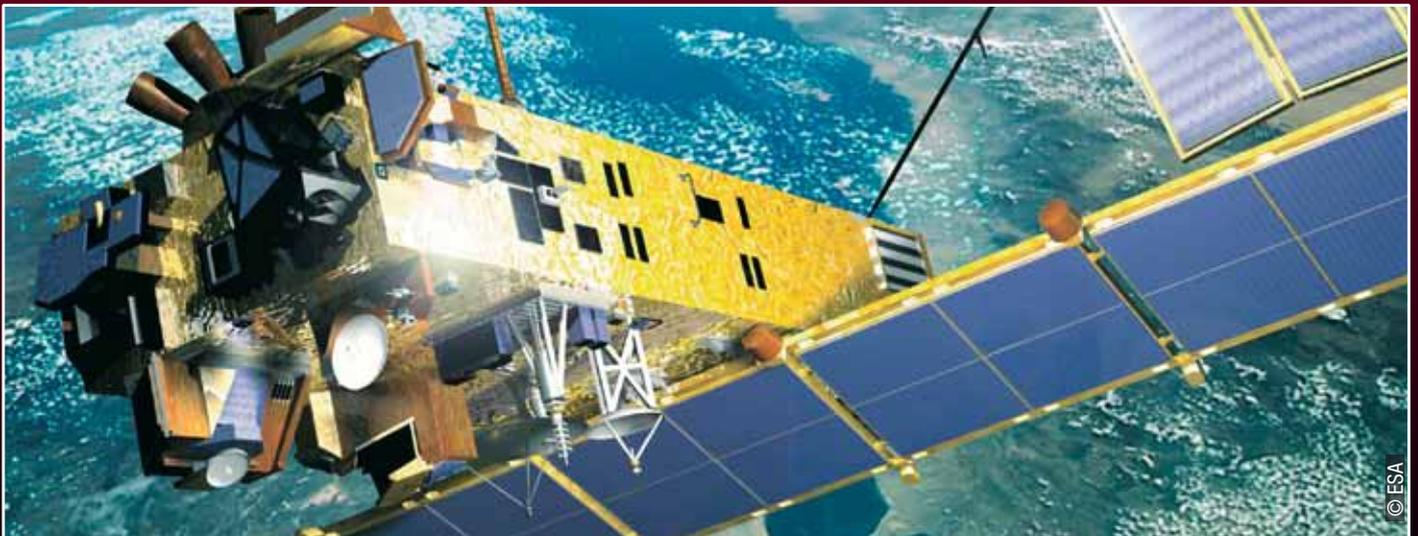


→ *Erdbeobachtung und Fernerkundung*



Mit Satellitenaugen

Thema Nr. 1 ***Erdbeobachtung***

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

Thema Nr. 3 ***Das Wetter***

Thema Nr. 4 ***Das Klima***

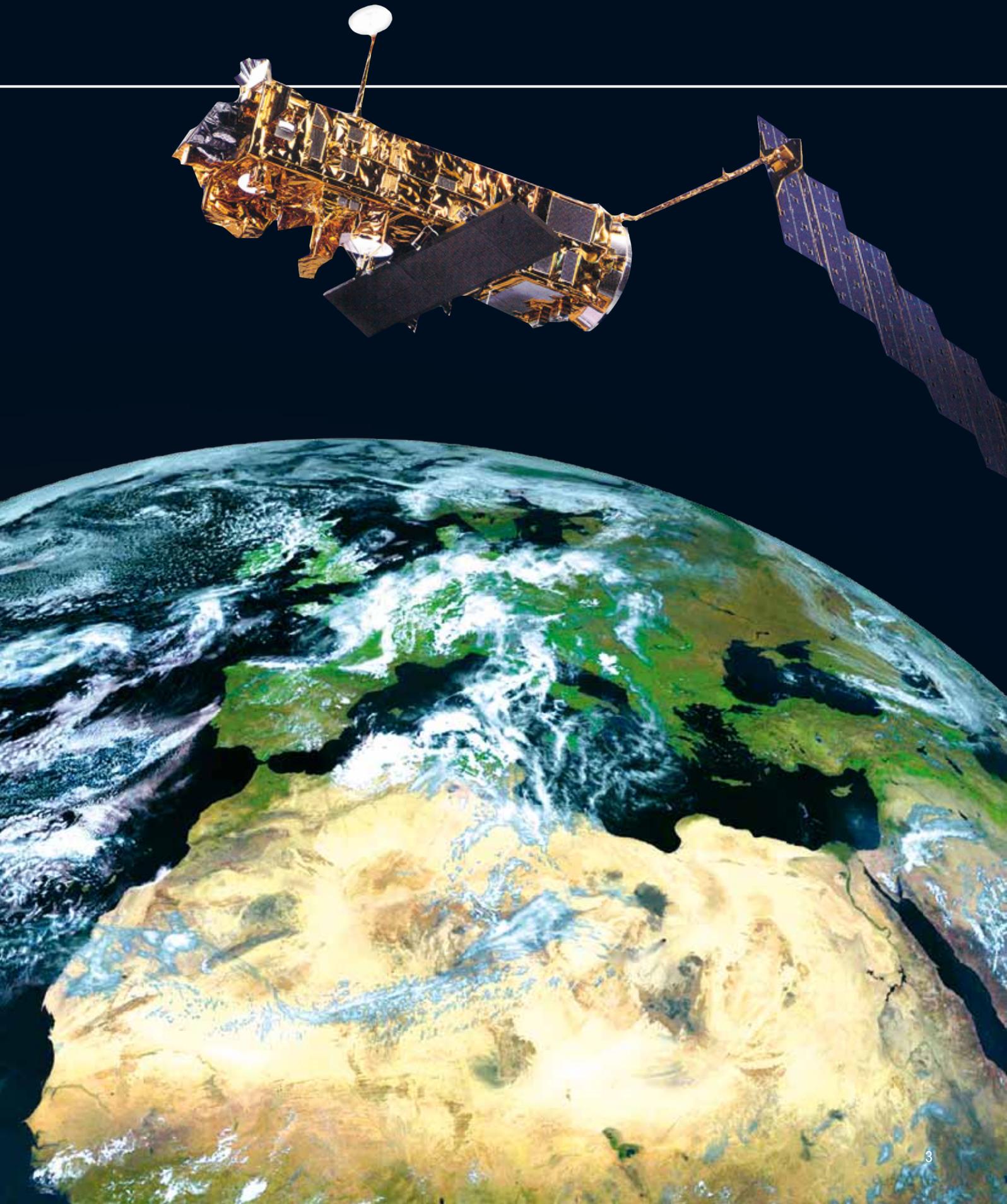
Thema Nr. 5 ***Wasser-Management***

Thema Nr. 6 ***Lebensmittel-Management***

Thema Nr. 7 ***Das Ökosystem Weltmeere***

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





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



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.



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.

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

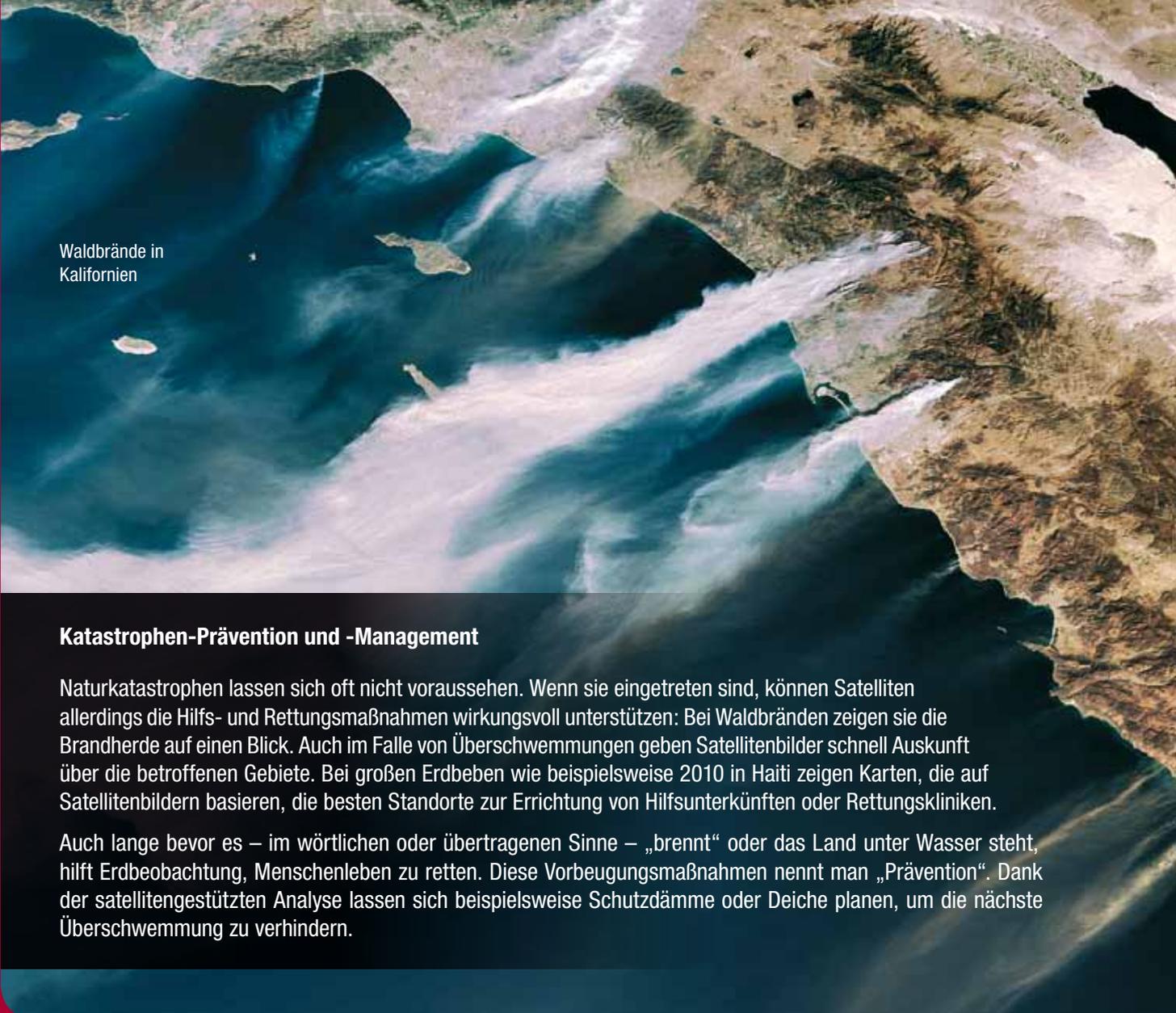


Algenwachstum vor der Küste Norwegens

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 CO₂ 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.





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.



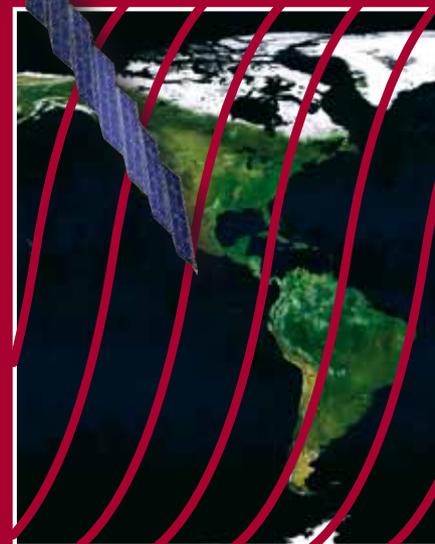
Position des
Satelliten
ENVISAT

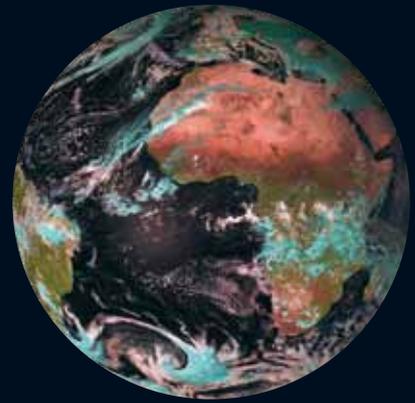
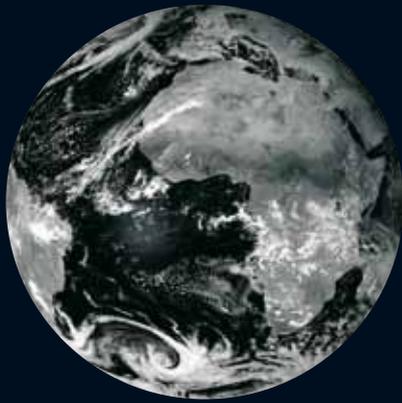
Polare Umlaufbahn

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.

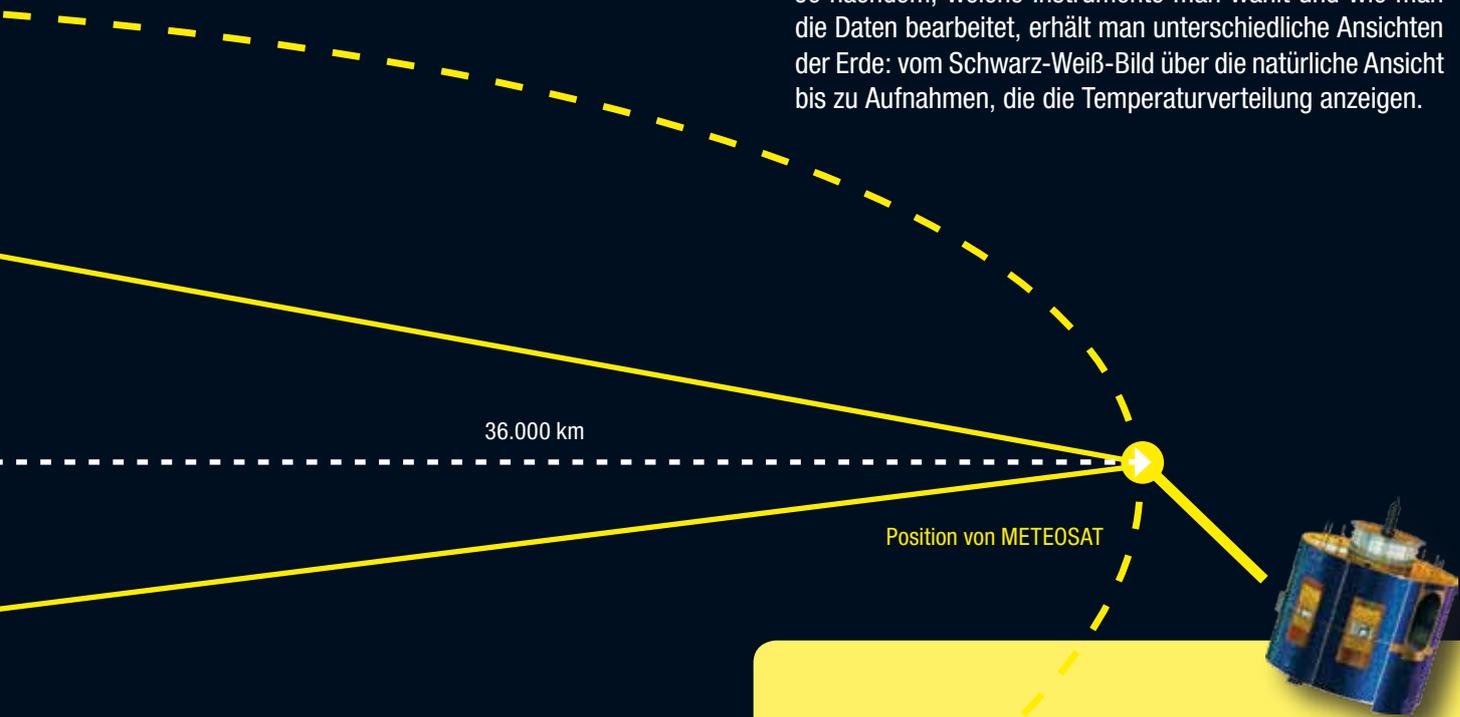
Je nachdem, mit welchen Instrumenten „polare“ Satelliten bestückt sind, können sie im doppelten Sinn zu „Allroundern“ werden: Sie erfassen jedes Gebiet der Erde im Überflug und eignen sich deshalb dafür, Veränderungen auf der Erde auch langfristig zu beobachten. Die Bilder, die sie produzieren, sind 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.





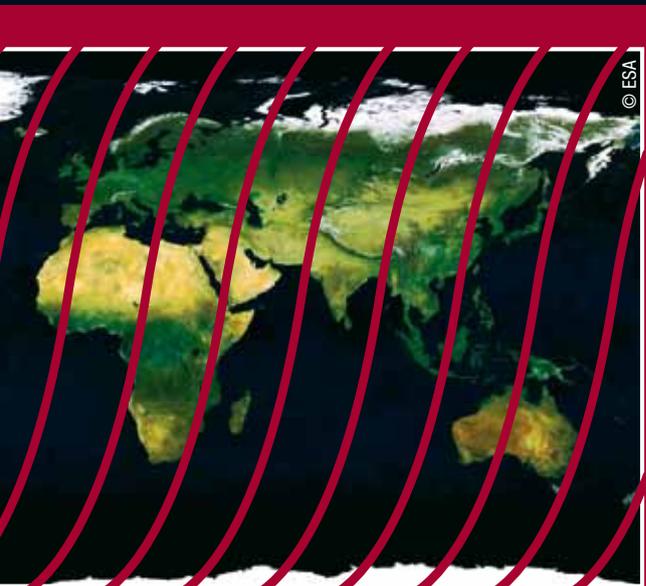
Je nachdem, welche Instrumente man wählt und wie man die Daten bearbeitet, erhält man unterschiedliche Ansichten der Erde: vom Schwarz-Weiß-Bild über die natürliche Ansicht bis zu Aufnahmen, die die Temperaturverteilung anzeigen.



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.



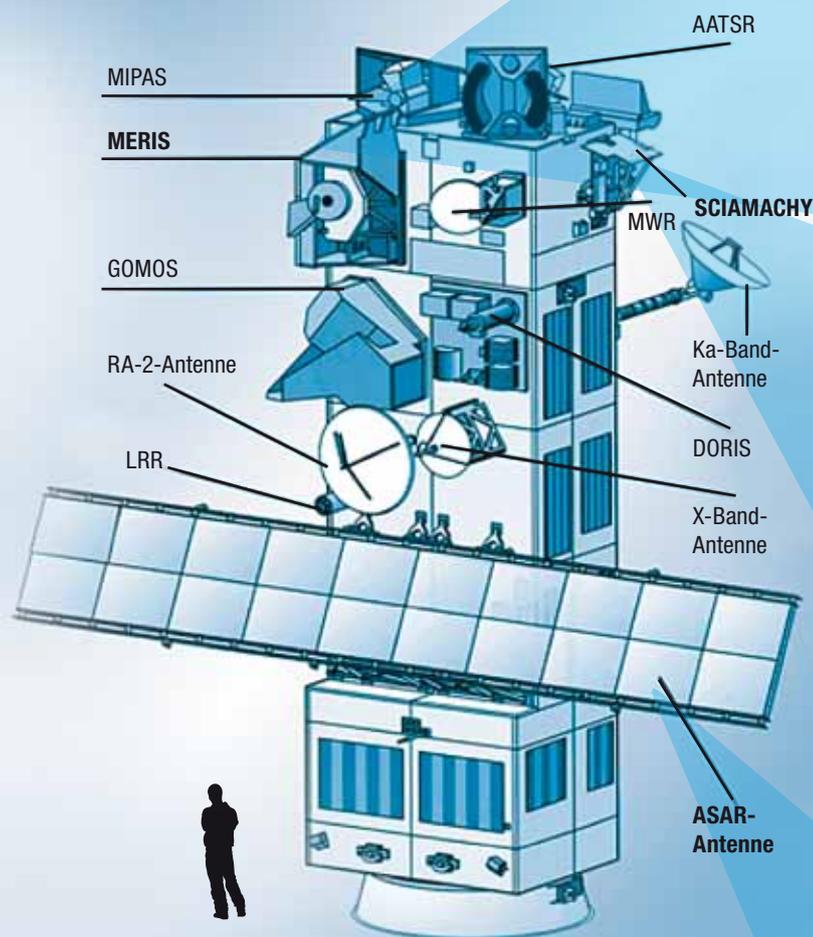
Was „sehen“ Satelliten?

Was ein Satellit „sieht“, hängt davon ab, mit welchen „Augen“ – sprich Aufnahmegerten – 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 (**Environmental Satellite**), der Umweltsatellit der Europäischen Weltraumorganisation ESA (**European Space Agency**), ist ein echter „Multifunktionsatellit“: 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

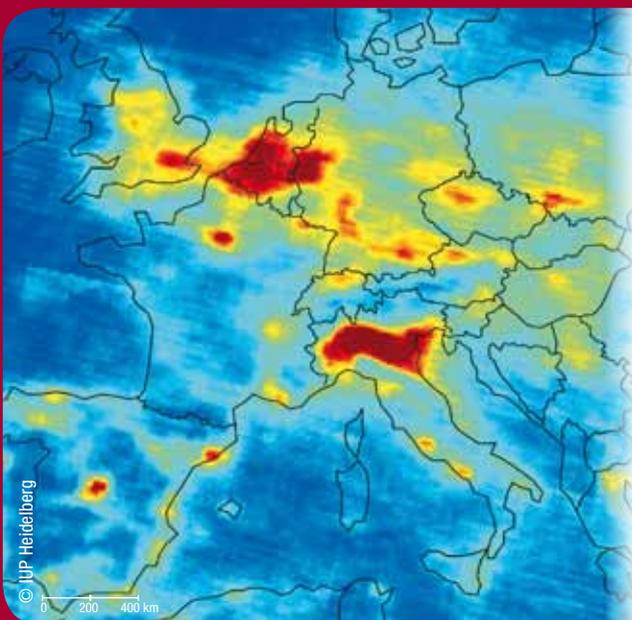
ENVISAT sammelt und überträgt bis zu 280 Gigabyte Daten pro Tag. Das Datenvolumen entspricht etwa 70.000 Mp3-Dateien.



© ESA

MERIS (**ME**diu**M** **R**esolution **I**maging **S**pectrometer) und AATSR (**Ad**vanced **A**long-Track **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.

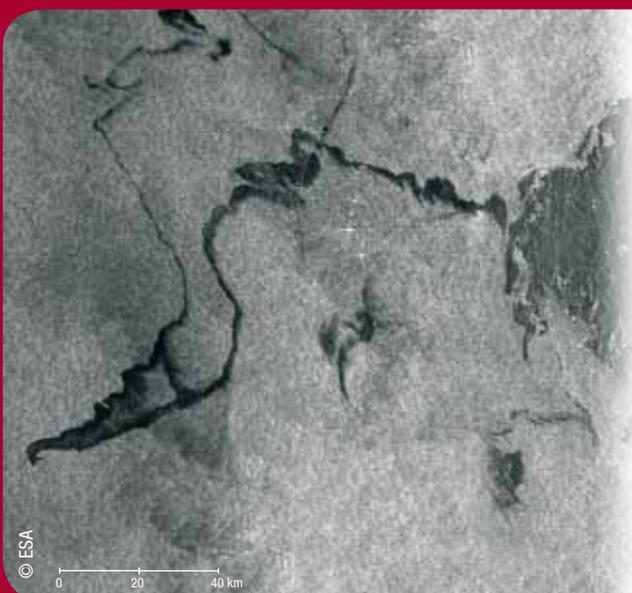
Die Algenblüte vor der Ostküste Schottlands (07.05.2008)



© IUP Heidelberg

SCIAMACHY (**SC**anning **I**maging **A**bsorption **S**pectro**M**eter for **A**tmospheric **CH**artography) 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 NO₂-Konzentration in der Atmosphäre über Europa (2003/2004).



© ESA

ASAR (**Ad**vanced **S**ynthetic **A**perture **R**adar) arbeitet 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).

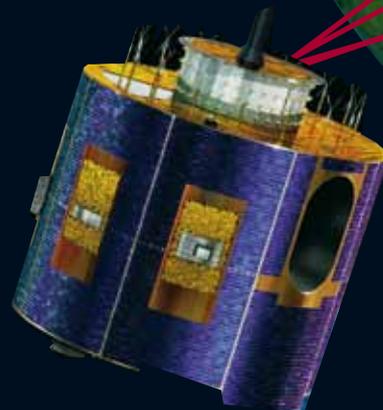
3 – Das Wetter

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.



Äquator 0°

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 9

METEOSAT – der europäische „Wetterfrosch“

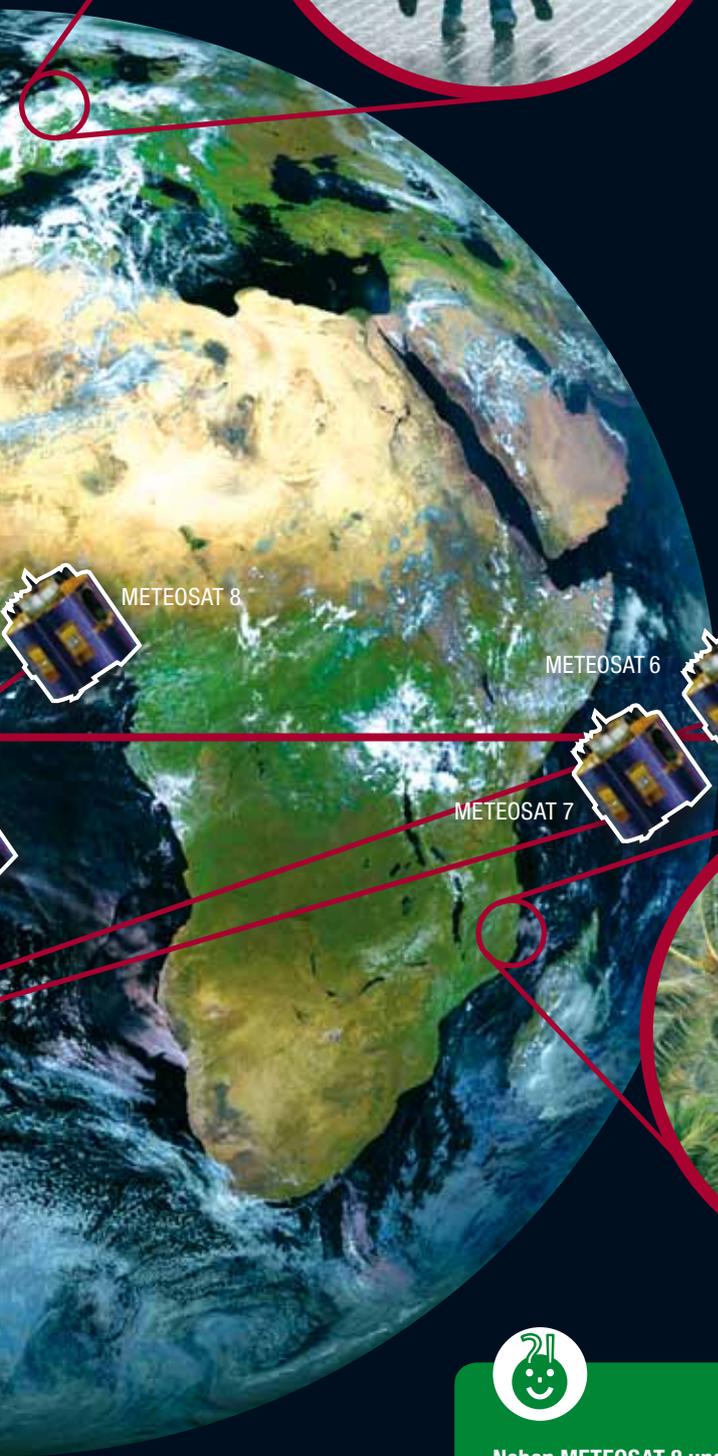
Der berühmte Wetterfrosch, der in einem Einmachglas auf seiner Leiter hoch- oder runterklettert und damit auf das kommende Wetter schließen lässt, hat ausgedient. Seine Nachfolger liefern deutlich zuverlässigere Ergebnisse, „klettern“ dafür aber auch viel höher. 36.000 Kilometer über der Erdoberfläche stehen die beiden geostationären Satelliten METEOSAT 8 und 9 (**M**eteorological **S**atellite) und senden alle 15 Minuten ein aktuelles Bild an die EUMETSAT-Zentrale in Darmstadt (**E**uropean Organisation for the Exploitation of **M**eteorological **S**atellites). 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.



© Fotolia



© 2004 EUMETSAT

METEOSAT 8

METEOSAT 6

METEOSAT 7



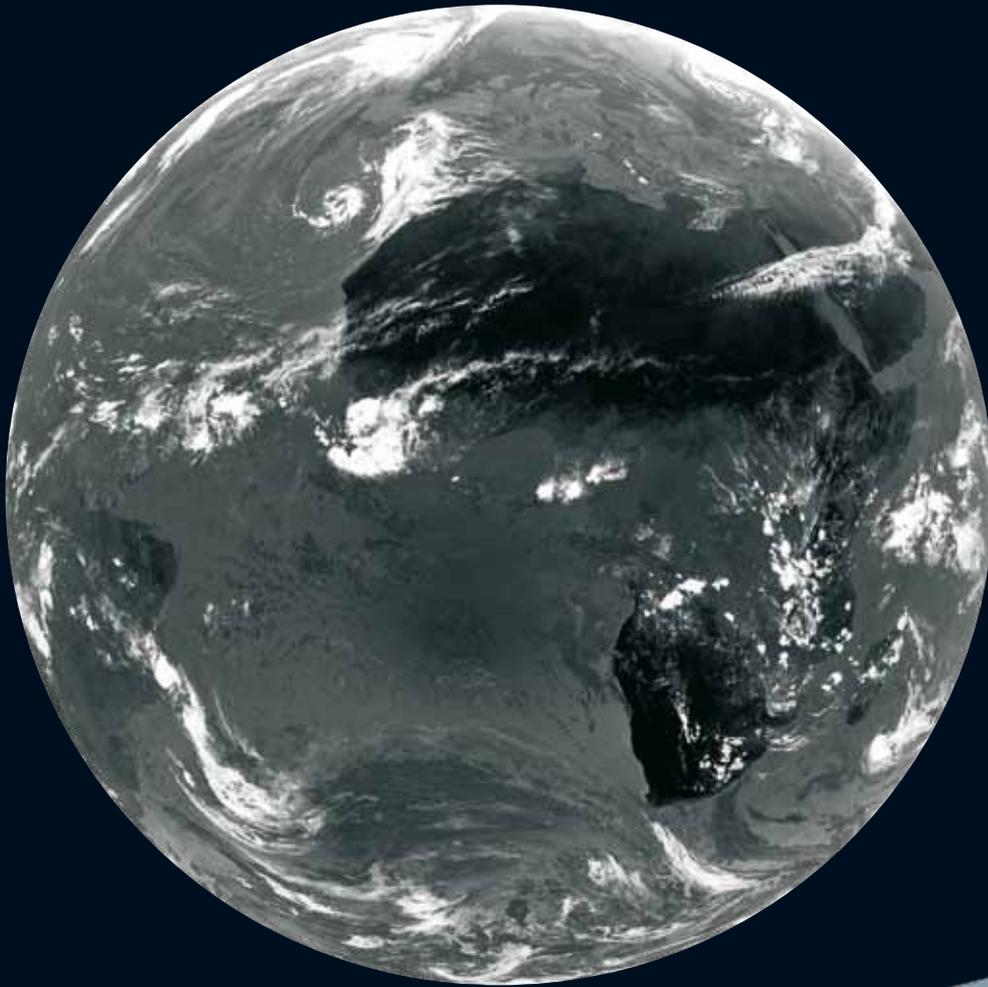
© Fotolia



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.

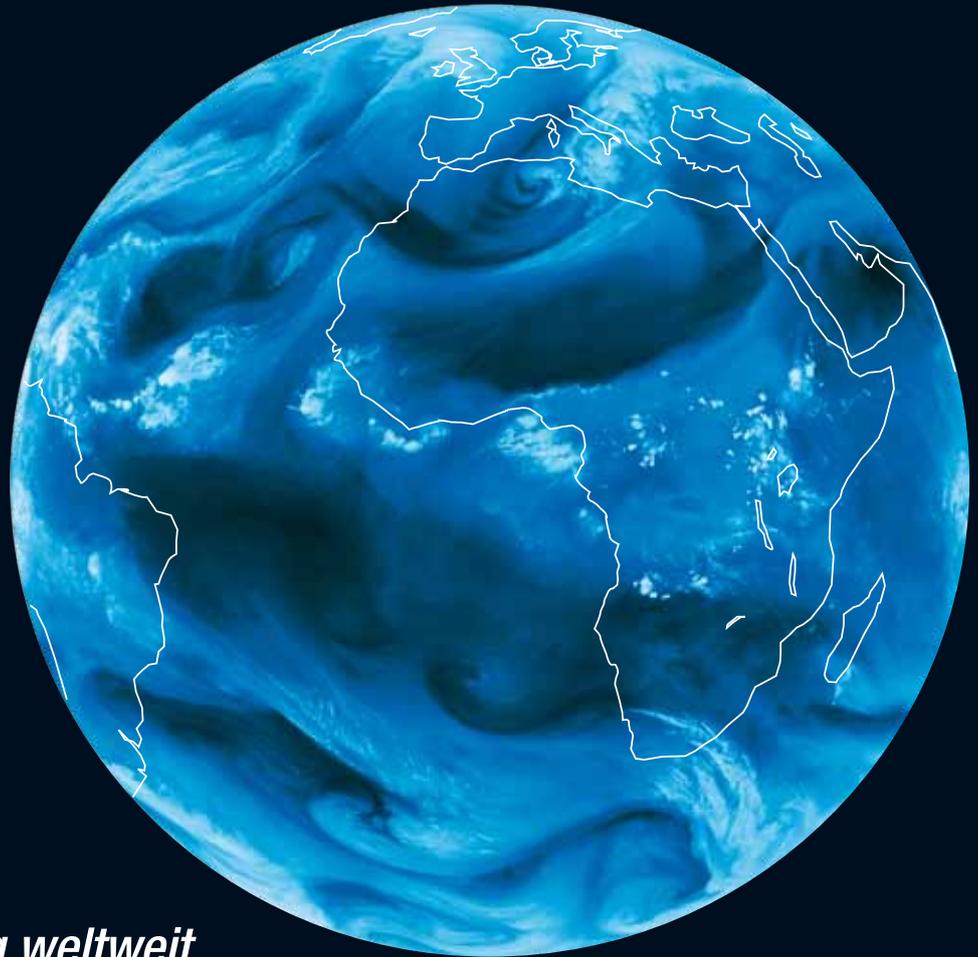
Wetterphänomene aus Satellitensicht

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.

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

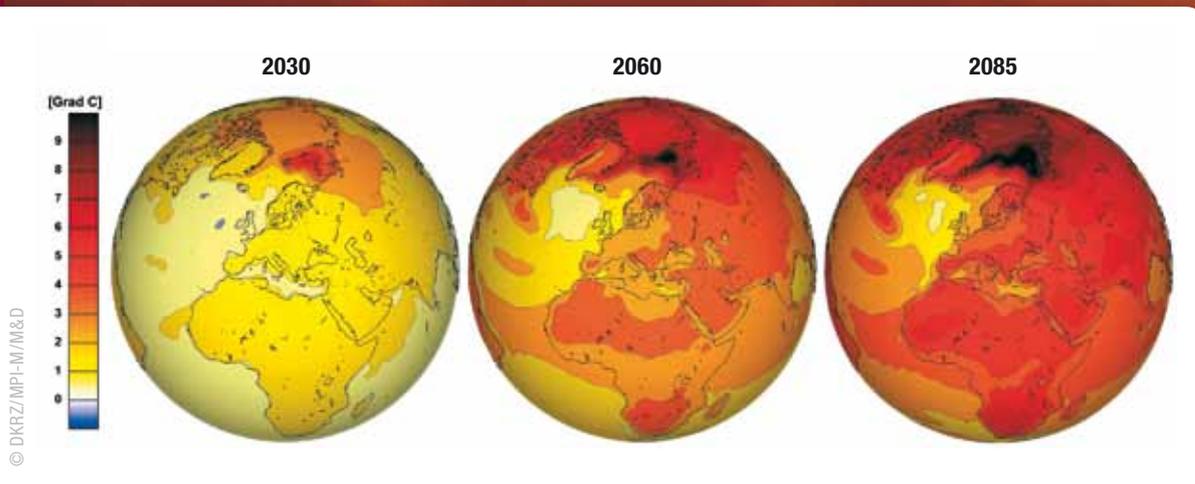
Um das Wetter kontinuierlich im Blick zu behalten, betreiben verschiedene Nationen – darunter die USA, Russland, Japan und China – eigene Wettersatelliten. Mit den geostationären METEOSAT-Satelliten leistet auch Europa einen wesentlichen Beitrag zur weltweiten Sammlung und Auswertung von Wetterdaten. 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.

Die Erde verheizt?

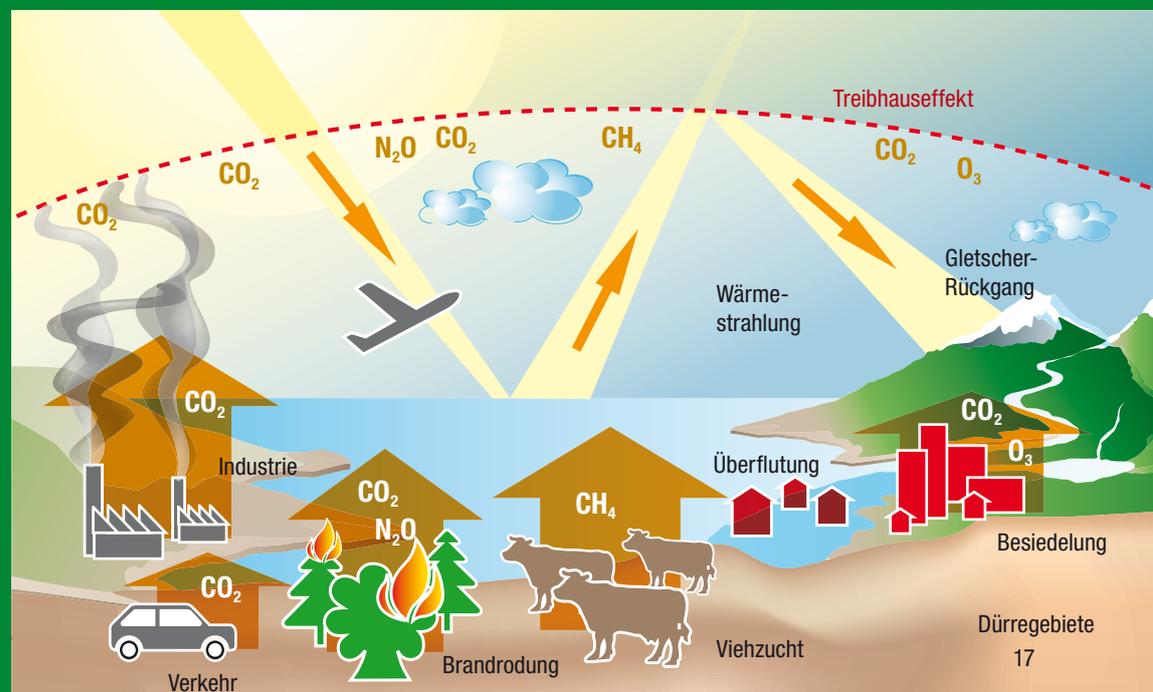
Die globale Erwärmung schreitet voran und alles lässt darauf schließen, dass der Mensch erheblich dazu beiträgt – im Wesentlichen durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie Erdöl und Kohle. Sie sind der „Treibstoff“ für Wohlstand und Fortschritt, sowohl in der Wirtschaft als auch im privaten Bereich: 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 Kohlendioxid 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.



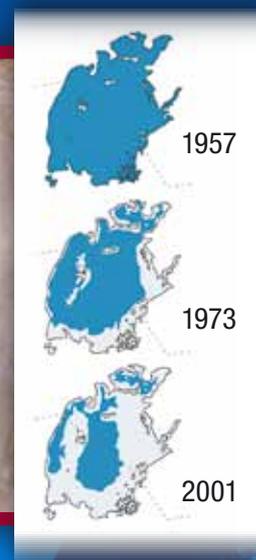
So „funktioniert“ der Treibhauseffekt: Die Erdatmosphäre lässt Sonnenstrahlung eindringen. Dies ist Voraussetzung für das Leben auf der Erde. Zugleich ist es wichtig für den irdischen Energie-Haushalt, dass ein Teil der Wärme wieder in den Weltraum abgegeben wird. Schadstoffe wie Kohlendioxid oder andere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



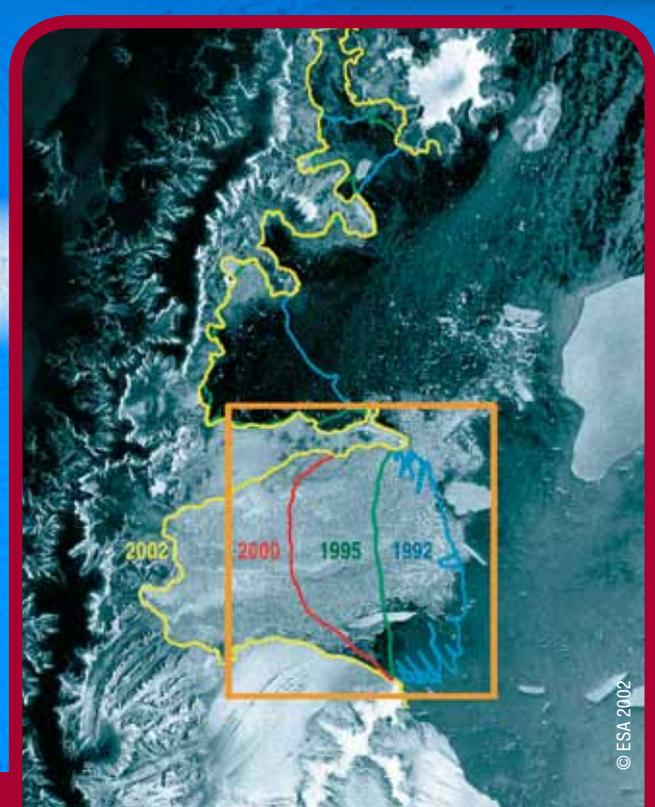
Alarmierende Bilder ...

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!“

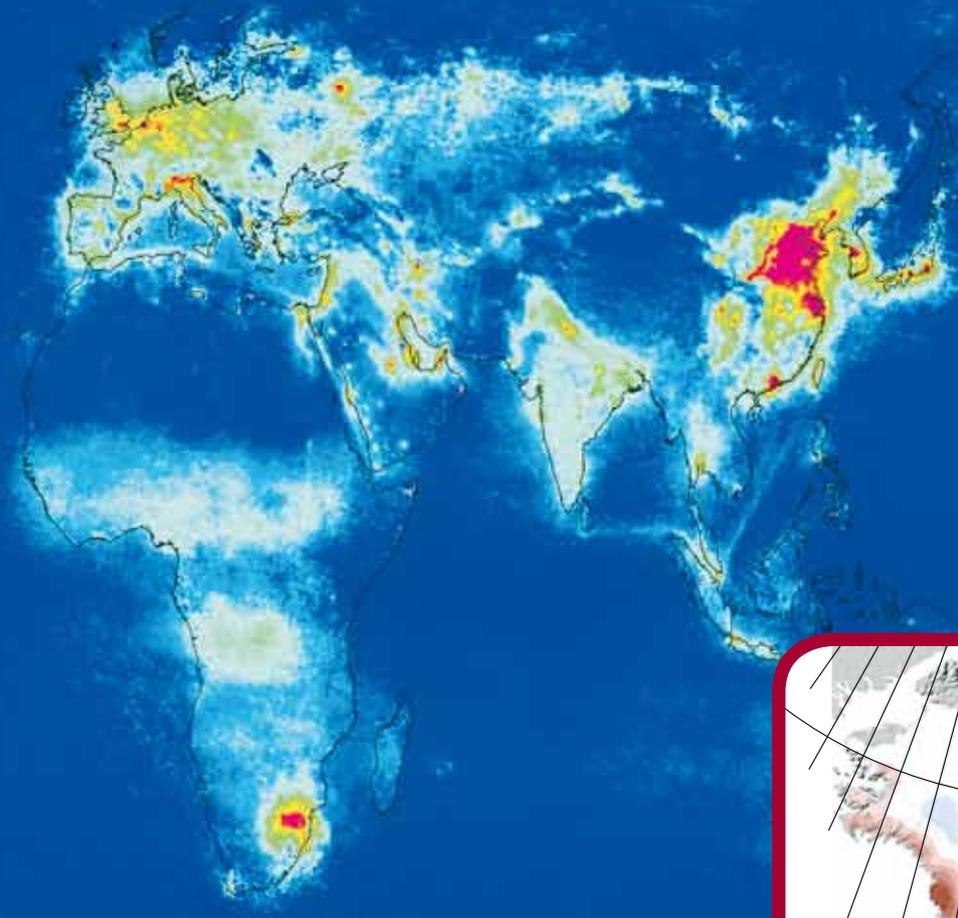
Damit all das auch der Öffentlichkeit bekannt wird, spielt übrigens auch eine andere Art von Satelliten eine wichtige Rolle: Kommunikationssatelliten. Sie verbreiten die brisanten Informationen rasant im gesamten „globalen Dorf“ und helfen so, die Menschen überall auf der Erde im wahrsten Sinne des Wortes „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 (NO₂) in der Erdatmosphäre. Rot bezeichnet eine sehr hohe, blau eine verhältnismäßig niedrige Konzentration.

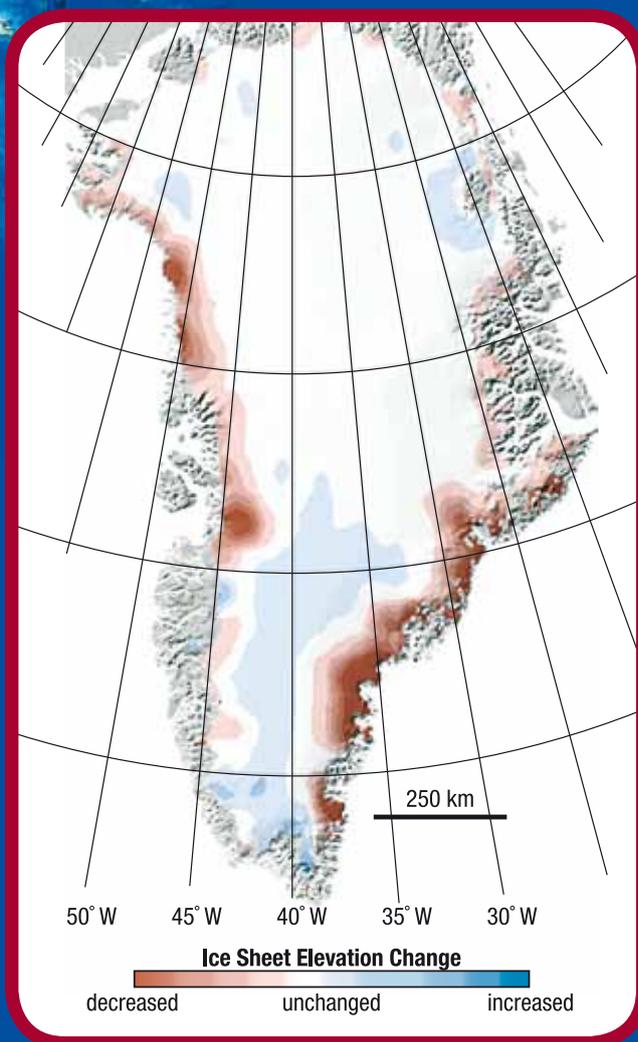
Die ausgewerteten Satellitendaten ergeben eine deutliche Abnahme der Eisdicke entlang der Küste Grönlands – nämlich an all den Stellen, die rötlich eingezeichnet sind.

... und ihre Ursachen

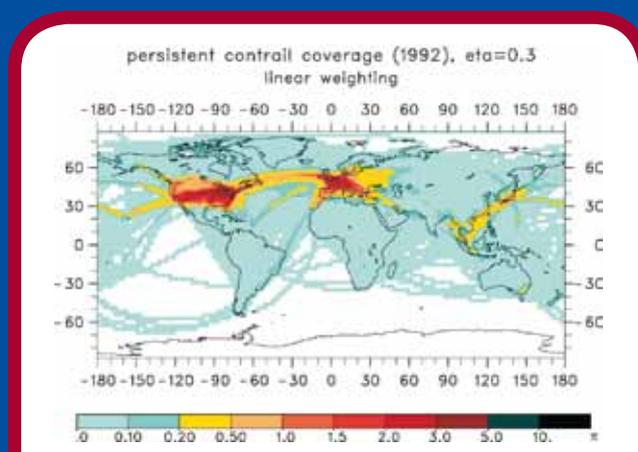
Handfeste Daten untermauern die Aussagen der Bilder: Die Vermessung aus dem Weltall ergab beispielsweise, dass die Fläche des Larsen-Schelfeises von 11.500 Quadratkilometern im Jahr 1995 auf 2.500 Quadratkilometer schrumpfte. Mit Satellitenmessungen ließ sich diese Entwicklung auch genau begründen: Die 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 Haupttrouten 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 meistgenutzten Flugrouten heben sich in gelben und roten Farben deutlich ab.



Quelle: NASA Earth Observatory (NEO)



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 verregener werden? Wenn Wasser unbegrenzt und billig aus unseren Wasserhähnen läuft, wir sogar täglich duschen und unsere Toiletten damit spülen können?

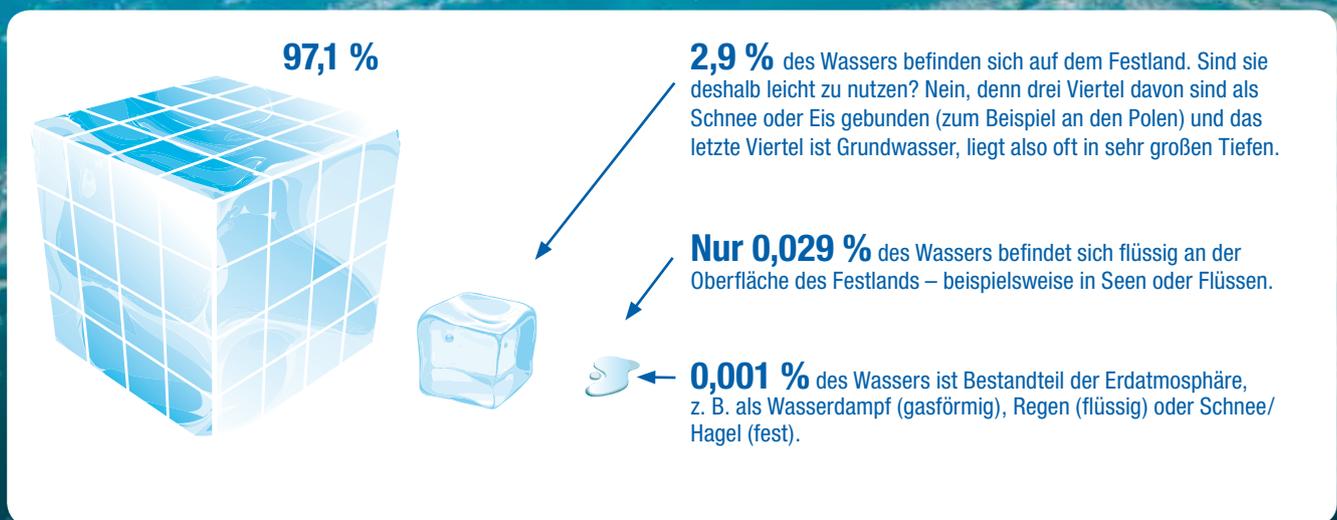
Wir sollten uns nicht täuschen: In manchen Regionen der Erde wird es künftig nur noch durch den Einsatz modernster Satellitentechnologie gelingen, das Problem des Wassermangels auch nur annähernd in den Griff zu bekommen. Schon heute verfügen viele Menschen nicht über sauberes Trinkwasser.

- 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:



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:

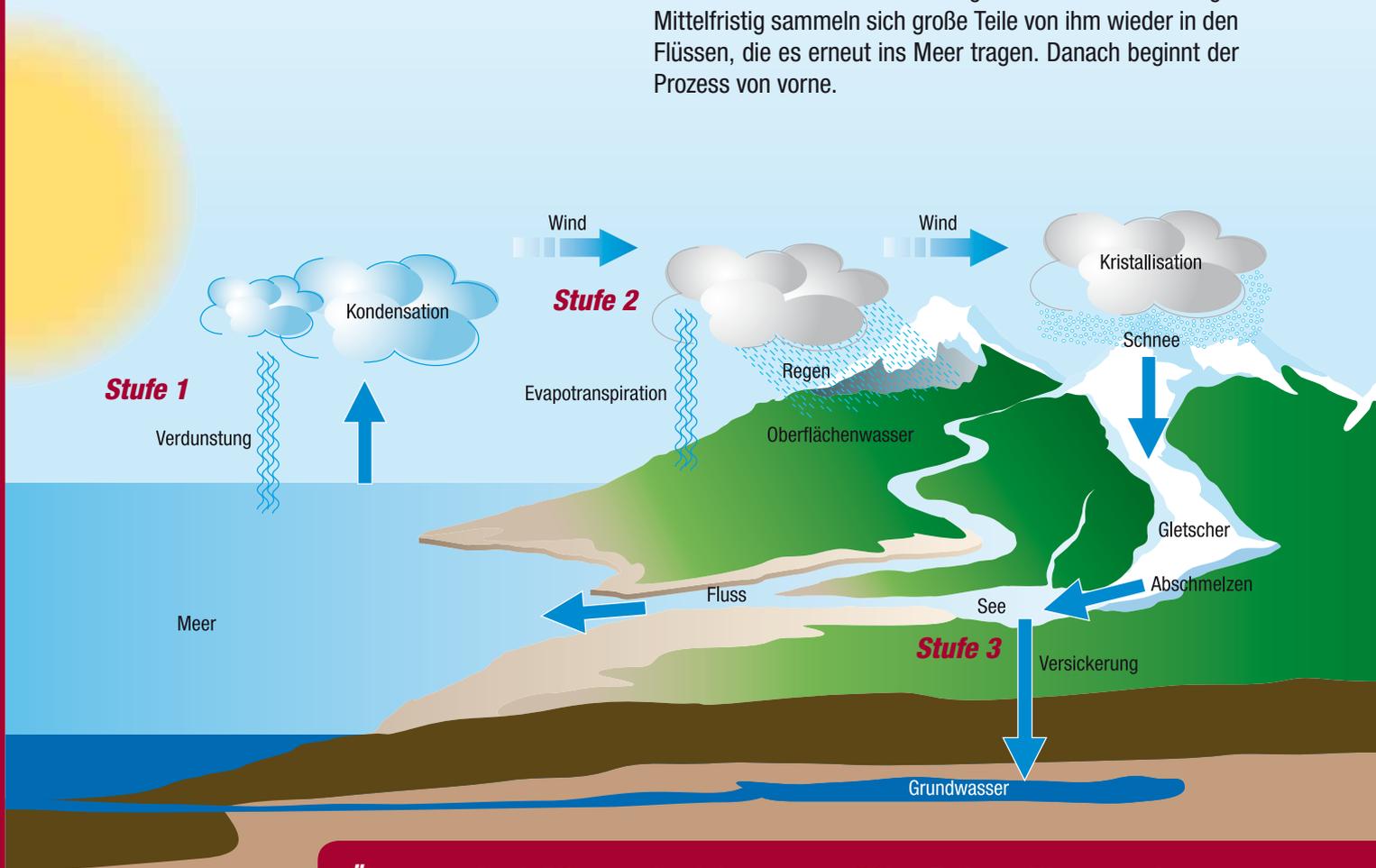
Die Sonneneinstrahlung lässt über den Ozeanen große Mengen Wasser verdunsten. Es steigt in die Atmosphäre auf. Das ist bereits ein riesiger Reinigungsprozess, denn Schadstoffe im Wasser sind zu schwer, um mit aufzusteigen.

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?

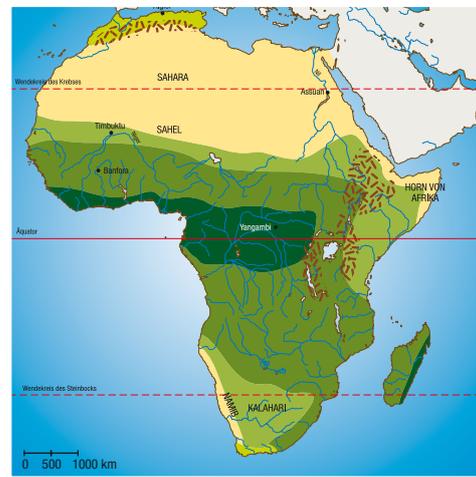
Schön, wenn der Wasserkreislauf so reibungslos funktioniert und uns immer wieder mit „frischem“ Wasser versorgt. Es gibt aber auch Regionen auf der Welt, wo das nicht so einwandfrei funktioniert. Eine Milliarde Menschen – vorwiegend in Afrika und Asien – haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser,

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 ...

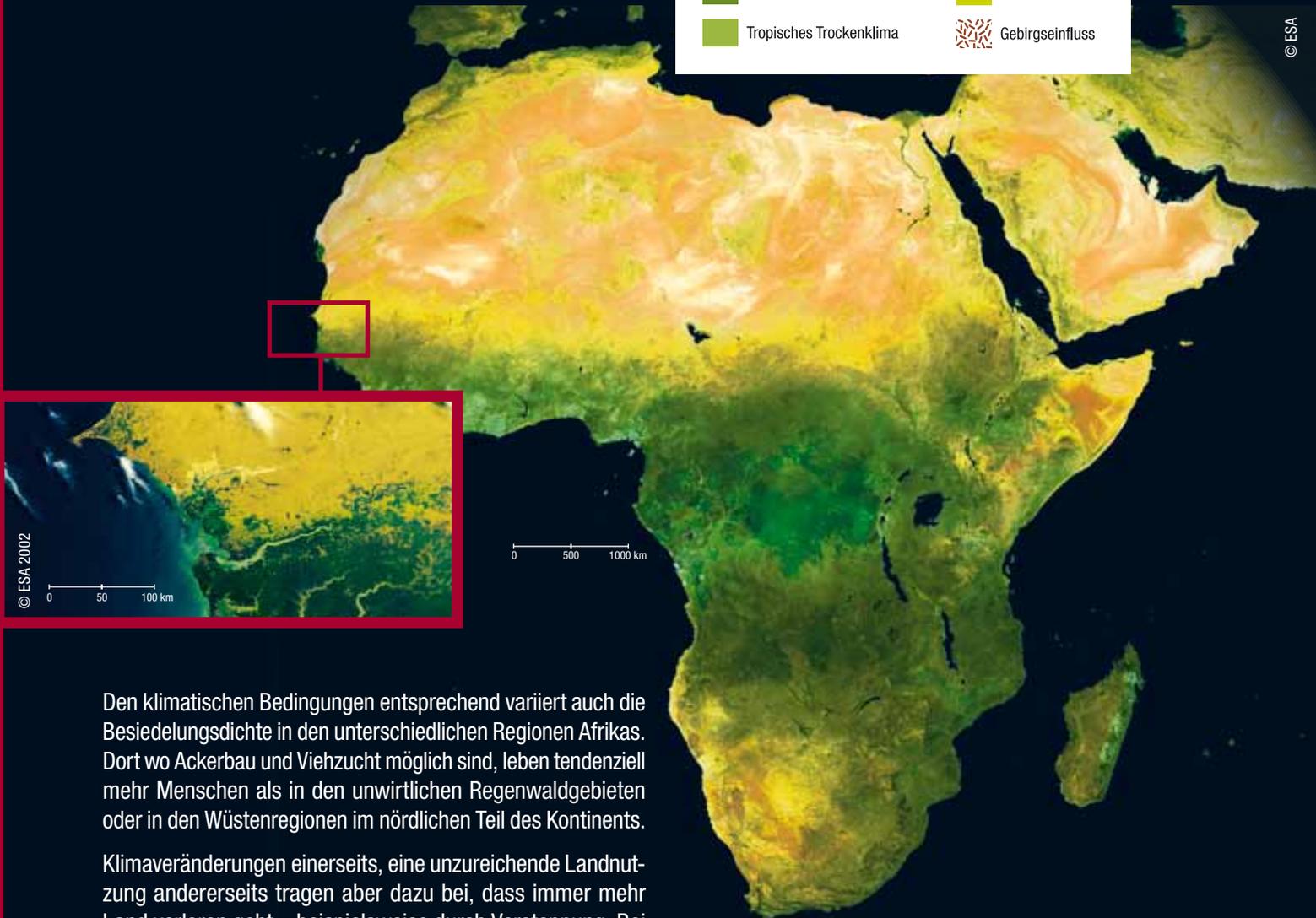
Afrika – alles so grün hier

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 |  | Wüstenklima |
|  | Wechselfeuchtes Tropenklima |  | Mittelmeerklima |
|  | Tropisches Trockenklima |  | Gebirgseinfluss |



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 flusnnahen 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.

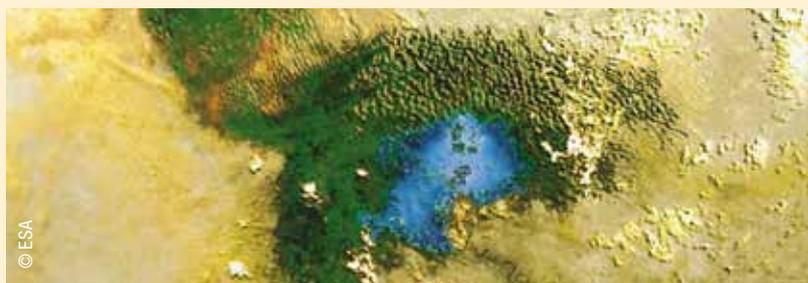
- Mit den Daten des langwelligen Radars eines weiteren Satelliten geht der Blick zusätzlich mehrere Meter tief unter die Erdoberfläche. So „sieht“ der Satellit, wo der Boden feucht ist.

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.



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.



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.

© Michael Walthel



© X. Zimbarido/Hoa Qui



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.

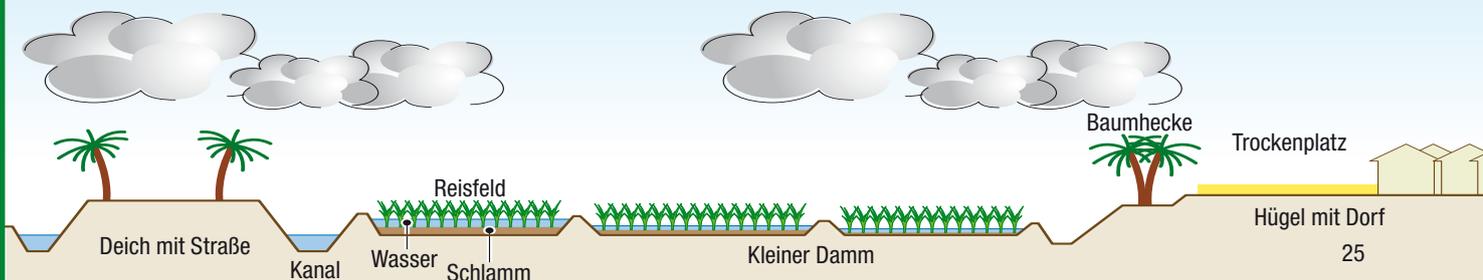
Auf dieser Aufnahme des Mekong-Deltas sind die großen Mengen an Schlamm und das dadurch entstandene Schwemmland gut zu erkennen.

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.



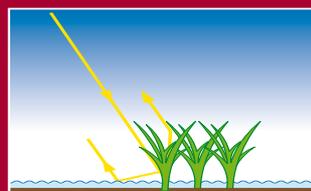
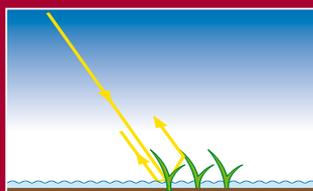
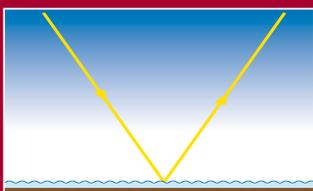
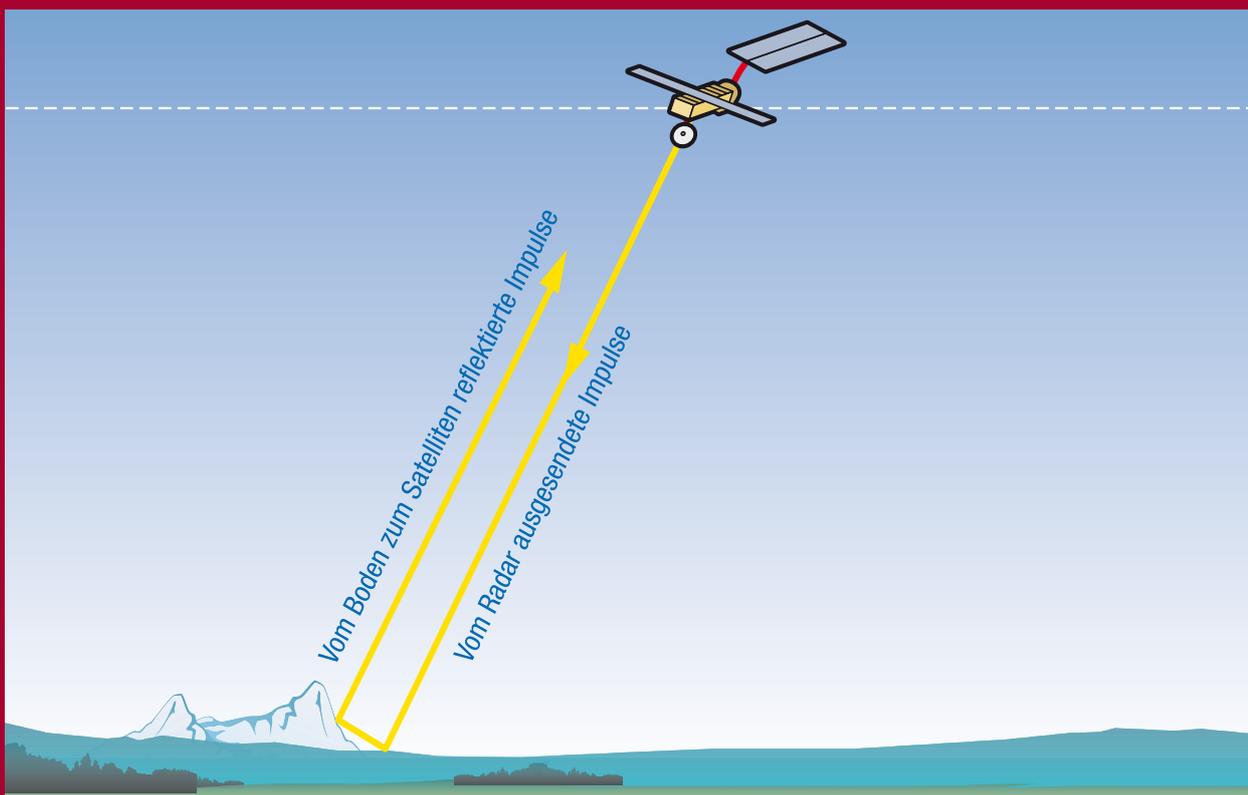
Besser geplant, häufiger geerntet

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.

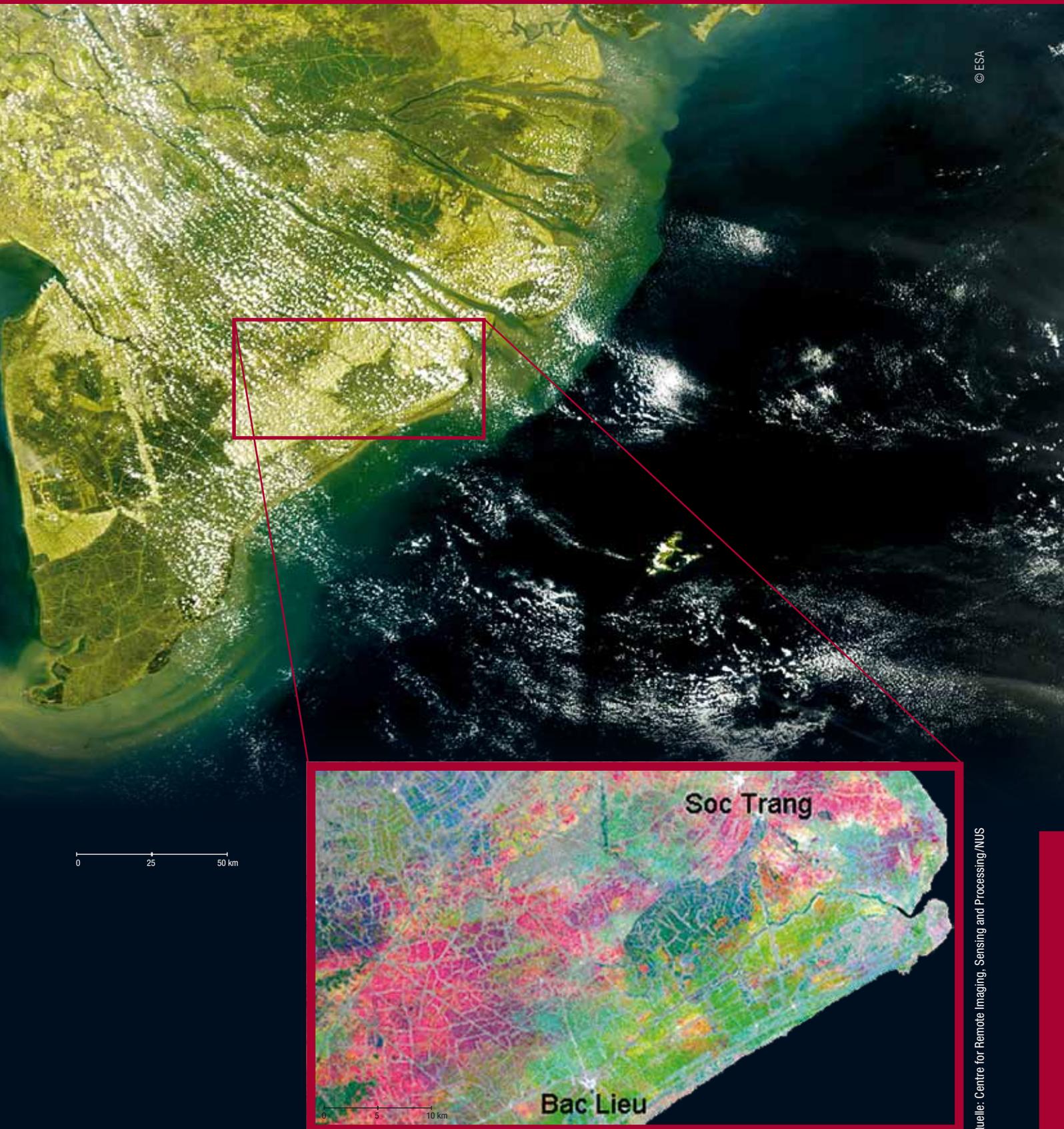
Die entsprechenden Informationen am Boden zu „sammeln“ – und das noch für ein ganzes Land und über ein ganzes Jahr hinweg – ist überaus kostenintensiv und sehr ungenau. Per Satellit können alle erforderlichen Daten auch für ein sehr großes Gebiet regelmäßig zur Verfügung gestellt werden. Dabei lassen 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.



Der Wachstumszyklus von Reis ist dreiteilig: Er erstreckt sich vom Sprießen der ersten Sprosslinge 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

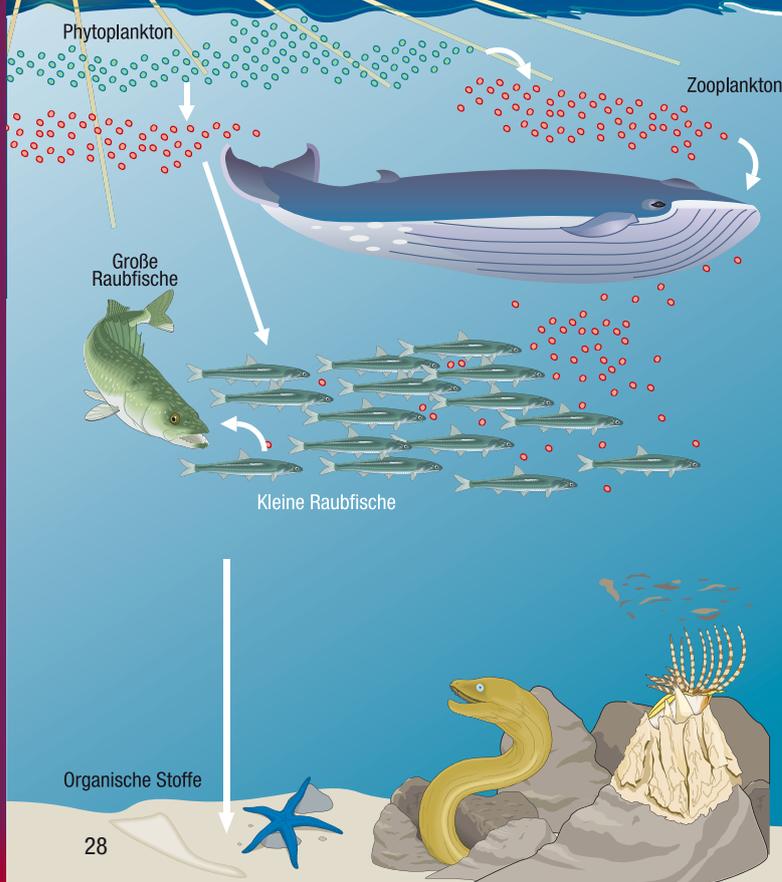


Ökosysteme sind komplexe biologische Einheiten aus verschiedenen Organismen, die eine Lebensgemeinschaft bilden (Biotop) sowie die zwischen diesen Organismen herrschenden Wechselbeziehungen (Biozönose). Wesentliches Merkmal eines Ökosystems ist die in ihm etablierte Nahrungskette, deren Grundbestandteile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

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.

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.

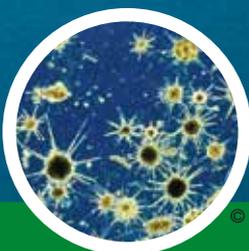


Fressen und gefressen werden

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 Kleinstkrebser) 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“.

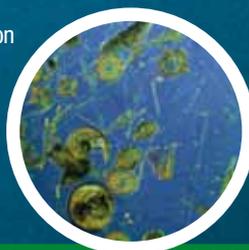


Phytoplankton



© K. Manfred/P. Arnold/Bios

Zooplankton



© C. Carré/Phone/Bios

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 (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) des Umweltsatelliten ENVISAT.

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

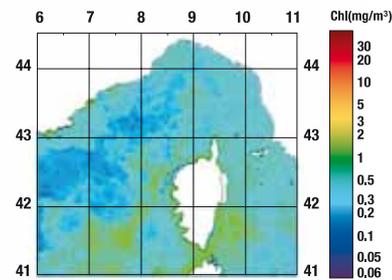


© ESA

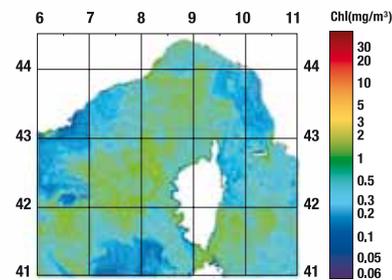
Da das Plankton in seinem Wachstum sehr stark von der Meerestemperatur abhängt, verändert die Erwärmung unseres Planeten auch das Gleichgewicht des Ökosystems Meer. Bei Klimaveränderungen besteht die Gefahr, dass sich die Wachstumszyklen verschieben und entsprechend das Verhältnis zwischen „Futter“ und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

Um das Gleichgewicht zu bewahren, ist es wichtig, die Entwicklung der Biomasse (Phytoplankton und Zooplankton) im

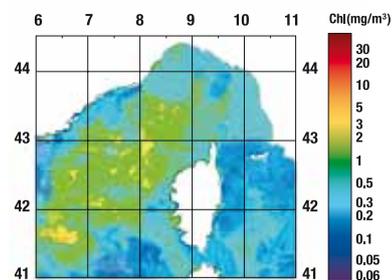
Auge zu behalten. Satelliten gelingt es, die Menge und Verbreitung von Plankton über große Gebiete hinweg zu erfassen, indem sie Chlorophyll-Konzentration und Wassertemperaturen messen. Die Auswertung der Daten lässt Rückschlüsse darauf zu, ob sich das Meer in einem „gesunden“ Zustand befindet oder ob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



3. März 2004



1. April 2004



5. April 2004

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

© Doc White/Hoa Qui

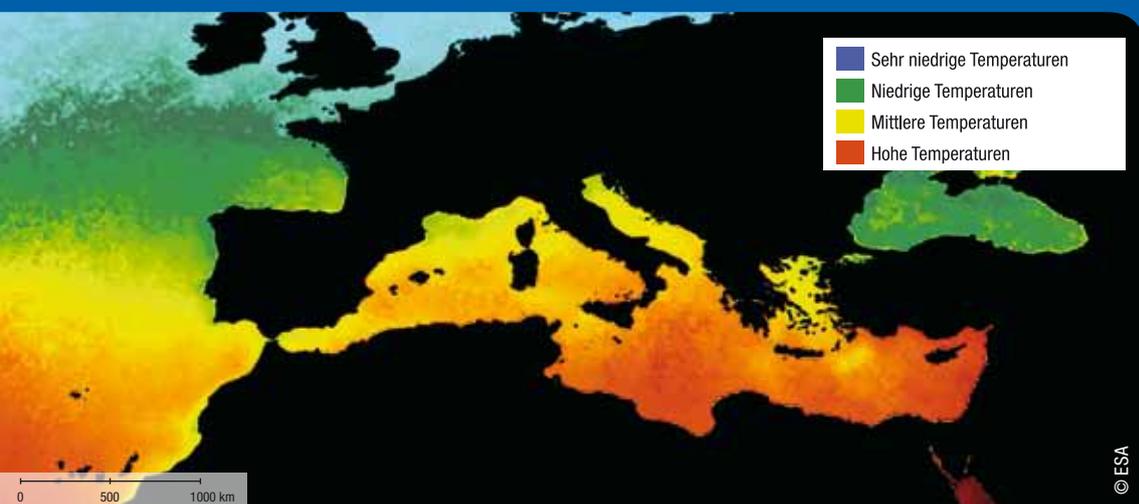
Es wird warm!

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.

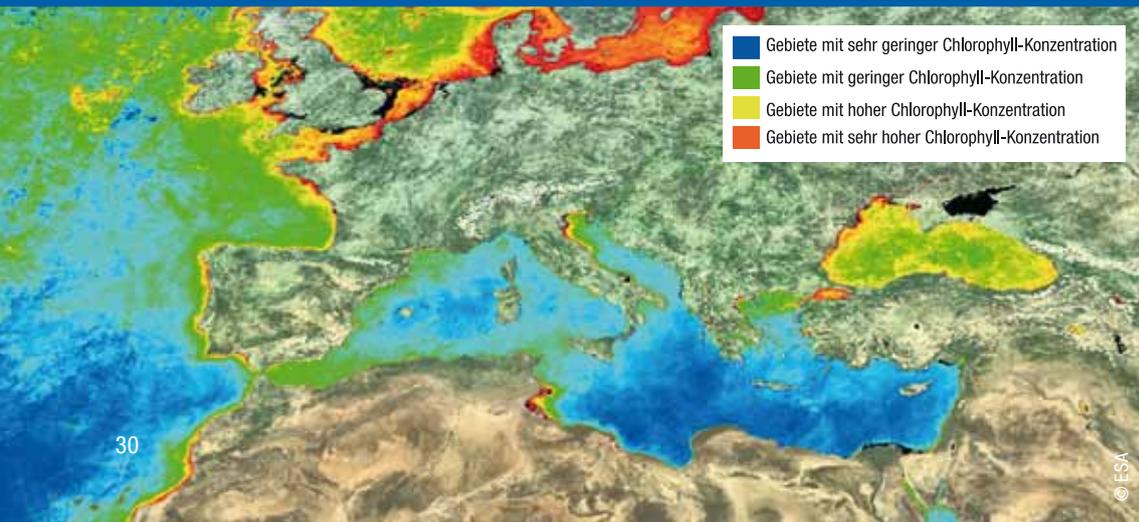
Die steigenden Temperaturen verursachen auch das langsame Abschmelzen der Polkappen und der riesigen Gletscherfelder Grönlands. Wird dieser Prozess nicht aufgehalten, droht der Meeresspiegel langfristig so sehr zu steigen, dass Tausende von Inseln oder auch niedrig gelegene Küstenregionen – einige von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

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.

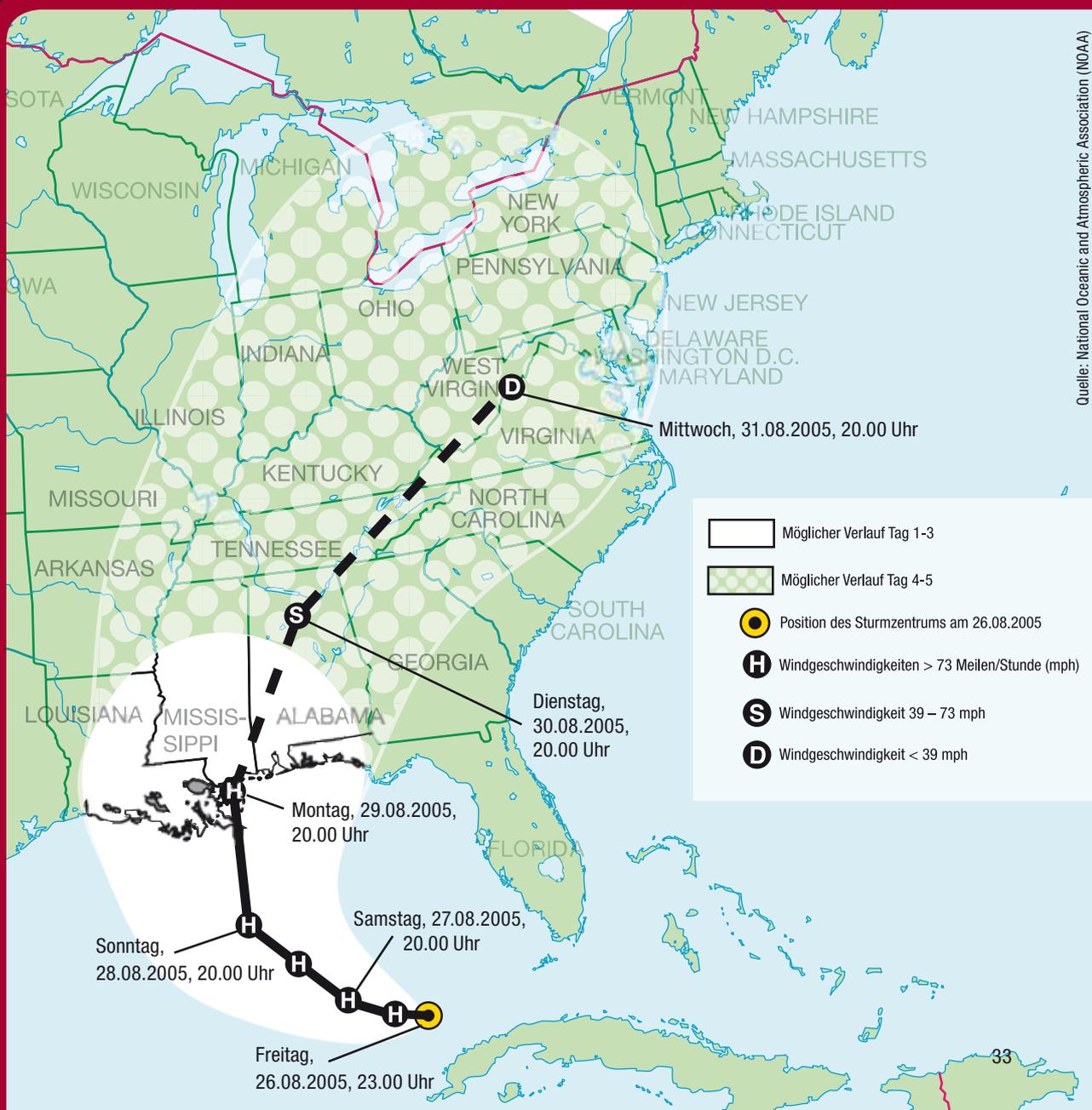
Satelliten können Naturkatastrophen nicht verhindern – höchstens, indem die von ihnen erhobenen Daten dazu beitragen, den Klimawandel wirksam zu bekämpfen. Sie leisten aber einen wichtigen Beitrag dazu, die Folgen von Katastrophen zu minimieren und Rettungsmaßnahmen wirkungsvoll zu unterstützen. Und 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.





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.

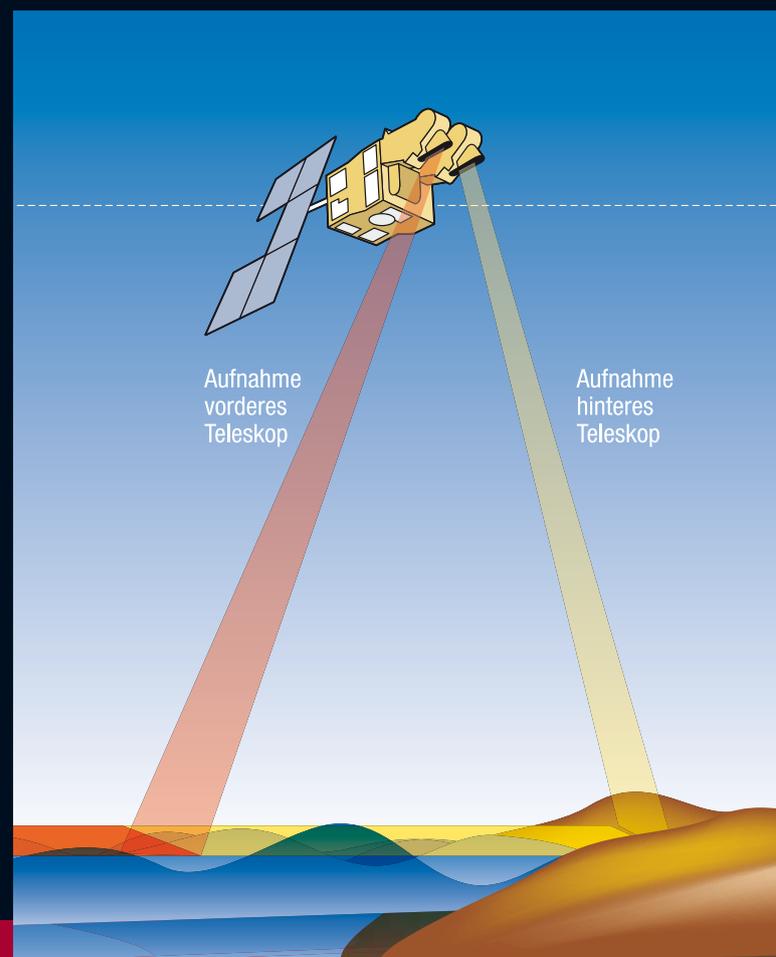
See- und Erdbeben, Vulkanismus

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.

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.

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.





© CNES

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

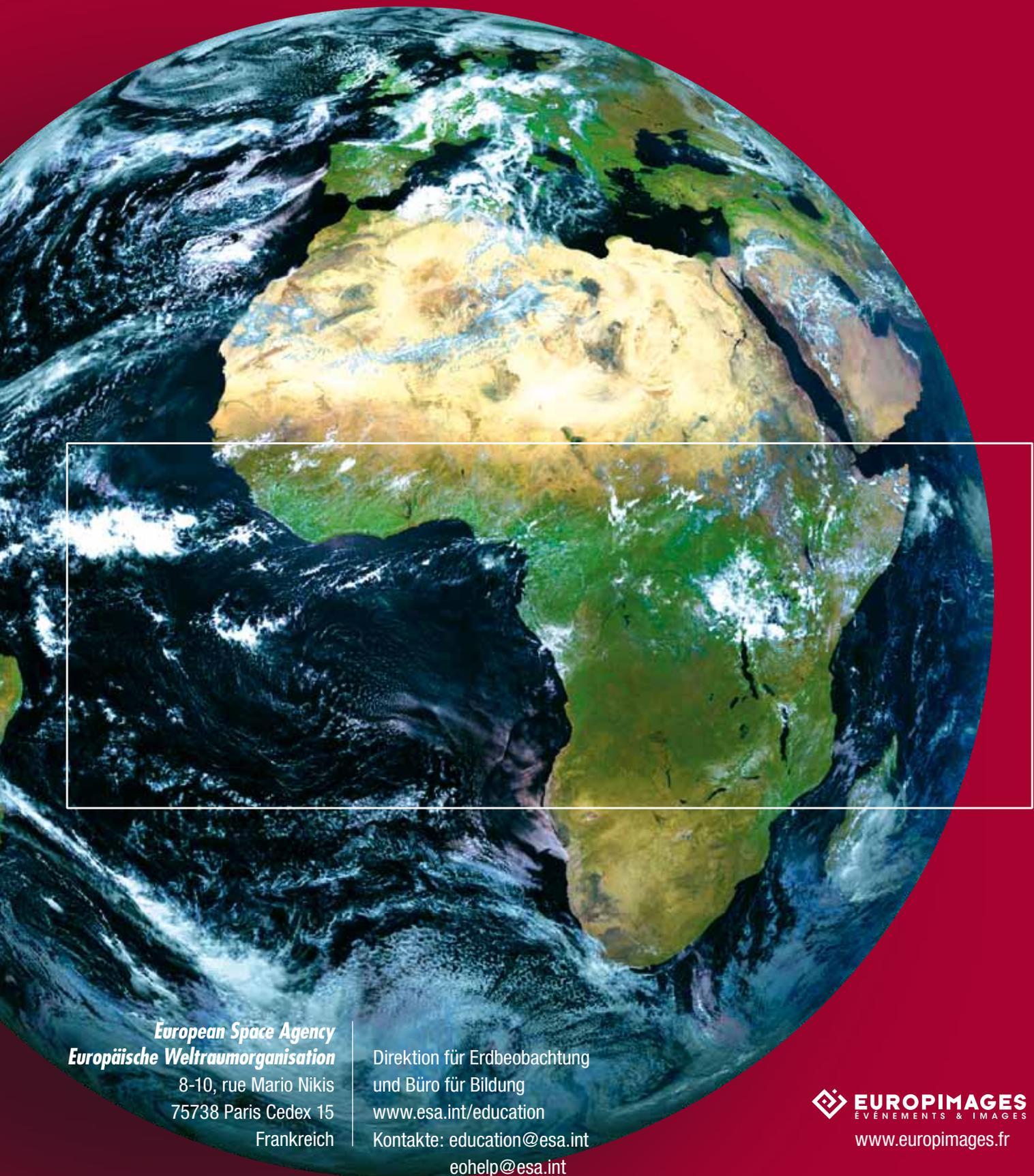


Hochwasser

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

 **EUROPIMAGES**
ÉVÉNEMENTS & IMAGES
www.europimages.fr

**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


CD WERBEAGENTUR GMBH
www.cdonline.de