Hüten. Auch soziale Aspekte spielen hier eine große Rolle: Wasserkontrolle und Bewässerung haben eine komplexe, pyramidal aufgebaute Gesellschaft hervorgebracht. Viele Menschen leben vom Reisanbau: Doch nur wenige profitieren davon, während viele am Rande des Existenzminimums leben.

Reis ist extrem anspruchsvoll: Im Wachstum erfordert er drei Monate lang Temperaturen von mindestens 20°C sowie 30.000 m³ Wasser pro Hektar. Das Monsunklima ist deshalb besonders geeignet. Entsprechend befanden sich im Jahr 2003 neun der zehn größten Reis produzierenden Länder in Asien, darunter China (166 Millionen Tonnen), Indien (115 M.T.) und Indonesien (52 M.T.).

Mehr zum Thema:
ESA-Informationsmaterial zum Thema Reisanbau:
www.eomd.esa.int/booklets/booklet185.asp

Weiterführende Aktivitäten:
Reisanbau in Europa? Auch das gab und gibt es. Schüler vergleichen die Anbaumethoden in Asien mit denen, die traditionell und aktuell in den Reisanbau-Regionen Norditaliens angewandt werden.

Wenn Reis für Asien das bedeutendste Grundnahrungsmittel ist, was ist das Äquivalent bei uns in Europa/Deutschland? Welche Getreidesorten werden tatsächlich für die Herstellung unserer Lebensmittel benötigt?

zu 3 – Besser geplant, öfter geerntet

Während in vielen Entwicklungsländern die Optimierung der Ernteerträge Hauptziel der Satellitenunterstützung in der Landwirtschaft ist, interessieren sich Landwirte in Ländern der „ersten Welt" daneben auch für Nutzungsmöglichkeiten in ökologischer Hinsicht: Multispektralkameras machen in unterschiedlichen Kanälen des sichtbaren Lichts Bilder von bebautem Land. Diese Bilder geben Aufschluss über den Chlorophyllgehalt der Vegetation und lassen Rückschlüsse auf deren Gesundheitszustand und Reifegrad zu. Flecken oder Lücken im Bild zeugen von Nährstoffmangel oder Schädlingsbefall. Zielgenau können die Landwirte nun die betroffenen Flächen bearbeiten und düngen – nur da, wo es wirklich nötig ist.

Eine ähnliche Möglichkeit bietet die Positionsbestimmung per GPS, wenn sie mit Daten über den Gesundheitszustand der Pflanzen gekoppelt wird. Zu diesem Zweck filmt zunächst eine unmittelbar am Traktor montierte Spezialkamera ein Feld ab: Je nach Programmierung unterscheidet die Bilderkennung, wo Pflanzen in ihrem Wachstum beeinträchtig sind – beispielsweise durch Schädlinge, Pilzbefall oder den starken Wuchs von Unkraut. Für jede Information speichert der Rechner die entsprechenden GPS-Koordinaten. Bei der Bearbeitung des Lands kann nun die Abgabe von Schädlingsbekämpfungs-Mitteln entsprechend den zuvor gewonnenen Daten präzise dosiert werden. Im Versuch ließen sich bei der Aufzucht von Zuckerrüben 40 bis 60 %, im Getreideanbau sogar bis zu 90 % an Pflanzenschutzmitteln einsparen.

Mehr zum Thema:
Feldversuch zur Einsparung von Pflanzenschutzmitteln:
http://www.3sat.de/dynamic/sitegen/bin/sitegen.php?tab=2&source=/nano/cstuecke/12209/index.html

Weiterführende Aktivität:
Welche „natürlichen" Arten der Schädlingsbekämpfung könnten alternativ eingesetzt werden?

Kapitel 7: Das Ökosystem Weltmeere

Das Ökosystem der Weltmeere steht in seinen Grundzügen (Nahrungskette, Interaktion zwischen einzelnen Lebensformen) exemplarisch für andere Ökosysteme. Ozeane und Meere sind darüber hinaus wichtige Bestandteile der „Klima-Maschine" unserer Erde. Erdbeobachtung wird mit Blick auf die Meere vor allem zur Klimabeobachtung sowie zum Natur- und Artenschutz genutzt.

Der Aufbau von Kapitel 7 im Überblick:

1) Ökosysteme am Beispiel Meere und Ozeane
2) Die Weltmeere und das Klima
3) Umweltschutz

zu 1 – Ökosysteme am Beispiel Meere und Ozeane

Wie in jedem Ökosystem hängen auch in den Meeren alle Lebewesen in einem System untereinander verknüpfter Nahrungsketten voneinander ab. Chlorophyllhaltige Pflanzen sind dabei die Primärproduzenten. Für die Photosynthese nutzen sie die Sonnenenergie und bilden nach der Absorption von Kohlendioxid mit Hilfe des Chlorophylls organische Substanzen (z. B. Kohlenhydrate). Diese ernähren die sogenannten Primärkonsumenten, mikroskopisch kleine Schnecken und Krebse (Phytoplankton), mit denen sich die Nahrungskette fortsetzt. Generell gilt: Zwischen den Gliedern einer Nahrungskette findet ein Energie- und Stoffaustausch statt. Alle in einem Ökosystem lebenden Arten geben die Substanzen, die sie diesem entnommen haben, stets in mehr oder weniger umgewandelter Form an das Biotop zurück – ein sehr genau austariertes Gleichgewicht.

Insgesamt gelten die Weltmeere als relativ wenig erforscht. In den tiefen, lichtarmen Schichten der Ozeane (800 bis 11.000 Meter Tiefe) werden noch Millionen bisher unbekannter Arten vermutet. In der Initiative „Census on Marine Life" wurden verschiedene aktuelle Einzelexpeditionen gebündelt.

Mehr zum Thema:
Infothek des Klett-Verlags zum Thema Meere und Ozeane: http://klett-verlag.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&node=Meere und Ozeane

ENVISAT-Aufnahmen von der Algenblüte:
http://earth.esa.int/cgi-bin/satimgsql.pl?search=bloom&sat=0

Homepage des "Census of Marine Life": www.coml.org

Weiterführende Aktivität:
Welche „Interaktion" besteht zwischen den Ökosystemen Meer und dem Festland? Welche Rolle spielt dabei der Mensch und wie wirkt sich sein Eingreifen aus (zum Beispiel durch Fischerei, Schifffahrt etc.)?

zu 2 – Die Weltmeere und das Klima

Weltmeere und Klima stehen in einem ambivalenten Verhältnis:

Einerseits ist das Gleichgewicht des Ökosystems Meer stark von äußeren Einflüssen wie der Sonnenstrahlung abhängig. Erwärmt sich die Erde zu stark, geraten Wachstumszyklen ins Ungleichgewicht und das System beginnt zu „kippen". Vor allem aber droht der Meeresspiegel anzusteigen, je stärker sich das Klima der Erde aufheizt und so große Eismassen zum Schmelzen gebracht werden.

Andererseits sind auch die Meere selbst ein bedeutender Klimafaktor: zum Beispiel durch die Meeresströmungen, die mit dem Wasser auch Temperaturen „transportieren". Der Golfstrom, der im südlichen Atlantischen Ozean „beginnt" und warmes Wasser bis vor die Küsten Norwegens bringt, gilt auch als die „Warmwasserheizung Europas". Vor wenigen Jahren spielte der Hollywood-Blockbuster „The Day After Tomorrow" ein Szenario durch, das in Wissenschaftskreisen zwar umstritten ist, jedoch die Bedeutung der Meere für das weltweite Klima deutlich illustriert. Der Film überspitzt die Theorie, dass ein Abschmelzen der Polkappen zur „Aussüßung" der Ozeane führen könnte. Dadurch reißt der Golfstrom ab, was die nördliche Erdhalbkugel – im Film – durch einen jähen Temperatursturz in die Katastrophe führt.

Mehr zum Thema:
Informationen zum Thema Meeresströmungen und Klima:
http://klima-der-erde.de/meeresstroemungen.html

Messung der Meeresoberflächentemperaturen: www.medspiration.org

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren die wichtigsten Meeresströmungen. Sie diskutieren auch die Frage des Anstiegs des Meeresspiegels durch die Klimaerwärmung. Welche Regionen wären durch einen Anstieg des Meeresspiegels bedroht, wenn die Eismassen in Grönland und der Antarktis schmelzen? Warum trägt dagegen ein Abschmelzen der Eismassen am Nordpol nicht zum Anstieg des Meeresspiegels bei? Welche anderen Folgen aber hätte dies?

zu 3 – Umweltschutz durch Erdbeobachtung

Der Welthandel wächst. Auch auf den Weltmeeren werden kontinuierlich mehr Waren und Rohstoffe bewegt. Das Schifffahrtsaufkommen nimmt zu, die Tonnage der Schiffe steigt. In den Nadelöhren der internationalen Schifffahrt wie dem Ärmelkanal, der Straße von Gibraltar und vor der Westküste Europas steigt die Gefahr von Havarien.

Erdbeobachtungssatelliten können im Katastrophenfall ausgelaufene Fracht – z. B. Rohöl – orten und so wirksame Maßnahmen zur Bekämpfung unterstützen. Auch im Fall illegaler Verklappung von Abfällen sind sie nützlich: Noch immer zählt es leider zu den einfachsten – und kostengünstigsten – Entsorgungsmaßnahmen, schädliche Ladung auf hoher See einfach über Bord zu kippen. Diese illegale Müllentsorgung ist in vielen Weltgegenden ein einträgliches Geschäft für die organisierte Kriminalität. Werden die Daten der Satelliten zeitnah ausgewertet und an die Küstenwachen betroffener Länder übermittelt, können die Täter dingfest gemacht werden – und potenzielle Nachahmer abgeschreckt werden.

Mehr zum Thema:
UN-Seite zu den Weltmeeren: www.oceansatlas.com

Fakten zum Seehandel (Seite der UN):
http://www.oceansatlas.com/unatlas/uses/transportation_telecomm/maritime_trans/shipping_world_trade/shipping_facts_and_figures.htm#Globalization%20and%20international%20trade

Greenpeace-Seite zum Thema Meeresverschmutzung:
http://gruppen.greenpeace.de/aachen/meere-fotos-verschmutzung.html

Weiterführende Aktivität:
Schüler recherchieren die Entwicklung des Frachtverkehrs auf den Weltmeeren als Auswirkung des globalisierten Welthandels. Wie sehr trägt ihr eigenes Konsumverhalten zu dieser Entwicklung bei?

Kapitel 8: Katastrophen-Prävention und -Management

Mit Blick auf Naturkatastrophen können Satelliten sowohl präventiv als auch akut von Nutzen sein. Die Katastrophen-Prävention kann kurzfristige Warnungen etwa vor einem Hurrikan betreffen, aber auch langfristige Vorkehrungen ermöglichen: beispielsweise indem man Satellitenbilder einer Überschwemmung mit Blick auf den Bau von Deichen und Dämmen auswertet, um so der nächsten Flut zu begegnen. Im aktuellen Katastrophenfall sind Satelliten wertvoll, weil sie buchstäblich „den Überblick" bewahren und aktuelle Informationen zum Ausmaß der Schäden bieten können. Beispiele hierfür sind Lageinformationen nach Erdbeben, Waldbrände oder der Lavafluss bei Vulkanausbrüchen.

Die in Kapitel 8 exemplarisch betrachteten Ereignisse sind ...

Wirbelstürme

Große Wirbelstürme sind in vielen Weltgegenden ein periodisch auftretendes Phänomen. Am Golf von Mexiko wird Jahr für Jahr im Sommer die „Hurrikan-Saison" ausgerufen. Nach dem Auftreten des ersten Hurrikans berichten die Medien ausführlich über das Phänomen und über die aktuellen Entwicklungen. Im Mittelpunkt des Interesses stehen Prognosen über den Verlauf von Hurrikans, die sich der Küste nähern. Entsprechend werden in betroffenen Regionen Maßnahmen bis hin zur Evakuierung ganzer Landstriche eingeleitet.

Hurrikans sind ein besonders beeindruckendes und visuell prägnantes Phänomen, das per Satellit frühzeitig erkannt wird, sodass entsprechende Vorwarnungen in aller Regel möglich sind – mit dem Effekt, dass oftmals Tausende von Mensch leben durch Evakuierungen gerettet werden können. Ähnlichen Nutzen bieten die Daten von Wettersatelliten aber auch bei anderen Unwetterphänomenen, wie „herkömmlichen" Stürmen, starkem Regen, Schneefall oder Hagel. Zeichnen sich solche Wetterphänomene ab, sprechen die verschiedenen Wetterdienste dezidierte Unwetterwarnungen aus.

See- und Erdbeben sowie Vulkanismus

Diese drei Phänomene sind hier zusammengefasst, weil sie alle ihren Ursprung in der Plattentektonik der Erde haben: Die Lithosphäre – der feste, äußere Teil der Erdkruste – ist etwa 100 Kilometer dick und „schwimmt" auf der zähflüssigen Asthenospähre. Die Bewegung der Platten gegeneinander erzeugt die Spannungen, die sich periodisch in Erd- oder Seebeben entladen. Zugleich ist sie verantwortlich für die Bildung von Bruchsystemen, die das Aufsteigen von Magma an die Erdoberfläche begünstigen.

Da alle Situationen mit einer Hebung bzw. Senkung der Erdoberfläche einhergehen, nutzen Satelliten das Verfahren der Interferometrie, um Informationen zu gewinnen: Die Interferometrie ist eine Technik, die die Vermessung der Bodenhöhen und der Bodenbewegungen ermöglicht. Sie erfolgt mittels Kombination der Wellenphasen von zwei Radarsignalen desselben Gebiets, die meist zu unterschiedlichen Zeiten oder aus zwei leicht verschiedenen Positionen aufgezeichnet wurden. So entsteht ein Interferogramm, aus dem das Relief berechnet werden kann. Unter Umständen kann das Interferogramm sogar Erdverschiebungen im Millimeterbereich aufzeigen. Diese komplexe Technik wird zur Überwachung von Bodenbewegungen – wie der Ausdehnung von Vulkanen, die sich durch den Druck der Magma regelrecht „aufblähen", oder zur Vermessung von Bodenabsenkungen etwa in Folge des Baus neuer U-Bahn-Linien – eingesetzt. Sie kann als Ergänzung von seismografischen Messungen am Boden herangezogen werden.

Hochwasser

Hochwasser und Überschwemmungen sind periodisch auftretende und auch hierzulande bekannte Phänomene. „Saison" haben sie sowohl im Herbst und beginnenden Winter, wenn die Niederschlagsmengen steigen, als auch im Frühjahr, wenn die Schneeschmelze in den Gebirgen den Wasserstand in den Flüssen ansteigen lässt.

Starke Regenfälle, schmelzende Schneemassen: Überschwemmungen scheinen auf den ersten Blick natürliche Ursachen zu haben. Doch menschliche Aktivitäten verschärfen ihre Folgen: Immer größere Flächen werden bebaut, Städte wachsen, ebenso Industrieansiedlungen. Einkaufszentren rücken vor die Städte auf die „grüne Wiese", sie werden umgeben von riesigen Parkplätzen. All diese Baumaßnahmen „versiegeln" den Boden. Regenwasser versickert nicht mehr flächig, sondern wird unmittelbar kanalisiert. Aus wirtschaftlichen Gründen werden auch viele Landschaften in unmittelbarer Nachbarschaft zu Flüssen nicht mehr als „Flutungsgebiete" genutzt, die temporär eine Art „Aderlass" erlauben, bevor die Flutwelle bewohntes Gebiet erreichen kann.

Satellitenbilder zeigen überflutete Gebiete im Überblick. In einigen Fällen ist dadurch schnelle Hilfe möglich: Die Krisenstäbe der betroffenen Länder erkennen, welche Gegenden und Dörfer betroffen sind. Darüber hinaus dienen die Daten aus dem All der Prävention: Auf ihrer Basis werden Karten erstellt, die bedrohte Gebiete ausweisen und anzeigen, wo Deiche und Dämme – oder auch Flutungsgebiete – eingerichtet werden müssen, um für die nächste Flut Vorkehrungen zu treffen.

Weiterführende Aktivität

Schüler recherchieren verschiedene Fragen zum Thema Naturkatastrophen, z. B.:

- Welche Naturkatastrophen bedrohen die Menschen weltweit?
- Warum siedeln Menschen dennoch häufig in besonders bedrohten Gegenden (an Küsten, in der Nähe von Vulkanen, in Erdbebenregionen etc.)?
- Welche „Überlebensstrategien" entwickeln Menschen in diesen Regionen?
- Wie „natürlich" sind Naturkatastrophen? Gibt es Naturkatastrophen, die durch Menschen verursacht sind (z. B. durch die globale Erwärmung, Flussbegradigungen, Raubbau etc.)?

Weiterführende Informationen:

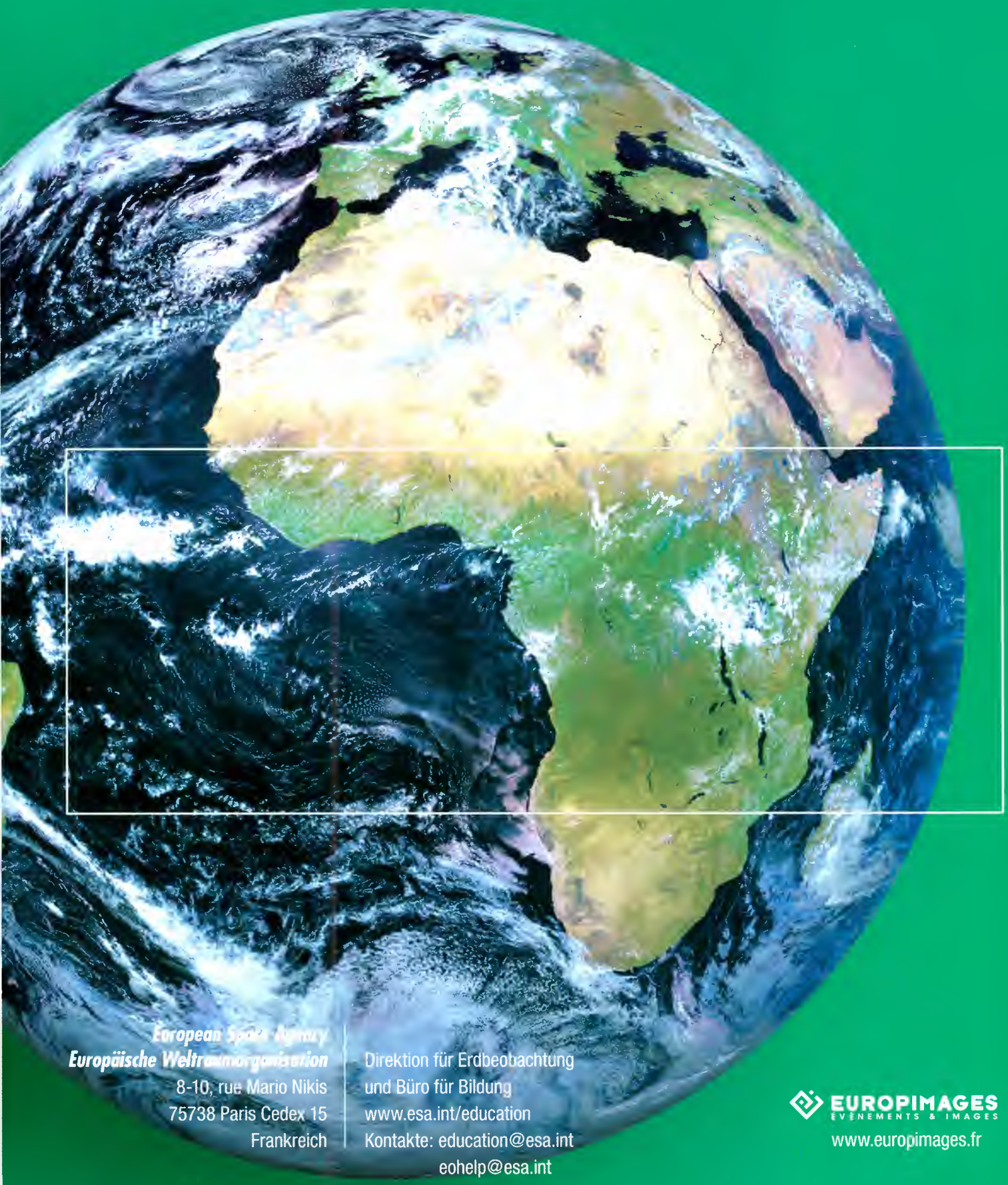
Webseite der internationalen Charta zum Katastrophen-Management:
www.disasterscharter.org

Schulunterlagen der Charta:
www.disasterscharter.org/web/charter/schools

Informationen über Naturkatastrophen:
www.naturkatastrophen.info/index.html

Infothek des Klett-Verlags zum Thema Naturkatastrophen:
http://klett-verlag.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&node=Naturkatastrophen

Infothek des Klett-Verlags zum Thema Hochwasser:
http://klett-verlag.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&node=Naturkatastrophen



European Space Agency
Europäische Weltraumorganisation
8-10, rue Mario Nikis
75738 Paris Cedex 15
Frankreich

Direktion für Erdbeobachtung
und Büro für Bildung
www.esa.int/education
Kontakte: education@esa.int
eohelp@esa.int

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Linder Höhe
51147 Köln
Deutschland

Vorstandsbeauftragter für
Nachwuchsförderung
www.DLR.de > Nachwuchs
Kontakt: nachwuchsfoerderung@dlr.de

EUROPIMAGES
EVENEMENTS & IMAGES
www.europimages.fr

CD
CD WERBEAGENTUR GMBH
www.cdonline.de

Gefördert durch das

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages

DLR

esa

→ Erdbeobachtung und Fernerkundung

Sehr geehrte Damen und Herren,

aus unserer langjährigen Zusammenarbeit mit Schulen in ganz Deutschland wissen wir:
Sowohl auf Schülerinnen und Schüler als auch auf deren Lehrkräfte übt das Thema Raumfahrt eine große Faszination aus.

Es bietet sich an, diese Faszination zu nutzen, um über die Raumfahrt hinaus auch das Interesse an naturwissenschaftlichen und technischen Themen insgesamt zu verstärken – oder überhaupt erst zu wecken. Die Raumfahrt bietet in dieser Beziehung vielfältige Anknüpfungspunkte.

Aus diesem Grund hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie und in enger Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) die vorliegende, umfangreiche Sammlung an Lehrmaterialien zusammengestellt. Wir stellen sie Ihnen kostenfrei zur Verfügung, um Anregung zu informativen und zugleich spannenden Unterrichtseinheiten oder zu extrakurrikularen Projekten zu geben.

Die acht Kapitel der Sammlung beinhalten eine Vielzahl möglicher Schnittstellen mit unterschiedlichen Unterrichtsfächern, aufgrund des übergreifenden Themas „Erdbeobachtung und Fernerkundung" aber vor allem – ganz aktuell – mit dem Fach Geografie: Die Erwärmung unserer Erde wird ebenso behandelt wie das globale Lebensmittel- und Wasser-Management, bei dem Satelliten heute eine bedeutende Rolle spielen. Auch bei der Prävention von Naturkatastrophen und bei der Bekämpfung ihrer Auswirkungen sind Satelliten mittlerweile unverzichtbar.

Das Unterrichtsmaterial wird durch zusätzliche Informationen für Lehrkräfte, Tipps zur weiterführenden Recherche sowie Anregungen zur Gestaltung von Unterrichtseinheiten ergänzt.

Dieses Angebot für das Fach Geografie soll in den nächsten Jahren kontinuierlich ausgebaut werden und somit zu einer Erweiterung der Schnittstellen zwischen der Raumfahrt und den anderen naturwissenschaftlichen Fächern führen.

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie unser Angebot annehmen. Bitte teilen Sie uns auch Ihre Erfahrungen in der Unterrichtsgestaltung oder interessante Ergebnisse mit. Wir werden sie bei der Weiterentwicklung berücksichtigen.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Volker Kratzenberg-Annies
Vorstandsbeauftragter für Nachwuchsförderung

Dr. Einar-Arne Herland
Head of the Science Strategy, Coordination and Planning Office
Directorate of Earth Observation Programmes, ESA

P.S.: Weitere Informationen zu Schul- und Jugendprojekten von DLR und ESA finden Sie auch auf den Internetseiten **www.dlr.de (> „Nachwuchs")** und **www.esa.int/education**