



Erdbeobachtungssatelliten sind zu einem der wichtigsten Instrumente für die Überwachung des Zustands unseres Planeten geworden. Im Rahmen der Aufgaben der Europäischen Weltraumorganisation ist die Satellitenfernerkundung zu einem Schlüsselement geworden, das nicht nur den europäischen Gesellschaften unschätzbare Informationen über ihre Umwelt und deren Entwicklung liefert.

Mit dem ESA Schulatlas setzen eoVision und die ESA ihre langjährige Zusammenarbeit fort, indem sie Lehrern und Schülern weiterführender Schulen aktuelles Unterrichtsmaterial zur Verfügung stellen, das in die Nutzung von Satellitendaten einführt und das enorme Potenzial der Erdbeobachtung zur Bewältigung der wichtigen Herausforderungen unserer Zeit nutzt.

Der ESA-Schulatlas besteht aus diesem gedruckten Atlas und einer zusätzlichen Online-Version, die eine Fülle von Fallstudien zu einer Vielzahl von Themen bietet:



www.esa-schoolatlas.eu

ISBN 978-3-902834-33-1



9 783902 183433

www.eovision.at

Die Erde aus dem All

ESA SCHULATLAS

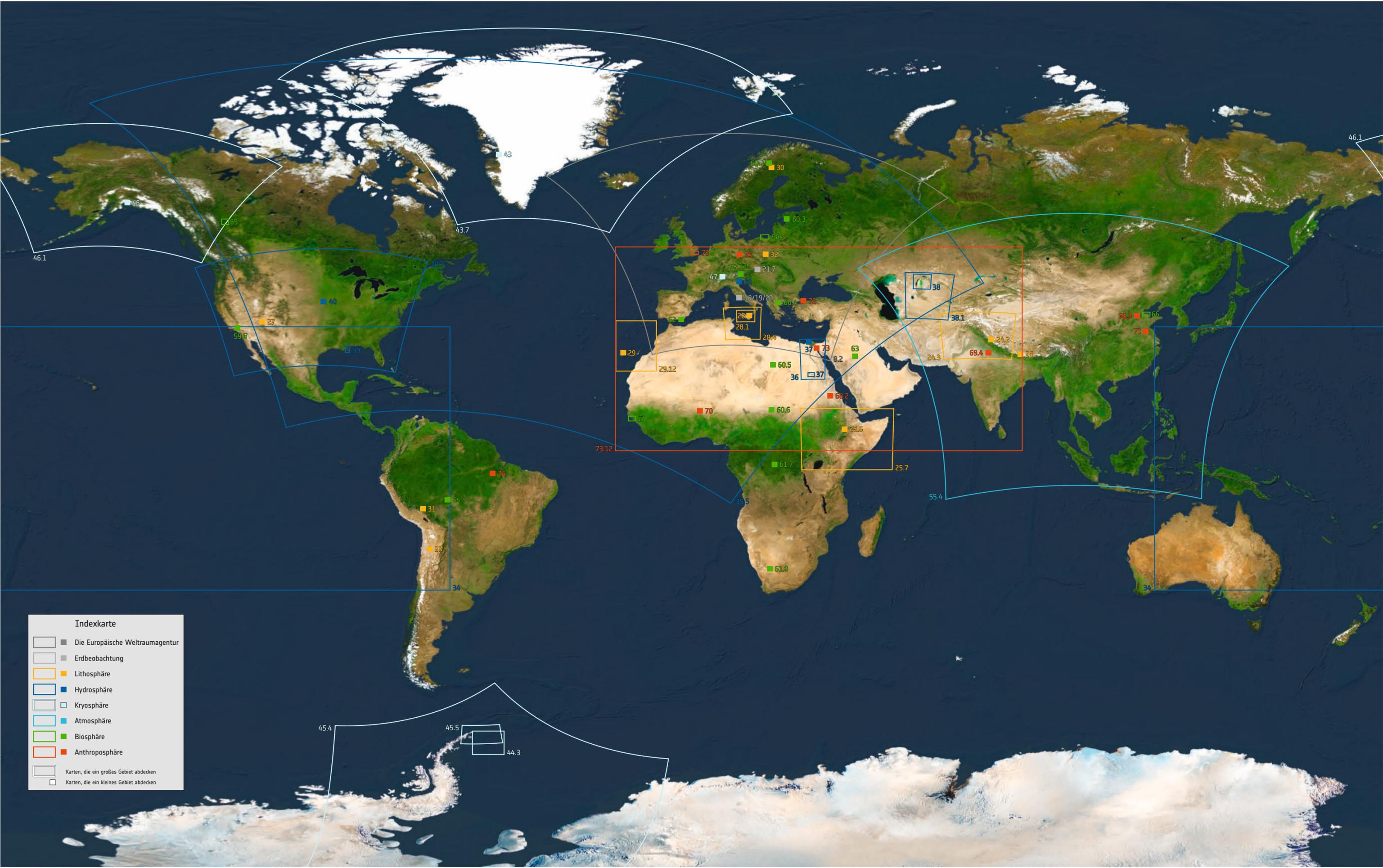
eoVISION
MEDIA

EUROPÄISCHE WELTRAUMORGANISATION

ESA SCHULATLAS

Die Erde aus dem All

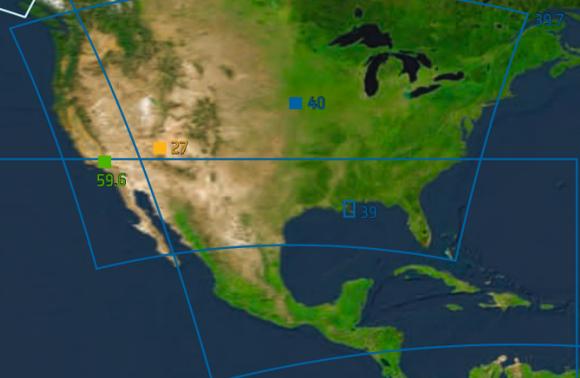




Indexkarte

- Die Europäische Weltraumagentur
- Erdbeobachtung
- Lithosphäre
- Hydrosphäre
- Kryosphäre
- Atmosphäre
- Biosphäre
- Anthroposphäre

Karten, die ein großes Gebiet abdecken
 Karten, die ein kleines Gebiet abdecken



ESA SCHULATLAS

Die Erde aus dem All

ESA SCHULATLAS

Die Erde aus dem All

1. Atlas-Auflage 2024

© 2024 eoVision GmbH
Franz-Josef-Straße 19
5020 Salzburg, Österreich
Tel.: +43 662 243217
office@eovision.at
www.eovision.at

Koordination

Markus Eisl

Karten- und Bildproduktion

Markus Eisl, Gerald Mansberger

Idee und Konzept

Markus Eisl, Gerald Mansberger

Redaktion

Markus Eisl

Layout

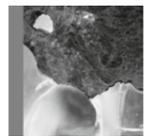
eoVision, Salzburg

Gedruckt in der Europäischen Union

ISBN: 978-3-902834-33-1

Inhalt

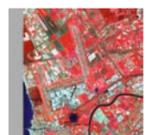
Vorwort	6
Über den Atlas	7
UN-Nachhaltigkeitsziele (SDGs)	7



Die Europäische Weltraumagentur

8

Europäische Weltraumorganisation ESA	8
ESA-Einrichtungen	9
Weltraumforschung	10
Raumflug	
Trägerraketen	11
Bemannter Raumflug	11
Forschung für die Erdbeobachtung	12
Bildungsprogramm der ESA	13
Copernicus	
Überwachung der Erde	14
Copernicus Informationsdienste	14
Die Sentinel-Satellitenflotte	15



Erdbeobachtung

16

Satellitentypen	16
Satellitenorbits	17
Optische Satellitendaten	18
Radarsatellitendaten	19

Von Satellitendaten zu Bildern	20
Von Satellitendaten zu Karten	21
Die Erde aus dem All	22



Lithosphäre

24

Globale Tektonik	
Tectonische Platten	24
Faltengebirge – Himalaja	24
Grabenbruch – Ostafrikanischer Graben	25
Landschaftsformen	
Glaziale Erosion – Himalaja	26
Fluviale Erosion – Der Grand Canyon	27
Vulkanismus	
Mount Etna	28
La Palma	29
Bergbau	
Kupferabbau – Aitik-Mine	30
Goldabbau – Madre de Dios	31
Kohlenbergbau – Bełchatów	32
Lithiumgewinnung – Salar de Atacama	33



Hydrosphäre

34

Meeres-Oberflächentemperaturen	
Globale Meerestemperaturen	34
El Niño und La Niña	34
Golfstrom und Nordatlantikstrom	35
Hydrologische Systeme	
Der Nil	36
Der Aralsee	38
Der Mississippi	39
Überschwemmungen	
Überschwemmung – Plattsmouth	40
Überflutungsschutz – Venedig	41

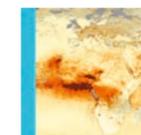
Inhalt



Kryosphäre

42

Arktis	
Polareis in der Arktis	42
Eis auf Grönland	43
Antarktika	
Eisschild und Schelfeis	44
Eisberg A23a	45
Gletscher	
Columbia-Gletscher	46
Aletschgletscher	47



Atmosphäre

48

Globale Oberflächentemperaturen	48
Wolkenbedeckung und Niederschlag	
Globaler Niederschlag	50
Globale Wolkenbedeckung	50
Klimadiagramme	51
Jahres- und Tageszeiten	
Die Erde im sichtbaren Licht	52
Die Erde im infraroten Licht	53
Spurengase	
Stickstoffdioxid (NO ₂)	54
Kohlendioxid (CO ₂)	54
Methan (CH ₄)	55
Ozon (O ₃) und Ozonloch	55

Klimazonen	56
-------------------	----



Biosphäre

58

Biomasse	
Leben im Wasser	58
Landvegetation	59

Bodenbedeckung und Landnutzung	60
---------------------------------------	----

Landwirtschaft und Bewässerung	
Gewächshäuser – El Ejido	62
Bewässerungslandwirtschaft – Ha'il	63

Entwaldung und Waldbrände	
Entwaldung – Rondônia	64
Waldbrände – British Columbia	65

Aquakultur	66
-------------------	----

Naturschutz und Nationalparks	
Mariner Nationalpark – Ilha de Orango	67
Alpiner Nationalpark – Hohe Tauern	67



Anthroposphäre

68

Bevölkerungsverteilung	68
-------------------------------	----

Urbanisation und Stadtentwicklung	
Urbanisation – Niamey	70
Stadtentwicklung – Suqian	71

Verkehrsinfrastruktur	
Flugverkehr – Flughafen Istanbul	72
Schifffahrt – Suezkanal	73

Energieinfrastruktur	
Wasserkraft – Belo Monte Staudamm	74
Windenergie – Themsemündung	75
Sonnenenergie – Energiewende	75

Glossar	76
---------	----

Geographischer Index	79
----------------------	----

Bild- und Datenquellen	80
------------------------	----

Die Erde aus dem All

Erdbeobachtungs- oder Fernerkundungssatelliten haben sich als Wegbereiter erwiesen, die Komplexität unseres Planeten zu verstehen und den mit Umwelt, Klimawandel und Nachhaltigkeit verbundenen Herausforderungen zu begegnen. Satellitendaten werden verwendet, um wichtige Fragen der Erdwissenschaften zu beantworten, aber auch für Wettervorhersagen, zur Unterstützung bei Katastrophen und zur Bereitstellung von wesentlichen Informationen, um beispielsweise landwirtschaftliche Praktiken, Wassermanagement und die Standortwahl für erneuerbare Energieanlagen zu optimieren.

Satellitendaten bilden heute die Grundlage für evidenzbasierte Entscheidungsfindung und zahlreiche alltägliche Anwendungen. Die Europäische Weltraumorganisation (ESA), eine in der Erdbeobachtung weltweit führende Organisation, ist bestrebt, die Entwicklung modernster Weltraumtechnologien zu fördern, um den Planeten besser zu verstehen, das tägliche Leben der Bürger zu verbessern, die effektive politische Entscheidungsfindung für eine nachhaltigere Zukunft zu unterstützen und gleichzeitig Unternehmen und Volkswirtschaften weltweit profitieren zu lassen.

Weltraumgestützte Systeme haben in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte gemacht, angetrieben durch technologische Innovationen und die zunehmende Nachfrage nach genauen, zeitnahen und umfassenden Daten über unseren Planeten. Diese Innovationen erstrecken sich über verschiedene Bereiche wie Satellitentechnologie, Datenverarbeitung und Informationsaustausch. Copernicus – das weltweit führende Erdbeobachtungssystem und ein wesentlicher Bestandteil des Weltraumprogramms der Europäischen Union – ist das Ergebnis vieler dieser Innovationen.

Copernicus liefert genaue, zeitnahe und einfach zugängliche Informationen, die kostenlos für eine Vielzahl von „operativen“

Diensten und Nutzern zur Verfügung stehen. Dies ermöglicht eine verbessertes Umweltmanagement, das Verständnis und die Minderung der Auswirkungen des Klimawandels und die Gewährleistung der zivilen Sicherheit.

Ergänzend zu Copernicus hat die Entwicklung anspruchsvoller Wissenschaftsmissionen und hochauflösender Bildgebungssatelliten mit fortschrittlichen Sensoren, die in der Lage sind, Bilder der Erdoberfläche in beispielloser Klarheit und Detailgenauigkeit aufzunehmen, zahlreiche neue Anwendungen hervorgebracht. Dazu gehören beispielsweise die Stadtplanung und die Überwachung von Ernten, zusätzlich zur Unterstützung eines besseren Verständnisses der Erdsysteme.

Um die breite Nutzung der Satellitendaten zu fördern und die Bürger auf deren Nutzung aufmerksam zu machen, hat die ESA eine Fülle von Ressourcen und Aktivitäten entwickelt, welche Lehrer und Schüler über die Erdbeobachtung informieren und einfachen Zugang zu Materialien bieten, die im Unterricht verwendet werden können. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde 2005 ein erster ESA-Schulatlas veröffentlicht. Nun, mehr als 15 Jahre später, wird dieser aktualisierte Atlas – die nächste Generation – veröffentlicht, der das Lernen über das Potenzial digitaler Karten und Online-Plattformen ermöglicht.

Ich hoffe aufrichtig, dass die Leser und Nutzer dieses Schulatlasses inspiriert werden, mehr über die satellitengestützte Erdbeobachtung zu lernen und Studien und Schulungen zu verfolgen, wie man diese wirklich bemerkenswerte und wertvolle Daten- und Informationsquelle nutzt.

Simonetta Cheli
Direktorin Erdbeobachtungsprogramme
Europäische Weltraumorganisation

Über den Atlas

Der ESA-Schulatlas besteht aus zwei Komponenten, diesem gedruckten Atlas und einem digitalen Atlas, einer webbasierten Sammlung von Materialien, online zugänglich über

www.schoolatlas.esa.int



Der vorliegende gedruckte Atlas enthält eine Auswahl an Übersichtsmaterial und Fallstudien, die einen Offline-Zugang zu wichtigen Aspekten der Erdbeobachtung ermöglichen, sowie eine Auswahl einiger Fallstudien, die die Anwendung von Erdbeobachtungstechniken hervorheben.

Aufbau des Atlas

Der Aufbau des Atlas folgt dem Modell der geophysikalischen Sphären, das die Lithosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Atmosphäre und Biosphäre umfasst. Aufgrund der Komplexität unserer Welt und der besonderen Bedeutung des menschlichen Fußabdrucks sowie des Klimawandels wurde ein Kapitel über die Anthroposphäre hinzugefügt. Einleitende Kapitel liefern Hintergrundinformationen über die Europäische Weltraumorganisation und ihre Aktivitäten und beschreiben Grundlagen der Technik und der Anwendung von Erdbeobachtungsinstrumenten.

Um den Wechsel zur Online-Version des Atlas zu erleichtern, wurden QR-Codes hinzugefügt. Die QR-Codes verschlüsseln die URL der entsprechenden Seiten auf der Schulatlas-Website.

Unsere Welt ist sehr komplex und verwickelt geworden. Phänomene auf allen Ebenen sind miteinander verknüpft und beeinflussen sich gegenseitig. In diesem Zusammenhang haben die Vereinten Nationen die "Ziele für nachhaltige Entwicklung" (Sustainable Development Goals, kurz SDGs) entwickelt. Diese stellen eine Möglichkeit dar, die Phänomene auf der Erde zu kategorisieren und wichtige Handlungsfelder anzusprechen, um

das Festlegen und Einhalten von Prioritäten zu erleichtern. Dieser sehr hilfreiche Rahmen, der immer mehr Verbreitung findet, wurde in den Atlas integriert. Die Symbole, die auf die beteiligten SDGs hinweisen, wurden zu den jeweiligen Fallstudien hinzugefügt, so dass es für Lehrer und Schüler einfacher ist, die Relevanz der Fallstudien für die gerade behandelte Bildungsaufgabe zu überprüfen.

UN Ziele für nachhaltige Entwicklung

Die 2016 verabschiedeten Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen sind ein umfassender Rahmen zur Bewältigung globaler Herausforderungen, die von Armut und Hunger bis hin zu Klimaschutz und Erhaltung der biologischen Vielfalt reichen. Die Erdbeobachtung spielt eine wichtige Rolle bei der Verwirklichung dieser Ziele, indem sie wichtige Daten und Erkenntnisse liefert.

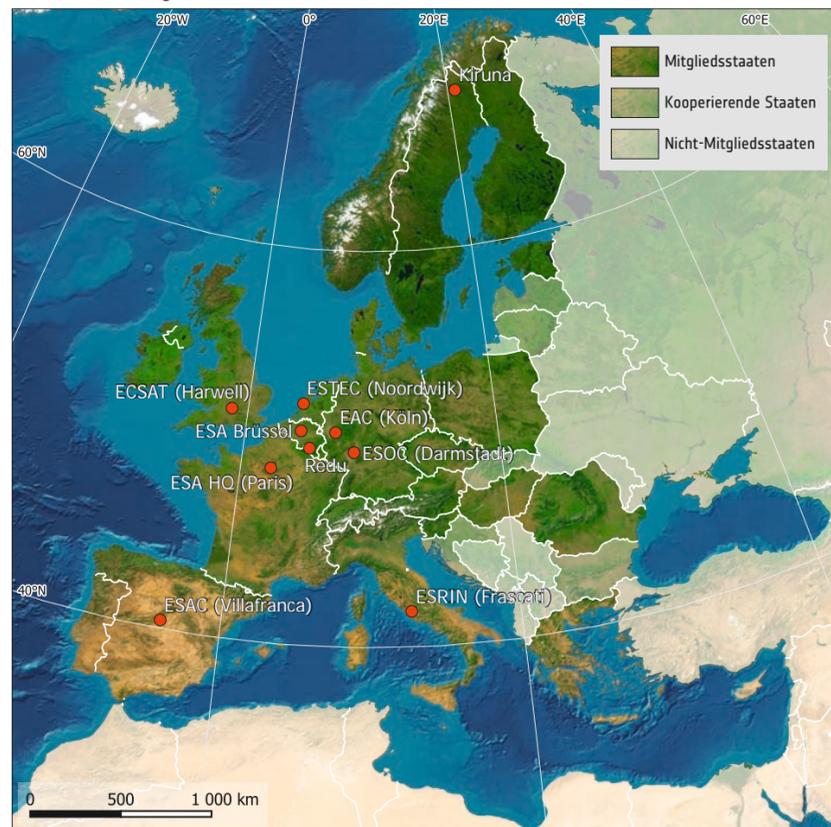
Ein paar Beispiele sollen dies verdeutlichen. Die Überwachung und Bewertung von Veränderungen der Bodenbedeckung, der landwirtschaftlichen Produktivität und der Wasserressourcen durch Satelliten trägt zu SDGs wie "Kein Hunger", "Sauberes Wasser und Sanitär-Einrichtungen", sowie "Leben an Land" bei. Erdbeobachtungsdaten helfen beim Katastrophenmanagement und unterstützen das SDG 11 ("Nachhaltige Städte und Gemeinden"), indem sie in Notfällen Echtzeitinformationen liefern. Die Erdbeobachtung spielt auch eine entscheidende Rolle bei der Klimaüberwachung (SDG 13, "Klimaschutz") durch die Messung der Konzentration von Treibhausgasen, des Meeresspiegelanstiegs und von Temperaturanomalien. Darüber hinaus helfen Satellitenbilder bei der Kartierung der Ausbreitung von Städten und unterstützen eine nachhaltige Stadtplanung (SDG 11). Die Bemühungen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt (SDG 15, "Leben an Land") profitieren von der Erdbeobachtung durch die Überwachung von Ökosystemen, etwa im Zusammenhang mit Entwaldung.





1. Mitgliedsstaaten der Europäischen Weltraumorganisation (ESA).

2. Mitgliedsstaaten, kooperierende Länder und ESA-Einrichtungen.



Die Europäische Weltraumorganisation (ESA)

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) wurde 1975 gegründet. Ihre Aufgabe ist es, die Entwicklung europäischer Raumfahrtkapazitäten zu gestalten und sicherzustellen, dass Investitionen in die Raumfahrt den Menschen in Europa zugute kommen. Der ESA gehören heute 23 Mitgliedstaaten an. Durch Koordinieren der Ressourcen ihrer Mitglieder kann sie Programme und Aktivitäten durchführen, die weit über die Möglichkeiten eines einzelnen Landes hinausgehen.

Seit über vier Jahrzehnten arbeiten die Mitgliedstaaten der ESA zusammen und bündeln ihre Ressourcen, um neue Wege in der Weltraumforschung zu beschreiten, neue Technologien zu entwickeln und eine wettbewerbsfähige Industrie aufzubauen, die sich weltweit behaupten kann.

Die Programme in den Bereichen Wissenschaft, Trägerraketen, Telekommunikation, Erdbeobachtung und bemannte Raumfahrt haben hohe Qualität bewiesen und bereits viele Vorteile für das tägliche Leben gebracht. Die ESA arbeitet an eigenen, unabhängigen Projekten und kooperiert regelmäßig mit anderen Agenturen und Institutionen in den USA, Russland, Kanada, Japan und China.

Eine europäische Vision

Die Idee einer unabhängigen Raumfahrtorganisation für Europa geht auf die 1960er Jahre zurück, als sechs

europäische Länder – Belgien, Frankreich, Deutschland, Italien, die Niederlande und das Vereinigte Königreich – zusammen mit Australien die ELDO (European Launcher Development Organisation) gründeten, um eine schwere Trägerrakete namens *Europa* zu entwickeln und zu bauen. 1962 gründeten diese Länder mit Dänemark, Spanien, Schweden und der Schweiz die ESRO (European Space Research Organisation), um wissenschaftliche Satellitenprogramme durchzuführen und Raumfahrtaktivitäten von Telekommunikationssatelliten bis hin zu Trägerraketen abzudecken.

Im Jahr 1975 wurde auf politischer Ebene ein Übereinkommen zur Gründung der Europäischen Weltraumorganisation gebilligt. Im selben Jahr wurde Irland Mitglied der ESA, und 1979 wurde ein erstes Kooperationsabkommen unterzeichnet, das Kanada die Teilnahme an bestimmten ESA-Programmen und einen Sitz im ESA-Rat ermöglichte. Das Übereinkommen trat am 31. Oktober 1980 in Kraft. Seitdem sind zwölf weitere europäische Länder hinzugekommen. Neben den regulären Mitgliedern sind Lettland, Litauen und die Slowakei als Nicht-Vollmitglieder beigetreten.

Als wichtige europäische Institution arbeitet die ESA eng mit der Europäischen Kommission und Institutionen wie der Europäischen Umweltagentur EEA und EUMETSAT zusammen, etwa im Rahmen des Copernicus-Programms.

Aktivitäten der ESA

Gemäß der Strategie der ESA decken ihre Aktivitäten unterschiedliche Bereiche ab, die mit der Erforschung und Nutzung des Weltraums zusammenhängen. Dazu gehören:

- Erdbeobachtung
- Erkundungsmissionen
- Trägerraketen
- Positionierungssysteme
- Weltraumforschung
- Raumfahrttechnologie
- Satellitenbetrieb
- Telekommunikation & integrierte Anwendungen
- Vorbereitungen für die Zukunft
- Raumfahrt für das Klima.



3. Etwa zwei Drittel des ESA-Budgets dienen der Erdbeobachtung, Navigation, Raumtransport und bemannten Raumfahrt.



4- ESRIN, Frascati, Italien.



5. ECSAT, Harwell, Großbritannien.



6. ESOC, Darmstadt, Deutschland.



7. ESTEC, Noordwijk, Niederlande.



8- ESEC, Redu, Belgien.

ESA-Hauptquartier. Die Generaldirektion der ESA hat ihre Büros im Hauptsitz in Paris, Frankreich. Hier ist das Verwaltungszentrum der Organisation, das für Personal, Rechtsangelegenheiten, Finanzen, Haushalt, Innenrevision, Strategie, internationale Beziehungen und Kommunikation verantwortlich ist.

ESA ESTEC. Das Europäische Zentrum für Weltraumforschung und -technologie in Noordwijk, Niederlande, ist als größte ESA-Einrichtung Testzentrum und Drehscheibe für europäische Raumfahrtaktivitäten. Es ist für die technische Vorbereitung und das Management von Raumfahrtprojekten zuständig.

ESA ESOC. Das Europäische Raumfahrtkontrollzentrum in Darmstadt (Deutschland) kontrolliert den Betrieb der Raumfahrzeuge. In Kontrollräumen, die mit Bodenstationen in der ganzen Welt verbunden sind, werden die Satelliten überwacht und gesteuert.

ESA ESRIN. Das Zentrum für Erdbeobachtung in Frascati bei Rom verwaltet das Bodensegment für Erdbeobachtungssatelliten der ESA, führt das größte Archiv von Umweltdaten in Europa und koordiniert über 20 Bodenstationen und andere Einrichtungen in Europa.

ESA EAC. Das Europäische Astronautenzentrum in Köln, Deutschland, dient der Ausbildung von und als Heimatbasis für europäische Astronauten. Es ist ein Kompetenzzentrum für Training und medizinische Unterstützung von Astronauten.

ESA ESAC. Das Europäische Zentrum für Weltraumastonomie in Villafranca de la Cañada, Spanien, betreibt die Astronomie- und Planetenmissionen der ESA und deren Archive. Es erbringt Dienstleistungen für astronomische Forschungsprojekte in aller Welt.

Der europäische Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana ist Europas Tor zum Weltraum. Mit einer mehr als 96 000 Hektar Fläche ist er mit seiner Nähe zum Äquator ein idealer Standort für den Start von Satelliten. Die ESA ist Eigentümerin der Produktionsanlagen für Starts und Trägerraketen.

ESA ESEC. Das Europäische Zentrum für Weltraumsicherheit und Bildung in Redu, Belgien, ist ein Zentrum für Cybersicherheitsdienste im Weltraum und das Weltraumwetter, betreibt das ESA-Ausbildungszentrum für die Ausbildung von Lehrern und Studenten und ist Teil des ESA-Bodenstationsnetzes.

ESA ECSAT. Das Europäische Zentrum für Weltraumanwendungen und Telekommunikation in Harwell, UK, unterstützt Aktivitäten in den Bereichen Telekommunikation, integrierte Anwendungen, Klimawandel, Technologie und Wissenschaft.



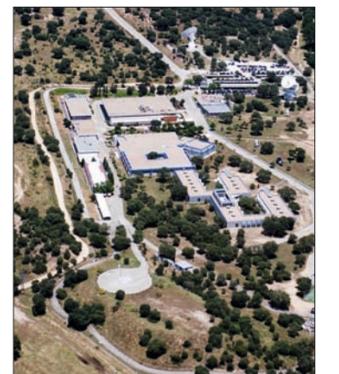
9. ESA-Hauptquartier in Paris, Frankreich.



10. Europäischer Weltraumbahnhof, Kourou, Französisch-Guyana.



11. EAC, Köln, Deutschland.



12. ESAC, Villafranca, Spanien.



1. Auswahl von ESA-Missionen zur Erforschung des Sonnensystems und Astrophysik.

Missionen im Sonnensystem

- [2024] Hera
- [2023] Juice
- [2018] BepiColombo
- [2016] ExoMars TGO & Schiaparelli
- [2004] Rosetta
- [2005] Venus Express
- [2003] Mars Express
- [2003] Double Star
- [2003] SMART-1
- [2000] Cluster
- [1997] Cassini-Huygens
- [1985] Giotto

Astrophysik-Missionen

- [2021] JWST
- [2019] CHEOPS
- [2013] Gaia
- [2009] Planck
- [2009] Herschel
- [2002] INTEGRAL
- [1999] XMM-Newton
- [1995] ISO
- [1990] Hubble
- [1989] Hipparcos
- [1983] EXOSAT
- [1978] IUE
- [1975] Cos-B

4. Daten des Hubble- und des James-Webb-Weltraumteleskops zeigen auf nie dagewesene Weise die Tiefen des Weltraums, wie diesen Hunderte von Galaxien umfassenden Cluster.



Erforschung des Sonnensystems

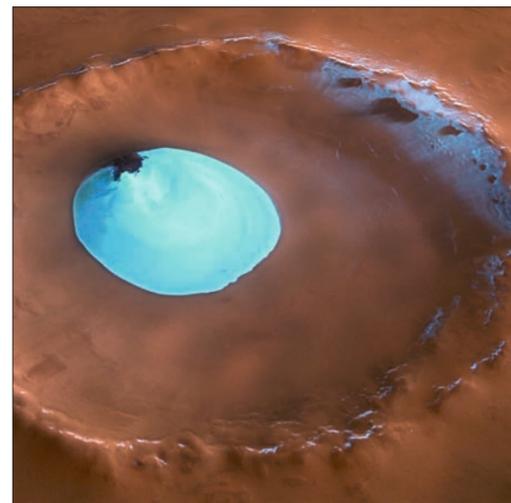
Die Weltraumforschung befasst sich mit grundlegenden wissenschaftlichen Fragen der Menschheit, z. B. wie unsere Erde entstanden ist, warum sie die für unsere Existenz erforderliche Umwelt bietet und ob es im Universum noch andere Orte mit Leben gibt. Die Planetenforschung beschäftigt sich mit unserem Sonnensystem. Lange Zeit geschah dies ausschließlich mit Hilfe von Teleskopen, doch heute ermöglicht die Raumfahrttechnik Reisen zur Sonne, zu den Planeten und anderen Objekten in unserem Sonnensystem. Neben Missionen, die im Vorbeiflug oder im Orbit dieser Objekte Daten sammeln, sind auf einigen von ihnen Sonden gelandet. Darüber hinaus haben Rover die Mond- und die Marsoberfläche erkundet. Die von den Forschungsmissionen gesammelten Informationen tragen zum Verständnis der Planeten im Sonnensystem bei und ermöglichen auch tiefere Einblicke in die Entwicklung des Systems Erde, etwa im Hinblick auf den Klimawandel.

Zu den Grenzen des Universums

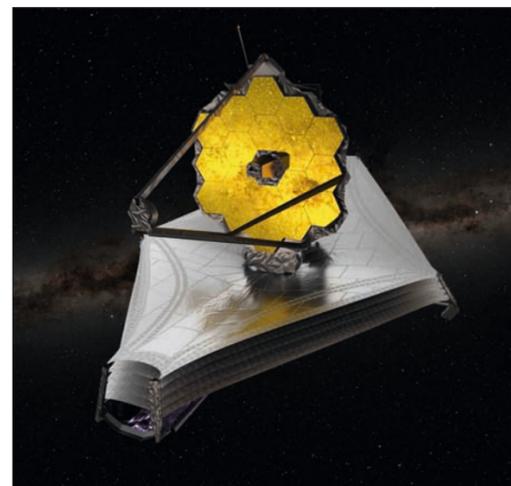
Andere ESA-Missionen zielen weit über das Sonnensystem hinaus. Licht aus einer Entfernung von Milliarden von Lichtjahren wird genutzt, um den Zustand des frühen Universums zu untersuchen, z. B. durch das James-Webb-Space-Teleskop (JWST). Einen Blick in eine Zeit, als das Universum erst 380.000 Jahre alt war, ermöglichte die Planck-Mission, die die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung (CMB) mit nie dagewesener Genauigkeit gemessen hat. Missionen an der Grenze des technisch Machbaren sind teuer. Daher wird ein Teil von ihnen in mit anderen Raumfahrtorganisationen durchgeführt. Beispiele hierfür sind das Hubble Space Telescope (HST) und das JWST, die gemeinsam mit der US-Raumfahrtbehörde NASA entwickelt wurden und betrieben werden.



2. Mars Express wurde 2003 gestartet und ist eine der bisher erfolgreichsten Missionen zu unserem Nachbarplaneten.



3. Reste von Wassereis im Krater Vastitas Borealis. Die Daten von Mars Express haben unser Bild von der Existenz und Menge des Wassers auf dem Planeten verändert.



5. Das James-Webb-Weltraumteleskop befindet sich in einer Umlaufbahn in 1,5 Millionen Kilometern Entfernung von der Erde und ist mit einem Hauptspiegel mit einem Durchmesser von 6,5 Metern ausgestattet. Dieser wird durch eine etwa 21 x 14 Meter große Abschirmung vor Sonneneinstrahlung geschützt.



Trägerraketen

Satelliten und die bemannte Raumfahrt sind auf Technologien angewiesen, mit denen sie ihre „Arbeitsorte“ im Weltraum erreichen können. Mit dem Ariane-Trägerraketenprogramm hat die ESA Europa einen autonomen Zugang zum Weltraum verschafft, der ein Schlüssel für die Entwicklung aller Raumfahrtanwendungen ist. Die Trägerraketen der Ariane-Reihe, die ursprünglich im Interesse der europäischen Unabhängigkeit entwickelt wurde, hat sich zu einem kommerziellen Erfolg der europäischen Raumfahrt entwickelt, was das Geschäftsvolumen und den Anteil am Weltmarkt angeht. Sie ist zu einem wichtigen Faktor für Europa als Weltraummacht geworden. Die Aktivitäten in diesem Bereich profitieren von der ideal in Äquatornähe gelegenen und damit effizientesten Startbasis der Welt in der Nähe von Kourou in Französisch-Guayana, Südamerika.

Arianespace, ein für die Vermarktung der europäischen Trägerrakete gegründetes internationales Unternehmen, hält mehr als die Hälfte des Weltmarktes für den Start kommerzieller Kommunikationssatelliten in die geostationäre Umlaufbahn. Während die ESA weiterhin Verbesserungen an der Ariane und einer kleinen Trägerrakete namens Vega finanziert, achtet die Agentur auch auf andere langfristige Möglichkeiten, wie etwa wiederverwendbare Trägerraketen.

Ariane 5 und 6 – Die Schwerlastträgerrakete Ariane 5 wurde von der ESA konzipiert, um die Wettbewerbsfähigkeit Europas im Bereich der Trägerraketen zu sichern. Sie löste die erfolgreiche Ariane-4-Serie ab und führte jedes Jahr etwa fünf Missionen durch. Hauptaufgabe der Ariane 5 ist es, Satelliten in eine geostationäre Umlaufbahn zu bringen. Dank ihrer Vielseitigkeit kann sie ein breites Spektrum an Anforderungen erfüllen, darunter den Start von Satellitenkonstellationen und planetaren Sonden sowie den Transport von Fracht zur Internationalen Raumstation. Die ECA-Version der Ariane 5 bringt Nutzlasten von bis zu 10 Tonnen in den Orbit. Die Ariane 6 wurde als Nachfolgerin der Ariane 5 entwickelt mit dem Ziel, die Startkosten zu senken. Der erste Start erfolgte im Juli 2024.

Vega – 2012 erfolgte der erste Start der neuen europäischen Kleinträgerrakete Vega, die hauptsächlich Wissenschafts- und Erdbeobachtungssatelliten mit einem Gewicht von bis zu 2500 kg in polare und erdnahe Umlaufbahnen bringen soll.

Bemannte Raumfahrt

Die Internationale Raumstation (ISS), die größte technische Kooperation der Welt in Friedenszeiten, ist ein Wissenschaftslabor, ein Prüfstand für Zukunftstechnologien und eine Einrichtung für fortgeschrittene medizinische, biologische, physikalische und materielle



6. Start der Ariane 5 in Kourou.

Forschung unter Weltraumbedingungen. Europa hat einen wesentlichen Anteil an der ISS. Wichtige Beiträge der ESA sind Columbus, ein Mehrzwecklabor für Wissenschaft und Technologie, und das Automatisierte Transferfahrzeug (ATV). Europäische Astronauten sind regelmäßig Teil der Langzeitbesatzung auf der seit Ende 2000 durchgehend bemannten ISS.

Forschung und Entwicklung

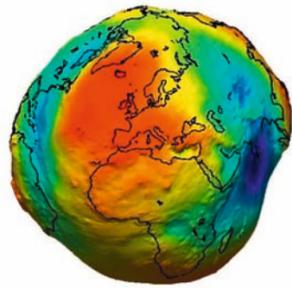
Die ISS bietet die einzigartige Möglichkeit zu untersuchen, wie die Schwerkraft biologische, physikalische und chemische Prozesse beeinflusst. Die Abwesenheit der Schwerkraft auf der Raumstation ermöglicht neue Einblicke in die menschliche Gesundheit sowie in die Vorbeugung und Behandlung von Krankheiten.



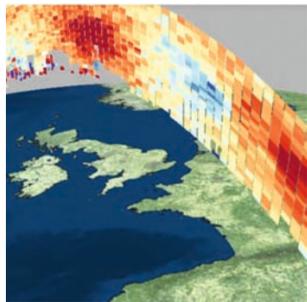
7. Größenvergleich von Vega, Vega-C, Ariane 5 ECA, Ariane 62 und Ariane 64 (von links nach rechts).

8. Außenbordeinsatz des ESA-Astronauten Luca Parmitano während einer Mission auf der ISS.

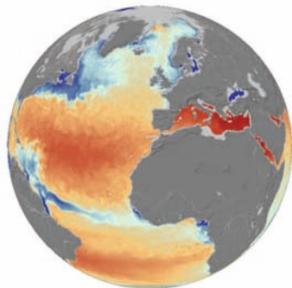




1. GOCE liefert Informationen über das Schwerefeld der Erde (von blau nach rot nimmt die Schwerkraft zu).



2. Aeolus misst Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen (von blau nach rot steigende Windgeschwindigkeit).



3. SMOS misst den Salzgehalt der Ozeane und die Bodenfeuchte (von blau bis rot steigende Salzkonzentration).

4. Die Earth Explorer sind wichtige Plattformen für die Entwicklung neuer Erdbeobachtungsinstrumente.

Forschung für die Erdbeobachtung

Von Anfang an hat Forschung für die Europäische Weltraumorganisation (ESA) eine wichtige Rolle gespielt. Dies gilt nicht nur für die Erforschung des Sonnensystems und des Weltraums, ein besonderer Schwerpunkt der ESA-Forschungsaktivitäten ist die Erdbeobachtung.

In diesem Zusammenhang ist die ESA in den Bereichen Satelliten- und Sensortechnologie sowie in der Entwicklung von Datenanalysemethoden und Erdbeobachtungsanwendungen aktiv. Eine Vielzahl von Forschungsprojekten wurde durchgeführt, die ein breites Spektrum wichtiger Themen abdecken.

Als erste Erdbeobachtungssatelliten der ESA wurden 1991 bzw. 1995 die Radarsatelliten ERS-1 und ERS-2 gestartet. Der hohe wissenschaftliche Wert dieser Missionen spiegelt sich in der Tatsache wider, dass sie die Grundlage für etwa 5000 Forschungsprojekte bildeten, die in etwa 4000 Veröffentlichungen mündeten.

Im Jahr 2002 wurde der Satellit Envisat gestartet, ein Meilenstein in der Geschichte der Erdbeobachtung. Dieser busgroße Satellit wog mehr als 8 Tonnen, der größte jemals gebaute Erdbeobachtungssatellit, und war bis 2012 in Betrieb. Envisat war ein Forschungslabor auf einer Umlaufbahn in 800 km Höhe über der Erdoberfläche. Zahlreiche Sensor- und Datenverarbeitungstechnologien wurden auf ihre Anwendbarkeit im operationellen Betrieb getestet.

Earth Explorers

GOCE (2009-2013) – Die "Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer"-Mission (GOCE) lieferte Daten zur Bestimmung globaler und regionaler Modelle der Schwerkraft und des Geoids. Dies bringt die Forschung in den Bereichen Meereszirkulation, Physik des Erdinneren, Geodäsie und Vermessung sowie Meeresspiegelveränderungen voran.

SMOS (Start 2009) – Die SMOS-Mission ("Soil Moisture and Ocean Salinity") führt Analysen des Salzgehalts der Ozeane und der Bodenfeuchtigkeit durch. Die Kenntnis dieser Parameter hilft, die Austauschprozesse zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre zu verstehen und die Wetter- und Klimamodelle zu verbessern.

CryoSat (Start 2010) – Die CryoSat-Mission überwacht zentimetergenau Veränderungen in der Dicke des Meeresseises und der Eisschilde, die Grönland und die Antarktis bedecken. Dies hilft zu verstehen, wie sich das Volumen des Eises auf der Erde verändert und wie Eis und Klima miteinander zusammenhängen.

Swarm (Start 2013) – Swarm ist eine Konstellation von drei Satelliten zur genauen Messung magnetischer Signale aus der Magnetosphäre, der Ionosphäre, dem Erdinneren und den Ozeanen. Dies verbessert das Verständnis der Prozesse, die den „Dynamo“ der Erde antreiben.

Aeolus (2018-2023) – Die Aeolus-Mission hat Fortschritte bei der Beobachtung des globalen Windprofils gemacht und Informationen zur Verbesserung der Wettervorhersage geliefert. Mit der Demonstration neuartiger Lasertechnologie ebnete Aeolus den Weg für die künftige operationelle meteorologische Mission zur Messung der Windfelder der Erde.

EarthCARE (Start 2024) – die Mission "Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer" (EarthCARE) ist eine europäisch-japanische Mission zur Verbesserung der Kenntnis der Strahlungsbilanz der Erde für Klima- und numerischen Wettervorhersagemodellen.

Biomass (Start 2025 geplant) – Die Biomass-Mission wird Informationen über den Zustand und Veränderungen der Wälder liefern. Diese Daten werden das Wissen über die Rolle der Wälder im Kohlenstoffkreislauf verbessern.

FLEX (Start 2025 geplant) – Der Fluorescence Explorer (FLEX) wird die Fluoreszenz der Vegetation kartieren, um die Photosynthese-Aktivität zu analysieren. Damit werden wir besser verstehen, wie die Photosynthese den Kohlenstoff- und Wasserkreislauf beeinflusst.

FORUM (Start 2027 geplant) – Die Mission FORUM (Far-infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring) soll neue Erkenntnisse über den Strahlungshaushalt des Planeten liefern und damit die Klimamodelle verbessern.

Harmony (Start 2025 geplant) – Im Tandem mit den Sentinel-1-Satelliten wird Harmony Bewegungen an der Erdoberfläche messen und Informationen über unsere Ozeane, Eis, Erdbeben und Vulkane liefern.



ESA-Bildungsprogramm

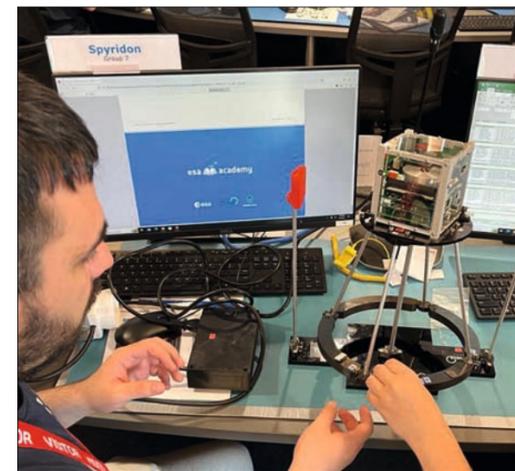
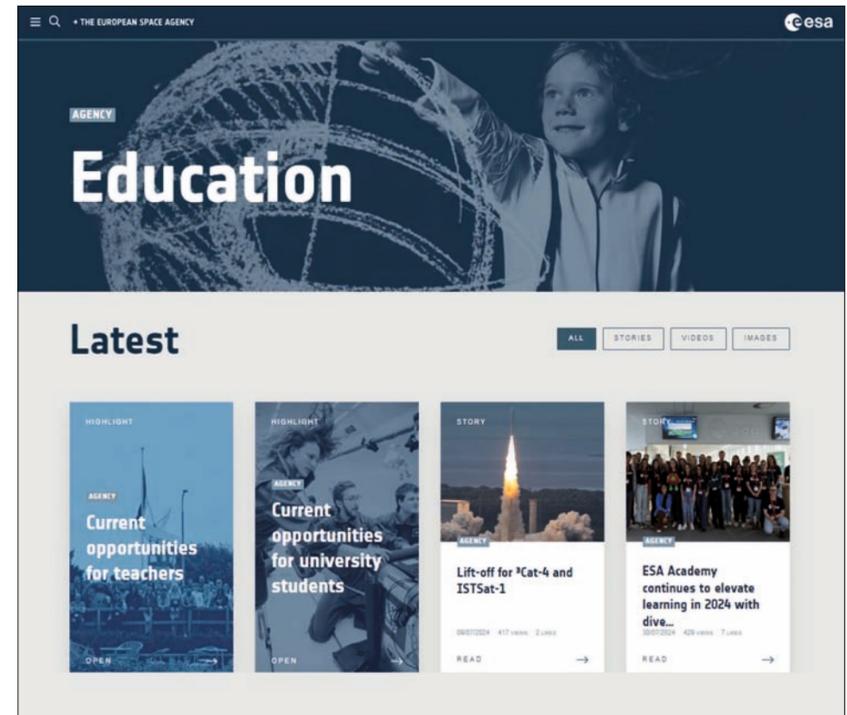
Das ESA-Bildungsprogramm ist eine Aktivität im Rahmen des ESA-Übereinkommens. Bildung ist von grundlegender Bedeutung, um zukünftige Arbeitskräfte vorzubereiten, die Europas Raumfahrtstrategie und -ambitionen in die Tat umsetzen werden. Sie trägt auch dazu bei, Generationen von Bürgern zu schaffen, die informiert und in der Lage sind, Entscheidungen zu treffen, verantwortungsbewusst zu handeln und sich den Herausforderungen der Zukunft zu stellen, egal welchen Beruf sie wählen.

Der Weltraum wird für den MINT-Bereich (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) genutzt. Als moderner Mythos ist er ein Teil der heutigen Kultur, ein gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Motor und vieles mehr. Nutzung des Weltraums bedeutet, Zugang zu aktuellem Wissen zu erhalten, Kooperation zu lernen, kreativ und innovativ zu sein. Damit bedeutet Lernen durch die Nutzung des Weltraums, auf einem inspirierten Weg zur Entwicklung der im 21. Jahrhundert benötigten Fähigkeiten unterstützt zu werden – der Fähigkeiten, die jeder junge Mensch entwickeln sollte, um im Beruf erfolgreich zu sein und zu einer besseren Zukunft beizutragen.

Inspirierte Bildung ist ein grundlegender Bestandteil der strategischen Vision der ESA für die Zukunft Europas im Weltraum und eines der wichtigsten Mittel, sie zu verwirklichen. Im Dezember 2022 genehmigten die ESA-Mitgliedstaaten die Vision und den Plan *Space for Education 2030* (S4E 2030) und gaben damit grünes Licht für das ESA-Bildungsprogramm, das breiter, innovativer und inspirierender angelegt ist als bisher.

Space for Education 2030 richtet sich an ein breites Altersspektrum vom Kleinkind bis zu den ersten Karriereschritten. *STEM Learning and Inspiration* dient der Ausbildung und Inspiration von Kindern und Schülern im Alter von 3 bis 18 Jahren, *ESA Academy* wendet sich an Studierende an Universitäten.

Das Lern- und Inspirationsprogramm besteht aus zwei Aktivitätspaketen. *Lernen mit dem Weltraum* ist ein Bildungsprogramm mit Aktivitäten, die auf spezifische Lernziele für junge Menschen und ihre Lehrer ausgerichtet sind. *Let Space Inspire You* ist ein Inspirationsprogramm, in dem der „Wow“-Faktor des Weltraums genutzt wird, um die Neugier von Kindern und Jugendlichen zu wecken und ihr Interesse an MINT- und Weltraumstudien zu fördern. Zwischen den Aktivitäten dieser Programme werden Synergien angestrebt, um ihre Wirkung gegenseitig zu verstärken. Diese Aktivitäten werden auf nationaler Ebene durch das ESA ESERO-Rahmenprojekt umgesetzt, ein Netzwerk von speziellen nationalen Büros und Partnerkonsortien, die von der ESA in den Mitgliedstaaten und assoziierten Staaten eingerichtet wurden.



5. ESA Education und die ESEROs betreiben Webplattformen, die eine große Zahl mehrsprachiger weltraumbezogener Ressourcen für Lehrende und Lernende anbieten.

6. In speziellen Kursen können Schüler und Studierende ihre eigenen Nanosatelliten entwickeln, kleine Satelliten, die bestimmte Aufgaben erfüllen.

7. Bei den CanSat-Wettbewerben entwerfen Teams aus Schulen in ganz Europa ihre Projekte, bei denen Sensoren zu kurzen Flügen gestartet werden. Bei Die gemessenen Daten werden aufgezeichnet und an eine Bodenstation übertragen.

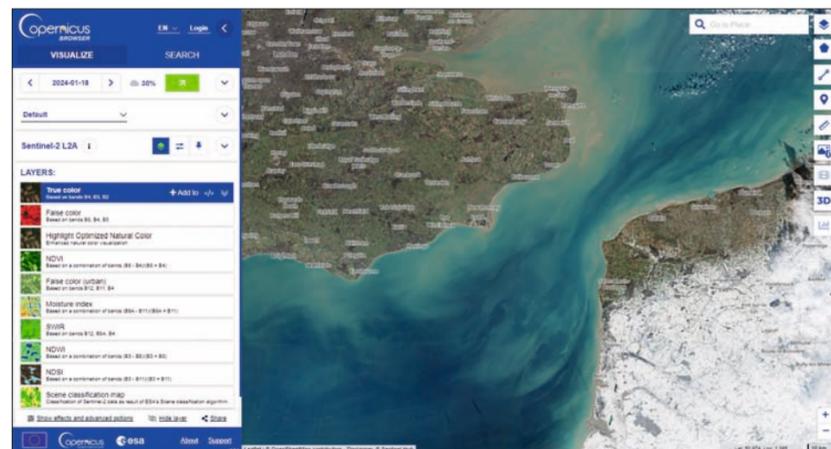




1. Im Rahmen der Weltraumkomponente des Copernicus-Programms wurden viele Erdbeobachtungssatelliten gestartet oder sollen in den nächsten Jahren gestartet werden.



2. Der Copernicus-Browser ermöglicht den Zugriff auf eine Vielzahl von Erdbeobachtungsdaten. Das Beispiel zeigt ein Suchergebnis von Sentinel-2-Daten über dem Ärmelkanal.



Copernicus – Überwachung der Erde

Das von der Europäischen Kommission finanzierte Copernicus-Programm ist eine erfolgreiche Initiative zur Überwachung des Zustands der Erde. Copernicus ist das bisher ehrgeizigste Erdbeobachtungsprogramm und liefert genaue, zeitnahe und leicht zugängliche Informationen, um das Umweltmanagement zu verbessern, die Auswirkungen des Klimawandels zu verstehen und die zivile Sicherheit zu unterstützen.

Der Name des Programms ist eine Hommage an den großen europäischen Wissenschaftler Nikolaus Kopernikus. Mit seinem Modell des heliozentrischen Universums leistete er einen bahnbrechenden Beitrag zur modernen Wissenschaft.

Copernicus wird von den EU-Mitgliedstaaten, der ESA, der Europäischen Organisation für die Nutzung von Wettersatelliten (EUMETSAT), dem Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF), EU-Agenturen und Mercator Ocean International gemeinsam durchgeführt.

Unmengen globaler Daten von Satelliten und boden-, luft- und seegestützten Messsystemen liefern Informationen, die Dienstleistern, Behörden und anderen internationalen Organisationen helfen, das Leben der Bürger Europas und darüber hinaus zu verbessern. Die Informationsdienste sind kostenlos und über das

Copernicus Data Space Ecosystem (<https://dataspace.copernicus.eu/>) frei zugänglich.

Copernicus Informationsdienste

Die von Satelliten erfassten Rohdaten bilden die Grundlage der Erdbeobachtungsdaten. Für Anwendungen werden jedoch verarbeitete Daten oder Informationen benötigt. Die Copernicus-Informationen bieten umfassende Daten für sechs Themenbereiche: Atmosphäre, Meer, Land, Klimawandel, Notfallmanagement und Sicherheit. Diese Dienste nutzen eine hochentwickelte Infrastruktur, die Daten von Erdbeobachtungssatelliten, flugzeuggestützten Sensoren und In-situ-Messungen integriert:

Der **Atmosphärenüberwachungsdienst** konzentriert sich auf wichtige atmosphärische Komponenten wie CO₂, Ozonkonzentration und UV-Gefährdung. Durch die Bereitstellung von Echtzeit- und historischen Daten trägt der Dienst zur Identifizierung von Verschmutzungsquellen, zur Bewertung der Luftqualität und zur Entwicklung wirksamer politischer Maßnahmen bei.

Der **Meeresumweltüberwachungsdienst** liefert Daten über den Meereszustand, etwa die Temperatur der Meeresoberfläche, die Meeresfarbe und die Ausdehnung des Meereises. Diese Daten sind für Anwendungen wie die Sicherheit im Seeverkehr, das Fischereimanagement, die Erhaltung von Meeresökosystemen und die Klimaforschung bedeutend.

Der **Landüberwachungsdienst** überwacht die Bodenbedeckung, Landnutzungsänderungen und den Zustand der Vegetation. Dieser Dienst wird von der Land- und Forstwirtschaft über die Stadtplanung bis hin zur Erhaltung der biologischen Vielfalt genutzt.

Der **Klimawandeldienst** liefert Klimaparameter, wie Treibhausgaskonzentrationen, Temperaturanomalien und den Anstieg des Meeresspiegels. Dieser Dienst hilft Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern bei der Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels und beim Entwickeln von Strategien.

Der **Dienst für Katastrophen- und Krisenmanagement** bietet rasche Kartierungen an. Bei Naturkatastrophen oder humanitären Krisen liefert er zeitnahe und genaue Geodaten, die bei der Vorsorge, der Koordinierung der Katastrophenhilfe, der Schadensbewertung und der Ressourcenzuweisung helfen.

Der **Dienst für Sicherheitsanwendungen** konzentriert sich auf die Grenzkontrolle und die Überwachung des Seeverkehrs und nutzt die Erdbeobachtung zur Überwachung und Analyse von Aktivitäten in sensiblen Regionen. Damit trägt er zur Sicherheit und Stabilität sowohl der Land- als auch der Seegrenzen bei.



Die Sentinel-Satellitenflotte

Die Sentinel-Satelliten sind im Copernicus-Programm das Rückgrat der weltraumgestützten Informationsgewinnung und liefern eine Fülle von Erdbeobachtungsdaten unterschiedlicher Art und Auflösung. Die Satelliten werden paarweise eingesetzt, um eine ständige Datenlieferung zu gewährleisten, selbst wenn ein Satellit ausfällt. Außerdem ist geplant, die Sentinels zu ersetzen, sobald sie das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben. Dies ist wichtig, um eine langfristige Nutzung der im Rahmen des Copernicus-Programms entwickelten Anwendungen zu ermöglichen. Derzeit sind die folgenden Sentinels in Betrieb oder geplant:

Sentinel-1 (seit 2014): Allwetter-Radarbildgebung bei Tag und Nacht für Copernicus-Land- und Ozeandienste mit einer Bodenauflösung von bis zu 5 Metern.

Sentinel-2 (seit 2015): hochauflösende optische Bild-daten zur Unterstützung von Copernicus-Landüberwachungsstudien, einschließlich der Überwachung von Vegetation, Boden und Wasserbedeckung sowie der Beobachtung von Binnengewässern und Küstengebieten. Die Bodenauflösung der bereitgestellten Daten liegt zwischen 10 und 60 Metern pro Pixel.

Sentinel-3 (seit 2016): Mission mit mehreren Instrumenten, wie Altimeter und optische Sensoren, zur genauen Erfassung von Parametern wie der Meeresoberflächentopographie, der Meeres- und Landoberflächentemperatur sowie der Meeres- und Landfarbe. Die Mission unterstützt Ozeanvorhersagesysteme sowie Umwelt- und Klimaüberwachung.

Sentinel-4 (seit 2023, an Bord von Meteosat MTG): liefert Daten des Ultraviolett-Spektrometers und Daten von Eumetsats thermalem Infrarot-Sensor (IRS), beide an Bord des MTG-Satelliten (MTG-S).

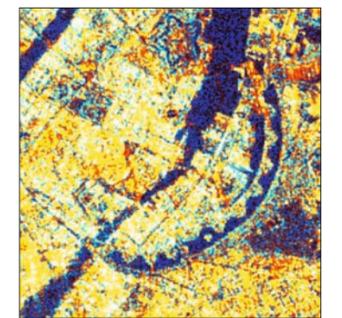
Sentinel-5P (seit 2017) und **-5** (Start geplant für 2024): die speziell der Atmosphären-Überwachung gewidmete Mission misst die Luftqualität, Ozonkonzentration und UV-Strahlung und liefert Daten für das Klima-Monitoring und Vorhersagen.

Sentinel-6 Michael Freilich (seit 2020): Altimetrie-Mission in Kooperation mit EUMETSAT und NOAA zur Überwachung des Meeresspiegels. Die Mission setzt die von TOPEX-Poseidon 20 Jahre davor begonnene Datenerfassung fort.

Zusätzlich zum laufenden Betrieb dieser Satellitenflotte ist geplant, in naher Zukunft weitere Sentinel-Satelliten zu starten, die z.B. speziell der Überwachung der CO₂-Konzentration, genaueren Temperaturmessungen und der Überwachung von Eis und Schnee gewidmet sein werden.



3a. Radarsatellit Sentinel-1, künstlerische Darstellung.



3b. Farb-Komposit-Radarbild von Kopenhagen, Daten: Sentinel-1.



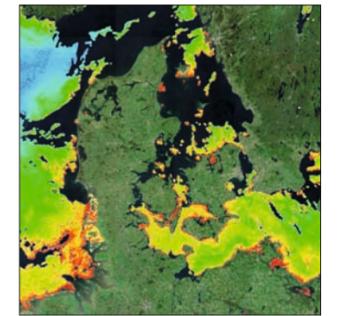
4a. Hochauflösender optischer Satellit Sentinel-2, künstlerische Darstellung.



4b. Satellitenbild von Kopenhagen, Daten: Sentinel-2.



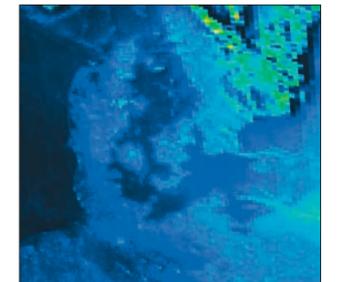
5a. Sentinel-3 Satellit mit mittlerer Auflösung, künstlerische Darstellung.



5b. Konzentration von Algenpigmenten im Meer um Dänemark. Daten: Sentinel-3.



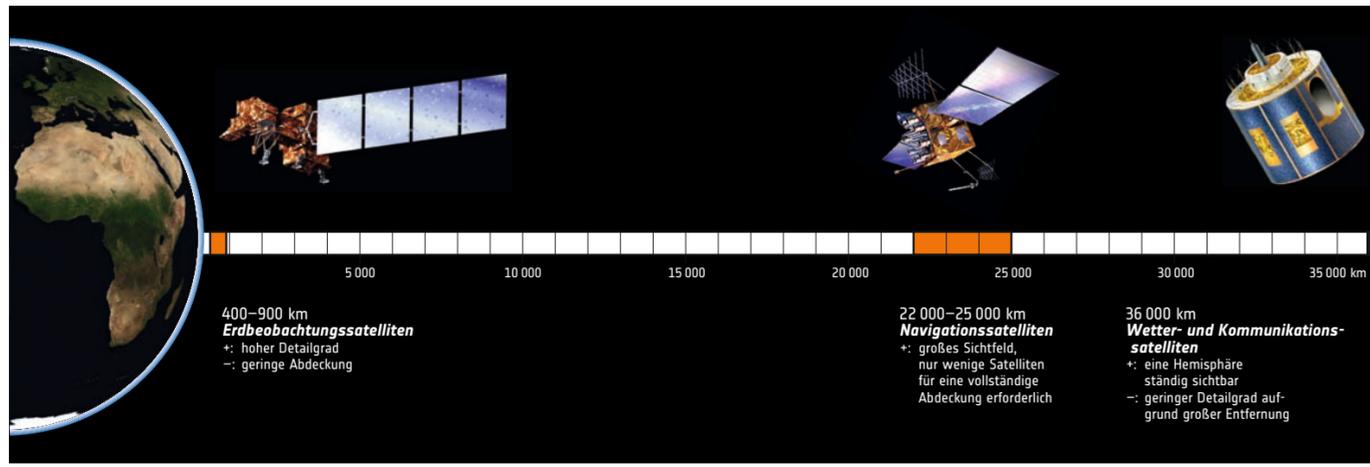
6a. Sentinel-5P, Satellit zur Überwachung der Atmosphäre, künstlerische Darstellung.



6b. SO₂-Konzentration über Dänemark und Südschweden, Daten: Sentinel-5P.



7. Sentinel-6 Altimetrie-Satellit, künstlerische Darstellung.



1. Je nach Aufgabe befinden sich Satelliten auf Umlaufbahnen in unterschiedlichen Entfernungen zur Erde.

Satellitentypen

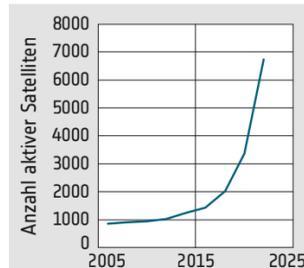
Es gibt verschiedene Arten von Satelliten, die jeweils für bestimmte Zwecke entwickelt wurden, darunter Erdbeobachtung, Kommunikation, Navigation und Wissenschaft. Je nach Aufgabe arbeiten sie auf verschiedenen Umlaufbahnen in unterschiedlichen Entfernungen zur Erde.

Telekommunikationssatelliten erleichtern die weltweite Kommunikation, indem sie Signale zwischen Bodenstationen weiterleiten und so Daten, Sprache und Videos über große Entfernungen übertragen. Diese Satelliten befinden sich in geostationären oder erdnahen Umlaufbahnen und bieten Dienste für Fernsehübertragungen, Internetverbindungen und mobile Kommunikation an. Beispiele sind die Intelsat- und die Iridium-Satelliten und in jüngerer Zeit die Starlink-Konstellation mit ihren mehreren tausend Satelliten.

Navigationssatelliten bilden das Rückgrat der globalen Satellitennavigationssysteme (GNSS) und ermöglichen eine präzise Standortbestimmung und Navigation auf der Erdoberfläche und in der Luft. Diese Satelliten

senden Signale aus, die von GNSS-Empfängern empfangen und ausgewertet werden, um Nutzern genaue Positionsdaten für Navigations-, Kartierungs- und Vermessungszwecke zu liefern. Das von den USA betriebene GPS-System bildet zusammen mit anderen Systemen wie Galileo (Europa), GLONASS (Russland) und Beidou (China) ein Netz von Satelliten, die in einer Entfernung von 20.000 bis 25.000 Kilometern von der Erde arbeiten.

Erdbeobachtungssatelliten sind mit Sensoren und Kameras ausgestattet, um die Oberfläche, die Atmosphäre und die Ozeane der Erde aufzunehmen. Diese Satelliten nehmen hochauflösende Bilder auf, erkennen Veränderungen der Bodenbedeckung, verfolgen Wettermuster und überwachen Umweltphänomene wie Abholzung, Urbanisierung und den Anstieg des Meeresspiegels. Beispiele hierfür sind die Sentinel-Satelliten für die Landüberwachung und die Meteosat-Satelliten für die Wetterüberwachung. Diese Satelliten liefern Daten, die sowohl für die wissenschaftliche Forschung (etwa im Fall der Earth Explorers) als auch für operationelle Anwendungen wichtig sind.



2. In den letzten Jahren ist die Zahl der aktiven Satelliten rasch gestiegen.



3. Im erdnahen Weltraum umkreisen mehrere tausend funktionierende und nicht mehr einsatzbereite Satelliten sowie unzählige Trümmer, Reste früherer Missionen, den Planeten.

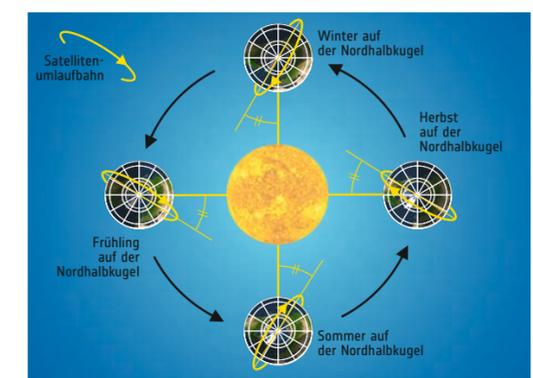
Forschungssatelliten dienen der Erforschung des Alls und der Untersuchung von Himmelsobjekten und -phänomenen. Sie sind mit speziellen Instrumenten zur Durchführung astronomischer Beobachtungen, zur Messung der kosmischen Strahlung und zur Untersuchung von Himmelskörpern wie Sternen, Galaxien und schwarzen Löchern ausgestattet. Beispiele sind das Hubble-Weltraumteleskop, das James-Webb-Weltraumteleskop für die Infrarotastronomie und Chandra, ein Satellit für die Messung der Röntgenstrahlung von Himmelsobjekten.

Satelliten auf ihrem Weg um die Erde

Ausgehend von den jeweiligen Missionszielen und Anwendungen werden Satelliten in verschiedenen Umlaufbahnen eingesetzt, die jeweils ihre Vorteile und Nachteile haben. Die Wahl des Orbits beeinflusst Parameter wie Aufnahmehäufigkeit, räumliche Auflösung und Abdeckungsbereich. Die für Erdbeobachtungssatelliten wichtigsten Umlaufbahnen sind die erdnahen und die geostationären Umlaufbahnen.

Erdnahe oder Low Earth Orbits (LEO) in einer Höhe von etwa 180 bis 2.000 Kilometern über der Erde sind die gängigsten Umlaufbahnen für Erdbeobachtungssatelliten. LEO-Satelliten haben kurze Umlaufzeiten, die häufige Überflüge bestimmter Gebiete ermöglichen. Dies führt zu einer hohen zeitlichen Auflösung, sodass sie sich gut für Anwendungen wie Wetterbeobachtung, Katastrophenhilfe und Umweltüberwachung eignen. Aufgrund ihrer geringen Höhe ist die Fläche, die bei einem Überflug abgedeckt wird, begrenzt.

- **Sonnensynchrone Umlaufbahnen (SSO)** sind eine Unterart von LEOs, die einen konstanten Winkel zwischen dem Satelliten, der Sonne und der Erdoberfläche aufweisen. Dies ermöglicht gleichmäßige Lichtverhältnisse bei jedem Überflug, was für optische Sensoren, die Sonnenlicht benötigen, wichtig ist. SSO-Satelliten werden in der Regel für Fernerkundungsanwendungen eingesetzt und liefern regelmäßig Aufnahmen für Aufgaben wie die Kartierung der Bodenbedeckung und die Überwachung der Vegetation.



4. Viele Erdbeobachtungssatelliten nutzen sonnensynchrone Umlaufbahnen, sie überqueren jeden Punkt zur gleichen Sonnenzeit.

- **Polare Umlaufbahnen** überqueren polnahe Regionen der Erde und ermöglichen es den Satelliten, die gesamte Oberfläche zu beobachten, während sich die Erde unter ihnen dreht. Dieser Orbit-Typ ist für Erdbeobachtungssatelliten üblich, die eine globale Abdeckung anstreben. Satelliten in polaren Umlaufbahnen bieten einen umfassenden Überblick über den Planeten und eignen sich daher gut für Aufgaben wie die Klimaüberwachung, die Eiskartierung und die Erkennung von Umweltveränderungen.

Geostationäre Umlaufbahnen (GEO) sind der zweitwichtigste Umlaufbahntyp für die Erdbeobachtung. Sie liegen in einer Höhe von 35 786 Kilometern über dem Äquator. Ein Satellit in einem GEO-Orbit umkreist die Erde über dem Äquator mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit wie die Erde, wodurch er relativ zu einem bestimmten Punkt auf der Erdoberfläche stationär erscheint. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung des betreffenden Gebiets. GEO-Satelliten bieten zwar eine kontinuierliche Abdeckung, ihre räumliche Auflösung ist jedoch aufgrund ihrer größeren Entfernung zur Erde geringer als bei LEO-Satelliten. Sie werden häufig für zur Wetterbeobachtung, Telekommunikation und Umweltüberwachung eingesetzt.

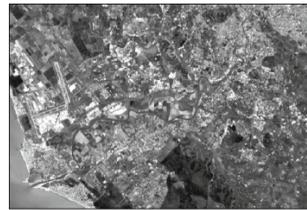
Für spezielle Zwecke werden auch andere Umlaufbahntypen verwendet:

- **Mittlere Erdumlaufbahnen oder Medium Earth Orbits (MEO)** liegen zwischen den erdnahen und geostationären Umlaufbahnen in einer Höhe von 2.000 bis 35.786 km über der Erde. Navigationssatelliten wie GPS und Galileo nutzen MEO-Bahnen, um globale Ortungsdienste bereitzustellen.

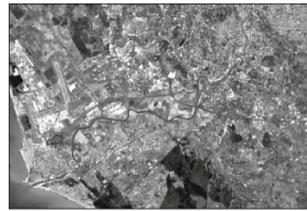
- **Hochelliptische Umlaufbahnen (HEO)** haben eine stark gestreckte Form, wobei ein Ende der Ellipse näher an der Erde liegt. Sie eignen sich für Missionen, die eine längere Verweildauer über bestimmten Regionen erfordern, z. B. in Gebieten mit hohen Breitengraden. HEO-Satelliten bieten längere Beobachtungszeiträume, was sie für die Überwachung von Phänomenen wie Polarlichtern und der Magnetosphäre der Erde wertvoll macht.



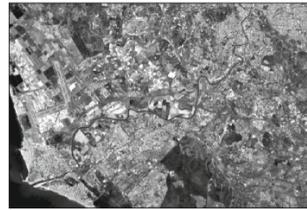
5. Der Hauptvorteil geostationärer Umlaufbahnen besteht darin, dass die Satelliten über demselben Punkt der Erdoberfläche bleiben.



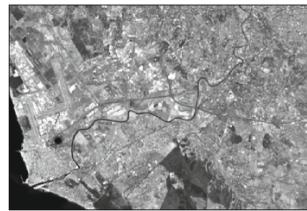
1a. Sentinel-2, Band 2 (490nm, blau)



1b. Sentinel-2, Band 3 (560nm, grün)



1c. Sentinel-2, Band 4 (665nm, rot)

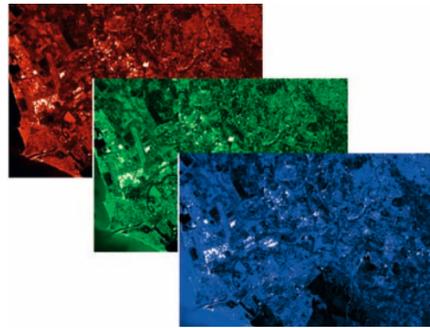
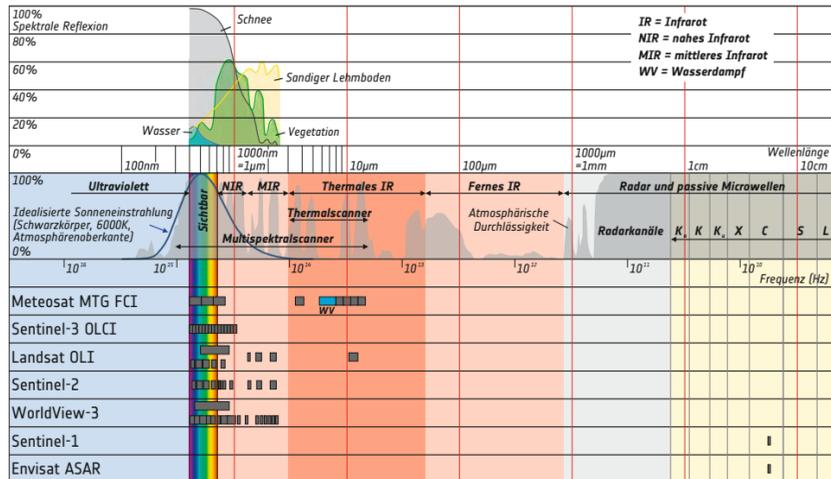


1d. Sentinel-2, Band 5 (705nm, red edge)

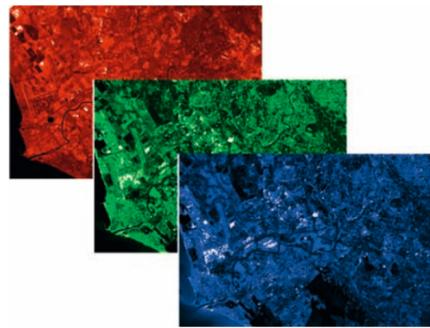


1e. Sentinel-2, Band 8 (865nm, infrarot)

4. Elektromagnetisches Spektrum, atmosphärische Transmission, Eigenschaften ausgewählter Sensoren.



2a. Sentinel-2, Bänder 4, 3, und 2, vorbereitet für die Kombination zu einem Echtfarbbild.



2b. Sentinel-2, Bänder 8, 4, und 3, vorbereitet für die Kombination zu einem Falschfarben-Infrarotbild.

Von Daten zu Bildern

Die meisten Erdbeobachtungssatelliten liefern keine Standardfarbbilder. Sie nehmen vielmehr Serien von Graustufenbildern in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums auf. Diese Bildbänder werden für wissenschaftliche Auswertungen verwendet und ähnlich wie in der Druck- und Displaytechnik zu Farbbildern verschiedener Art kombiniert. Anders als bei der herkömmlichen Fotografie werden die Graustufenbildbänder auf verschiedene Weise kombiniert. Je nach Anwendung werden Bilder in natürlichen Farben (Echtfarbbild), Falschfarben-Infrarot und andere Bandenkombinationen erzeugt.



3a. Echtfarbbild der Region westlich von Rom, erstellt aus den Bändern 4, 3 und 2. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.



3b. Falschfarben-Infrarotbild der Region westlich von Rom, erstellt aus den Bändern 8, 4 und 3. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.



3c. Falschfarben-Infrarotbild der Region westlich von Rom, erstellt aus den Bändern 12, 11 und 4. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.

Echtfarbbilder und Falschfarben-Infrarotbilder

Echtfarbbilder geben die Erde wieder, „wie sie ist“ (d.h. wie sie dem menschlichen Auge erscheint), etwa für Kartierungs- und Illustrationszwecke. Andere Darstellungen eignen sich dagegen besser, bestimmte Eigenschaften des dargestellten Gebiets hervorzuheben. Wichtige Zusatzinformationen sind in den Infrarotaufnahmen enthalten. Diese Informationen werden etwa zur Hervorhebung und Analyse der Eigenschaften von Pflanzen verwendet, da das in den Blättern enthaltene Chlorophyll den Infrarotanteil des Sonnenlichts sehr gut reflektiert. Dies macht diese Daten zu einer wertvollen Informationsquelle für Anwendungen in der Landwirtschaft und im Naturschutz. Weitere Einsatzmöglichkeiten für Falschfarbendarstellungen im Infrarot unter Verwendung anderer Infrarotbänder sind Analysen von Bränden und vulkanischen Aktivitäten sowie von Siedlungsräumen.

Radarsatelliten

Radarsatelliten bieten eine ganz besondere Sicht der Erdoberfläche und erfassen Informationen, die über das hinausgehen, was optische Sensoren sehen können. Im Gegensatz zu optischen Sensoren, die reflektiertes Sonnenlicht aufnehmen, senden Radarsensoren aktiv Mikrowellenimpulse aus und messen das zurückkommende Signal. Dank dieser aktiven Sensorfähigkeit können Radarsatelliten unabhängig von externer Beleuchtung durch die Sonne arbeiten und eignen sich damit für ein breites Spektrum von Erdbeobachtungsaufgaben.

Ein weiterer Vorteil von Radarsatelliten ist ihre Fähigkeit, die Wolkendecke zu durchdringen, die für optische Sensoren eine erhebliche Einschränkung darstellt. Aufgrund der größeren Wellenlänge können Radarsatelliten durch Wolken „hindurchsehen“, was eine kontinuierliche Überwachung auch in Regionen erlaubt, die häufig bewölkt sind, wie tropische Regenwälder oder Gebiete in hohen Breitengraden. Dies ist besonders wichtig für Anwendungen wie die Unterstützung bei Katastrophen, wo Informationen in Echtzeit unerlässlich sind. Radarsysteme sind unabhängig von den Tageslichtverhältnissen und ermöglichen eine Überwachung rund um die Uhr. Diese konstante Beobachtungsmöglichkeit ist von unschätzbarem Wert für Anwendungen wie die Meeresüberwachung, bei der die Verfolgung von Schiffen in abgelegenen oder schlecht beleuchteten Regionen für optische Sensoren eine Herausforderung darstellen kann.

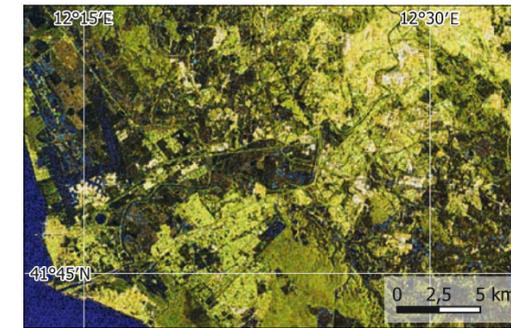
Eine Besonderheit von Radardaten ist ihre Fähigkeit, Topografie und Oberflächenverformung mit hoher Präzision zu messen. Beim Einsatz interferometrischer Techniken wie InSAR werden Phasendifferenzen zwischen Radarbildern zu analysieren, um Bodensenkungen, Höhenänderungen und sogar millimetergroße Verformungen zu erfassen. Dies macht Radardaten unentbehrlich für die Überwachung der Stabilität erdbebengefährdeter Regionen oder von kleinen Verschiebungen in der Infrastruktur.

Die Fähigkeit von Radarsignalen, die Vegetation zu durchdringen, bietet einen Vorteil für forstwirtschaftliche Anwendungen. Während optische Sensoren nur begrenzt in der Lage sind, Baumkronen zu durchdringen, kann Radar durch die Vegetationsschichten hindurch Informationen über die Waldstruktur und die Biomasse erheben und sogar illegale Abholzungsaktivitäten aufdecken.

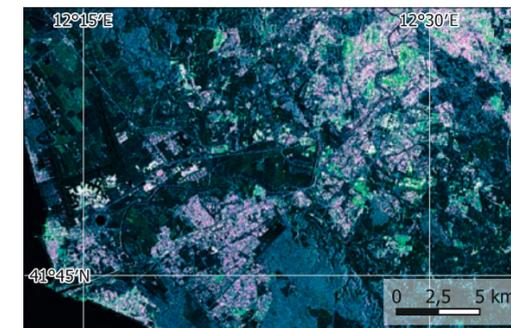
Wie jede Technologie haben auch Radarsatelliten ihre Grenzen. Die räumliche Auflösung von Radarbildern ist meist gröber als die von hochauflösenden optischen Daten und sie weisen auch stärkeres Rauschen auf. Darüber hinaus ist die Interpretation von Radardaten weniger intuitiv als die von optischen Daten, und ihre Auswertung erfordert hochentwickelte Softwaretools, die es ermöglichen, die Informationen aus den Daten zu extrahieren.



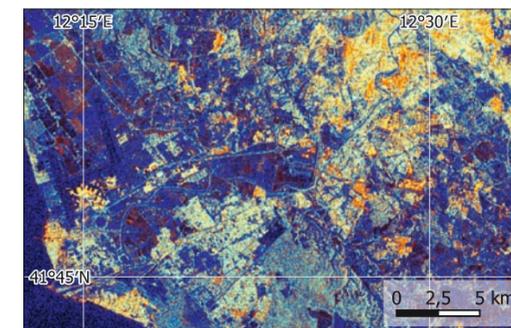
5. Radaraufnahme der Region südwestlich von Rom, einfach polarisiertes Bild. Daten: Sentinel-1, 23.03.2022.



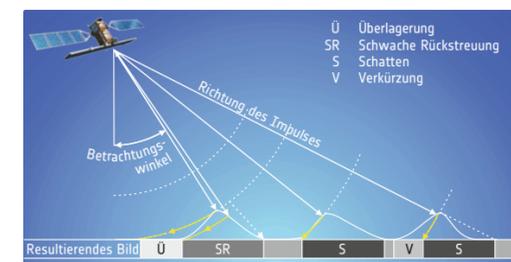
6. Radaraufnahme der Region südwestlich von Rom, Multipolarisationsaufnahme. Daten: Sentinel-1, 23.03.2022.



7. Radaraufnahme der Region südwestlich von Rom, Multipolarisationsbild, optimiert für Siedlungsanalysen (bebaute Gebiete erscheinen in violetter Farbe). Daten: Sentinel-1, 23.03.2022.



8. Radaraufnahme der Region südwestlich von Rom, Multipolarisationsbild, optimiert für die Unterscheidung der verschiedenen Bodenbedeckungsklassen. Daten: Sentinel-1, 23.03.2022.



9. Radarsatelliten senden Strahlungspulse zur Erdoberfläche und messen das reflektierte Signal. Aus der Zeit, die das Signal braucht, um zum Satelliten zurückzukehren, lässt sich die Entfernung des reflektierenden Punktes berechnen und eine Radarbildkarte erstellen.



Interpretation von Satellitendaten – Indizes

Die Interpretation von Satellitendaten zur Erfassung von Merkmalen der Erdoberfläche kann kompliziert sein. Indizes sind ein leistungsfähiges Werkzeug, Informationen aus Satellitendaten zu gewinnen. Sie werden aus Kombinationen von Spektralbändern berechnet und heben bestimmte Merkmale, Muster und Umweltbedingungen hervor:

Vegetation: Vegetationsindizes haben große Bedeutung bei der Überwachung der Pflanzengesundheit, Biomasse und Änderungen der Bodenbedeckung. Der *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* nutzt Unterschiede in der Lichtreflexion durch Vegetation im roten und nahen Infrarotbereich, um ihre Dichte zu erfassen. Hohe NDVI-Werte weisen auf eine gesunde und dichte Vegetation hin, während niedrige Werte auf eine gestresste oder spärliche Vegetation hindeuten. Diese Indizes werden in der Überwachung der Landwirtschaft und zur Bewertung des Zustands von Ökosystemen eingesetzt.

Siedlungen: Urbanisierungsindizes helfen bei der Analyse und Überwachung der Entwicklung städtischer Gebiete. So lassen sich mit dem *Urban Heat Island Index (UHI)* erhöhte Temperaturen in städtischen Regionen nachweisen. Andere Indizes, wie der *Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)*, konzentrieren sich auf bebauten Gebiete in der Landschaft und helfen bei Raumplanung und Infrastrukturentwicklung.

Wasser: Auch für die Bewertung der Wasserqualität gibt es eigene Indizes. Der *Normalized Difference Water Index (NDWI)* wird zur Identifizierung von Oberflächengewässern eingesetzt, während Indizes wie der *Water Quality Index (WQI)* Parameter wie Chlorophyllkonzentration und Sedimentbelastung erfassen und so Einblicke in aquatische Ökosysteme und Wasserressourcen bieten.

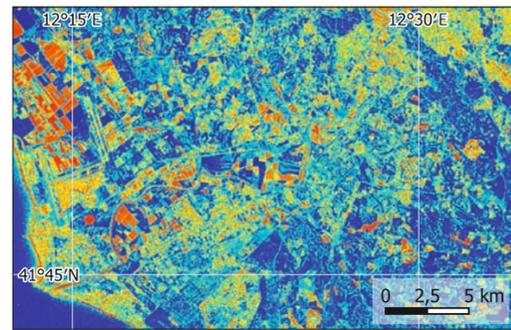
Brandflächen: Die Erfassung und Überwachung von Brandflächen ist eine wichtige Anwendung von Satellitendaten. Indizes wie der *Normalized Burn Ratio (NBR)* zeigen Veränderungen in der Vegetationsdecke nach einem Brand auf. Mit ihnen können die Schwere und Ausdehnung von Bränden quantifiziert werden, was etwa bei der Planung der Wiederherstellung nach einem Brand hilfreich ist.

Schnee und Eis: Die Überwachung der Schnee- und Eisbedeckung in Polar- und Gebirgsregionen ist für das Verständnis des Klimawandels wichtig. Indizes wie der *Normalized Difference Snow Index (NDSI)* helfen, zwischen Schnee und anderen Oberflächen zu unterscheiden. Sie ermöglichen die Beurteilung der Schneedecke, die Überwachung von Gletschern und das Management von Wasserressourcen.

Bodenschätze: Satellitendaten werden bei der Exploration und Kartierung von Rohstoffvorkommen verwendet. Dabei sind Indizes ein besonders wichtiges Werkzeug, indem sie neben der Exploration auch bei der Verwaltung von Ressourcen helfen.



1. Echtfarb-Satellitenbild der Region südwestlich von Rom, das die Tibermündung, Ostia und den Flughafen Fiumicino zeigt. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.



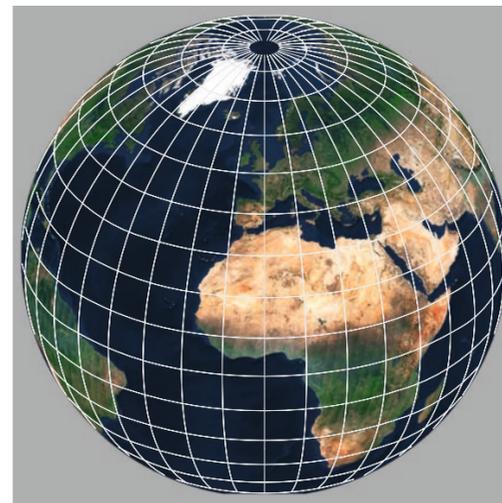
2. Bodenfeuchte-Index der Region südwestlich von Rom. Rote Farben zeigen trockene Gebiete wie bebauten Gebiete und kahles Land, dunkelblau hebt feuchte, meist bewachsene Gebiete hervor. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.



3. NDVI (Normalisierter Differenzvegetationsindex) der Region südwestlich von Rom. Von rot nach grün nimmt die Intensität oder Vitalität der Vegetation zu. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.



4. NDWI (Normalized difference water index) der Region südwestlich von Rom. Wasserkörper (blau) sind deutlich zu erkennen, von grün nach weiß nimmt der Wassergehalt der Oberfläche ab. Daten: Sentinel-2, 21.03.2022.

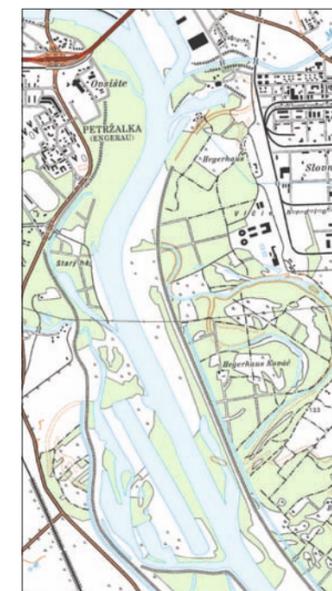
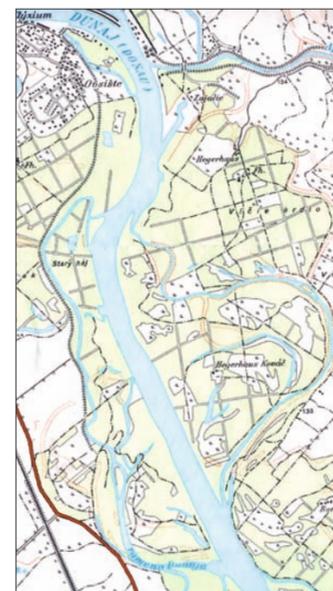


5- The Earth is a three-dimensional body. Representing its surface in two dimensional maps necessarily is accompanied by distortions, leading to errors in the displayed distances, angles, or areas.

Von Satellitendaten zu Karten

Bei der Erstellung von genauen und zuverlässigen Karten aus Satellitendaten sind zwei Faktoren wichtig: Georeferenzierung und Kartenprojektionen. Sie spielen eine grundlegende Rolle, wenn Satellitenbilder nicht nur visuell interpretierbar, sondern auch räumlich genau und mit bestehenden geografischen Datensätzen kompatibel sein sollen. Dies ermöglicht die Erstellung von Zeitreihen und die Verwendung von Satellitendaten für die Aktualisierung von Karten.

Bei der **Georeferenzierung** werden jedem Pixel im Satellitenbild geografische Koordinaten zugewiesen. So wird ein räumlicher Bezug zwischen dem Bild und der Erdoberfläche hergestellt. Dieser Schritt ermöglicht die Integration von Satellitendaten mit anderen



geografischen Informationen und erleichtert so eine Analyse und Interpretation. Wichtige Komponenten der Georeferenzierung sind:

Bodenkontrollpunkte (GCPs): Ausgangspunkt der Georeferenzierung ist häufig die Identifikation von Bodenkontrollpunkten, genau definierten Objekten mit bekannten geografischen Koordinaten. Diese Referenzpunkte ermöglichen es, das Satellitenbild an einem Koordinatenreferenzsystem auszurichten.

Transformationsmethoden: Rechenverfahren wie Polynomtransformationen oder affine Transformationen, werden angewandt, um das Satellitenbild so zu verzerren, dass es mit den bekannten Positionen der Bodenkontrollpunkte übereinstimmt.

Genauigkeitsbewertung: Die Genauigkeit der Georeferenzierung ist wichtig für eine zuverlässige Kartierung. Zu ihrer Bewertung werden die kartierten Koordinaten ausgewählter Punkte mit ihren tatsächlichen Bodengeokoordinaten verglichen.

Kartenprojektionen: Karten sind zweidimensionale Darstellungen der dreidimensionalen Erdoberfläche. Für diese Darstellung werden Kartenprojektionen verwendet, exakt definierte Methoden für die Darstellung der gekrümmten Erdoberfläche auf einer flachen Karte. Kartenprojektionen weisen unterschiedliche Verzerrungen der Form, Fläche, Entfernung oder Richtung auf. Ihre Auswahl hängt daher von den spezifischen Anforderungen ab.

Wichtige Beispiele von Projektionen sind:

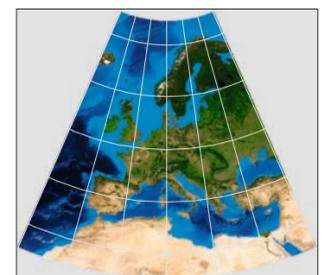
- *Geografische Projektion*, die ein einfaches Ablesen der Koordinaten eines Punktes ermöglicht,
- *Mercator-Projektion*, die winkeltreu ist und daher häufig für die Navigation verwendet wird, sowie
- *Flächentreue Projektionen* wie die *Mollweide-Projektion*, die eine genaue Darstellung der relativen Flächen ermöglichen.



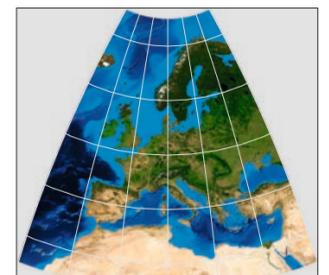
6a. Bei der geografischen Projektion bilden die Linien konstanter Breiten- und Längengrade ein Quadratgitter.



6b. Die Mercator-Projektion ist eine winkeltreue Projektion mit großen Verzerrungen in höheren Breitengraden.

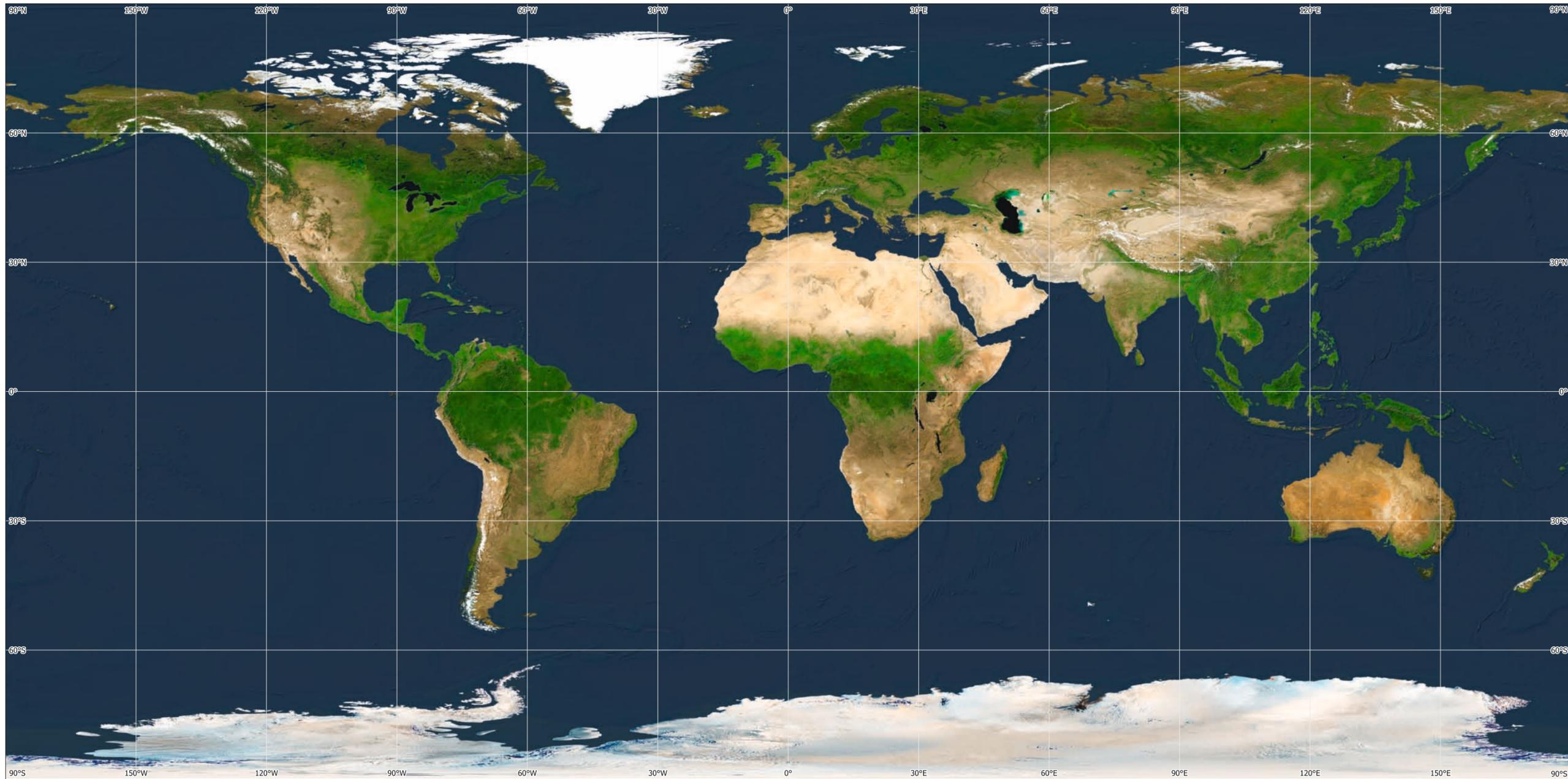


6c. Die flächentreue Albers-Projektion legt die Erdoberfläche auf einen Kegel.



6d. Die azimutale Lambert-Flächenprojektion weist um ihren Mittelpunkt herum relativ geringe Verzerrungen auf.

7. Satellitendaten sind ein wichtiges Instrument zur Aktualisierung topografischer Karten (links: Karte von 1972, Mitte: Sentinel-2-Bild aus dem Jahr 2023, rechts: Karte aus dem Jahr 2023).



3. Ansicht der Erde, aufgenommen am 07.12.1972 in einer Entfernung von etwa 29 400 Kilometern von der Besatzung des Raumschiffs Apollo 17 auf dem Weg zum Mond.

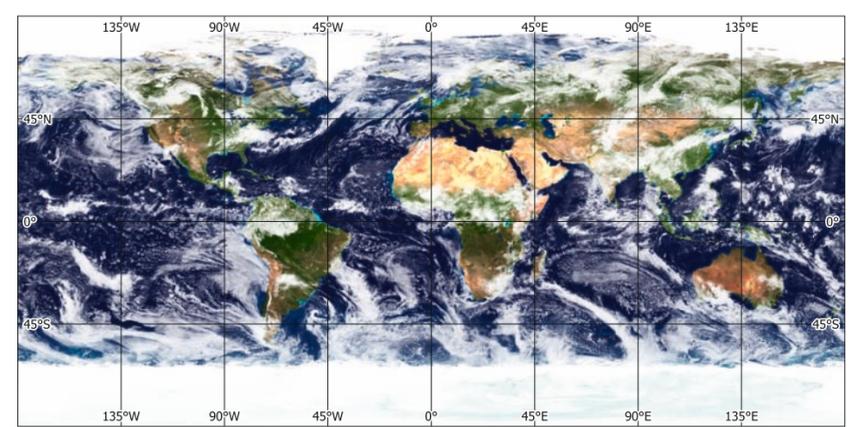
1. Satellitenbild-Weltkarte, abgeleitet aus einer großen Zahl von Aufnahmen des SPOT-Vegetation-Sensors.



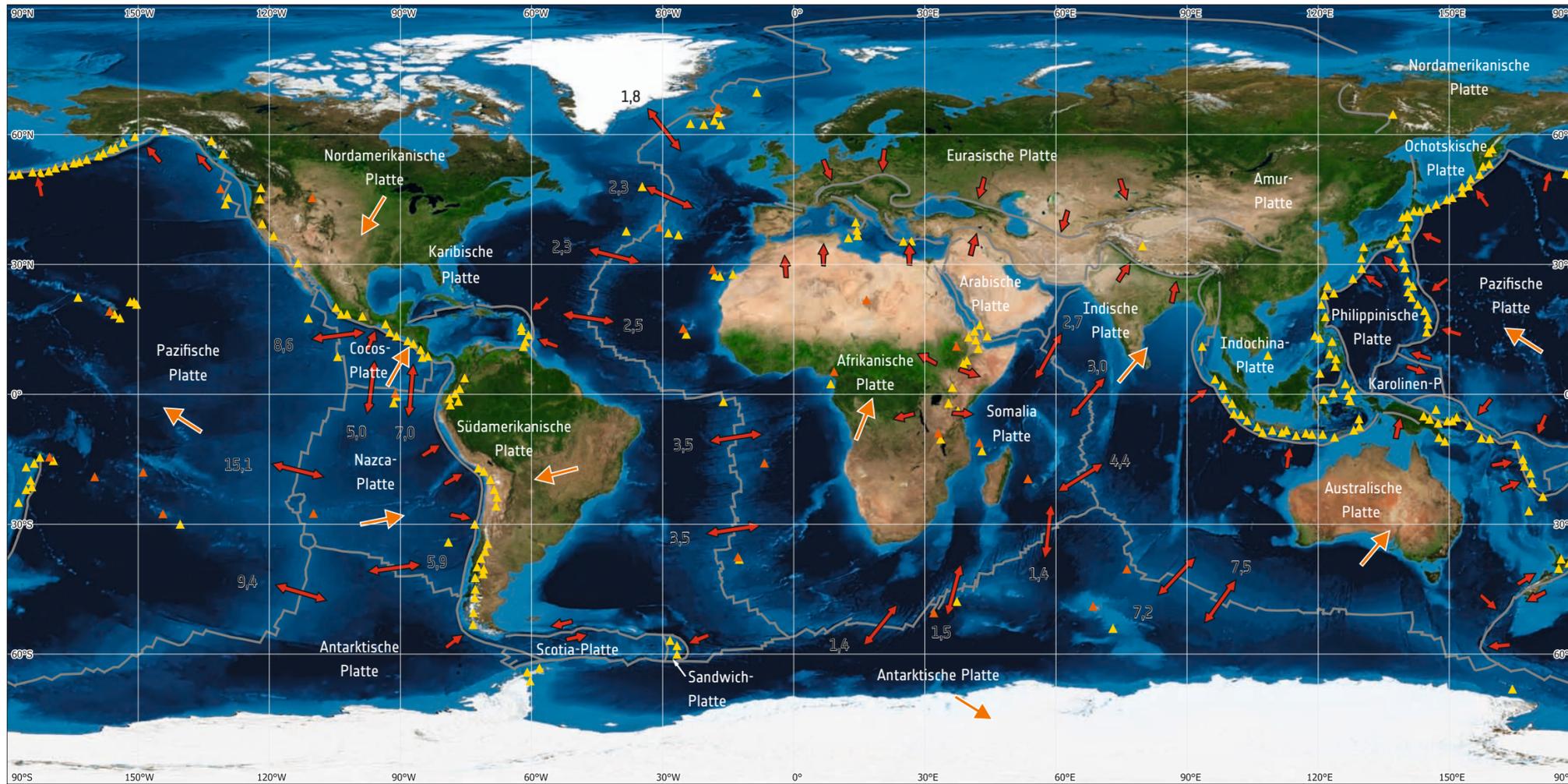
2. Satellitenbildkarte der Erde bei Nacht (Black Marble). Die Daten wurden vom DMSP – Operational Linescan System aufgenommen.

Globale Satellitenansichten

Erdbeobachtungssatelliten ermöglichen das Herstellen eines homogenen Bilds der Erde. Normalerweise sind große Teile der Erdoberfläche von Wolken bedeckt. Um ein vollständiges Bild zu erhalten, werden wolkenfreie Bilder kombiniert, die idealerweise aus der gleichen Phase der Vegetationsperiode stammen. Globale Satellitenbildkarten werden oft erstellt, um die Situation bei Tageslicht und in natürlichen Farben darzustellen. Sie können aber auch einen Überblick über viele andere Aspekte geben. Temperaturkarten, Niederschlagskarten und Karten von Spurengasen sind Beispiele möglicher Themen. Eine sehr spezielle Darstellung ist durch Nachtaufnahmen möglich, die menschliche Aktivitäten auf der Erde aufzeigen.



4. Dieses globale Satellitenbild-Mosaik zeigt die Erde bei Tag mit Wolken, die ständig einen großen Teil des Planeten bedecken.



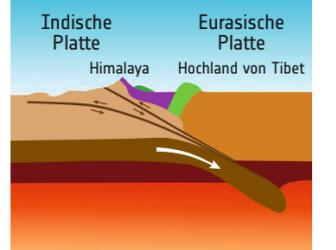
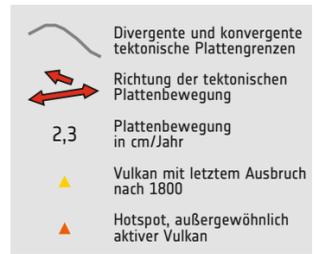
1. Tektonische Platten der Erde.

Tektonische Aktivitäten formen die Erde

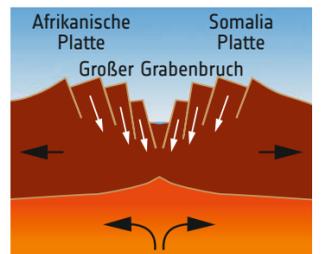
Die Veränderungen der Erdkruste, die durch die Bewegung der tektonischen Platten hervorgerufen werden, sind gewaltige Prozesse, die über Millionen von Jahren die Oberfläche der Erde formen. Die Lithosphäre, die aus der Kruste und dem oberen Erdmantel besteht, unterliegt dabei immensen Kräften, die zur Bewegung dieser Platten beitragen und zur Bildung von Gebirgen, Grabenbrüchen, Erdbeben und anderen geologischen Phänomenen führen. Beispiele für das Wirken tektonischer Prozesse sind der Himalaja und der Ostafrikanische Grabenbruch.

Der Himalaja, der sich über Südasien erstreckt, ist das Ergebnis der Kollision zwischen der Indischen und der Eurasischen Platte. Dieser Zusammenstoß begann vor etwa 50 Millionen Jahren und prägt die Landschaft der Region, indem er zur Hebung von Gebirgszügen geführt hat. So entstand auch der Mount Everest, der höchste Berg der Welt. Im Himalaja ist das Wechselspiel zwischen Faltung und Erosion gut zu erkennen.

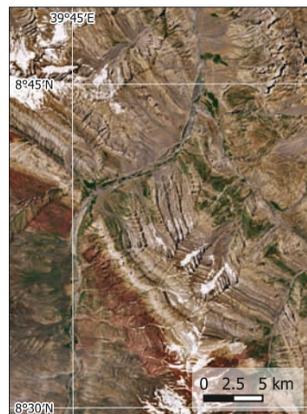
Im Gegensatz dazu ist der Ostafrikanische Grabenbruch das Ergebnis divergierender Kräfte, die den afrikanischen Kontinent auseinanderreißen. Durch das Auseinanderdriften tektonischer Platten entsteht ein System von Gräben. Dieser so genannte kontinentale Grabenbruch oder Rift bildet den Anfang der Entwicklung der Plattengrenzen. Magma aus dem Erdmantel trägt zur Ausdünnung der Kruste und schließlich zur Trennung der kontinentalen Landmassen bei. Die Landschaft des Grabenbruchs ist durch steile Klippen, vulkanische Aktivität und Seen gekennzeichnet.



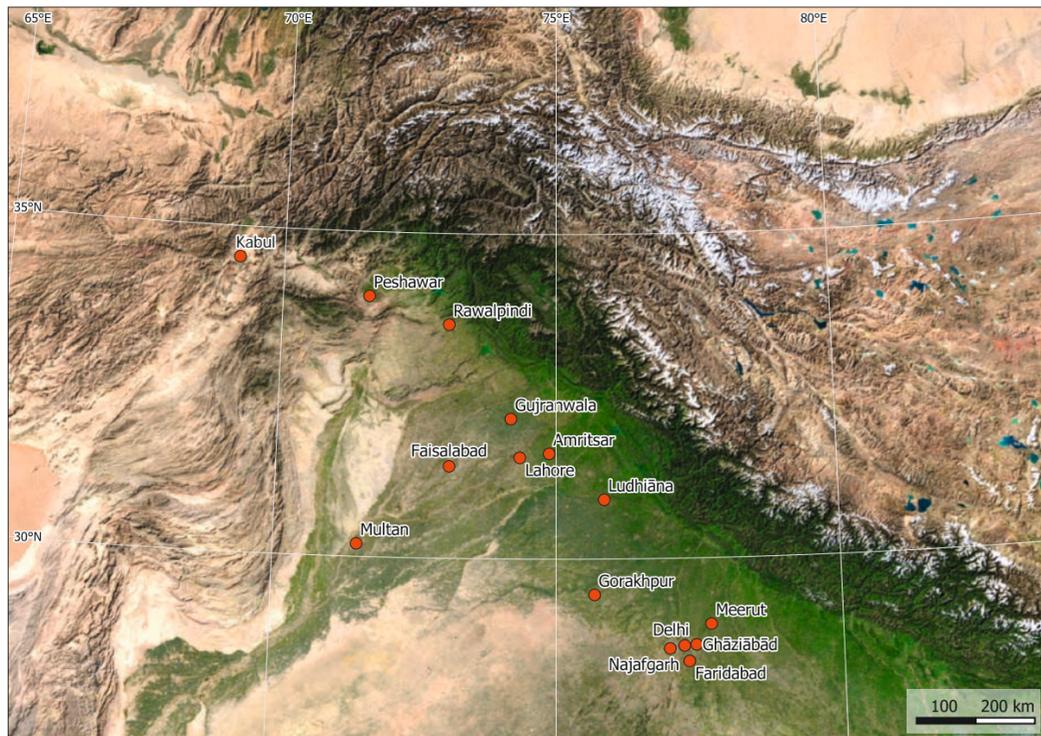
4. Schematischer Querschnitt durch den Himalaja und das Hochland von Tibet, der die Entstehung der Gebirgskette durch die Kollision der Indischen und der Eurasischen Platte zeigt.



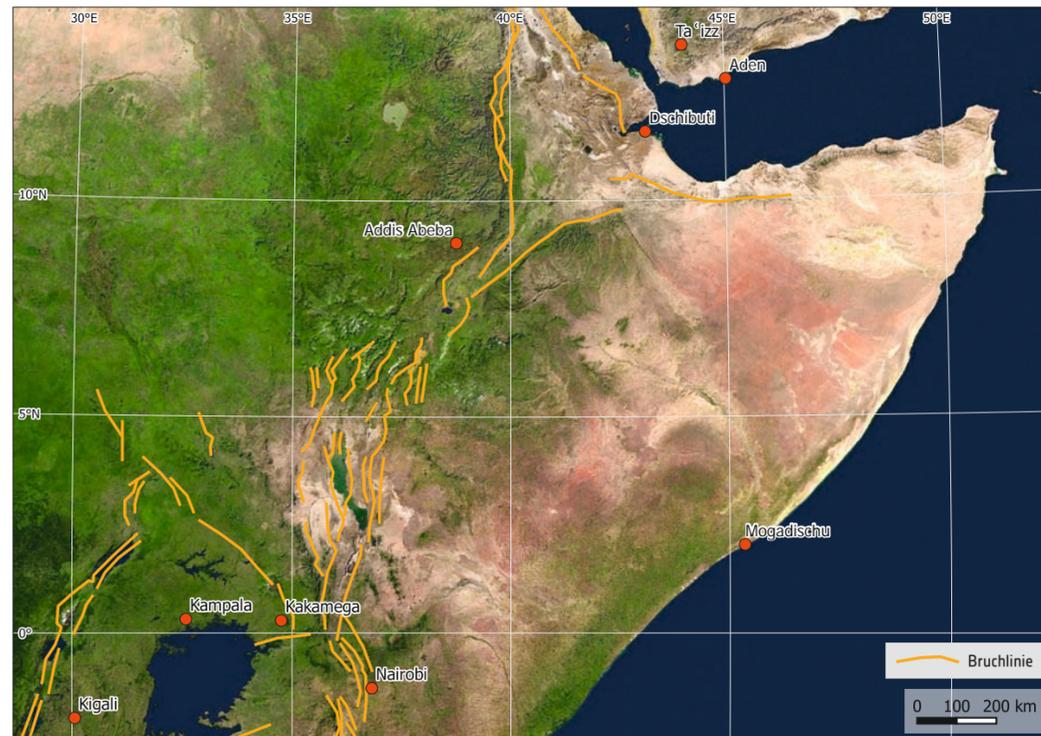
5. Schematischer Querschnitt durch den Ostafrikanischen Grabenbruch, der die Entstehung des Grabens durch das Auseinanderdriften der Afrikanischen und der Somalischen Platte zeigt.



2. Typische Faltenstrukturen am Nordhang des Himalajas, sichtbar in den Farben der Gesteinsschichten. Daten: Sentinel-2, 02.08.2023.

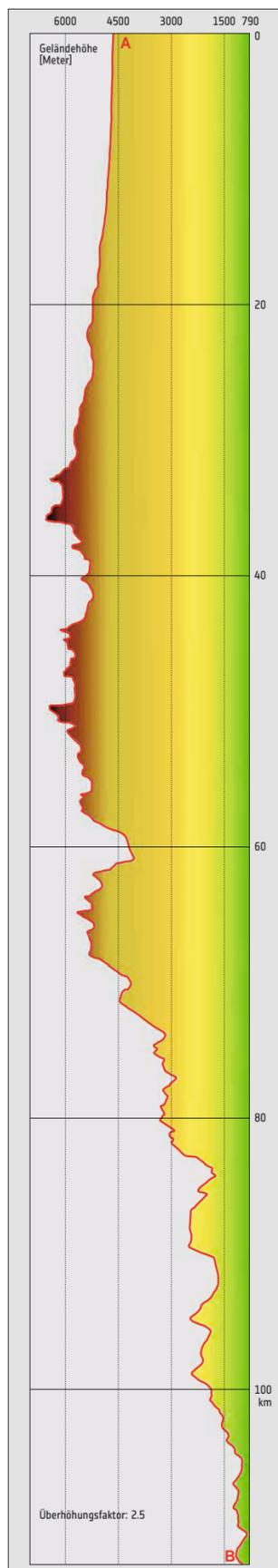


3. Der Himalaja ist ein charakteristisches Faltengebirge. Er entstand durch den Zusammenstoß der nach Norden wandernden Indischen Platte mit der Eurasischen Platte.



6. Detailsicht der Strukturen entlang des Ostafrikanischen Grabenbruchs östlich von Addis Abeba, Äthiopien. Daten: Sentinel-2, 26.08.2023.

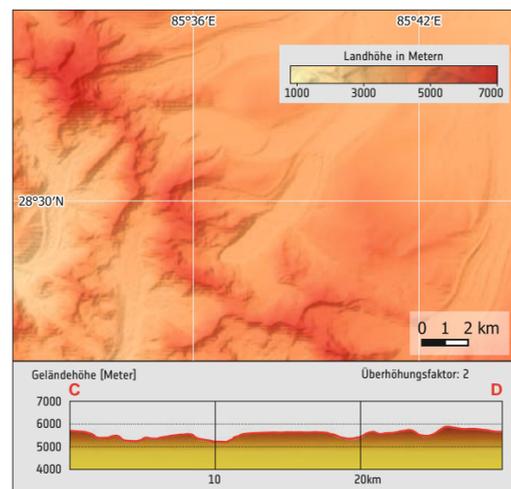
7. Der Ostafrikanische Grabenbruch entsteht durch die Trennung der Somalischen Platte von der Afrikanischen Platte, was zu einer Ausdünnung der Erdkruste um die Trennlinie herumführt.



1. Nord-Süd-Querschnitt durch den Himalaja.



2. Der Himalaja trennt das grüne Tiefland im Süden von der trockenen tibetischen Hochebene im Norden. Daten: Sentinel-2, 22.10.2023.



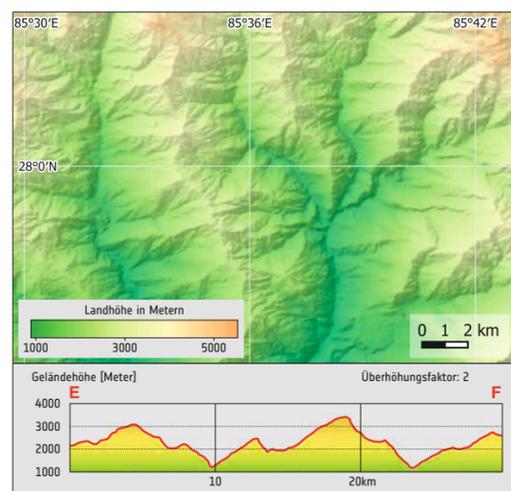
3. Typische U-förmige, von Gletschern geformte Täler werden von Moränen und Gletscherseen begleitet.

Erosion formt Landschaften

Die Hänge des Himalaja sind tektonisch aktiv. Die Kollision zwischen der indischen und der eurasischen Platte führt zur Hebung der Kruste und zur Bildung des Gebirges. Die Hebung der Gebirgskette wird durch Erosionsprozesse verlangsamt.

Der nördliche Abhang des Himalaja, das Hochland von Tibet, ist durch Hochebenen, tiefe Täler und zerklüftetes Gelände gekennzeichnet. Dieses Gebiet ist weitgehend trocken und liegt im Durchschnitt höher als der Südhang. Hier war die Erosion weitgehend von Gletschern bestimmt, was zu den typischen U-förmigen Tälern und Moränen der glazialen Erosion führte.

Der Südhang des Himalaja weist allgemein ein abwechslungsreicheres Relief auf, mit tiefer gelegenen Tälern und höheren Gipfeln. In dieser Region gehen die Ausläufer des Himalaja allmählich in die weiten Ebenen des indischen Subkontinents über. Hier ist vor allem fluviale Erosion zu beobachten. Die Landschaft wird durch Flüsse und Erdbeben geformt, die zu V-förmigen Tälern führen.

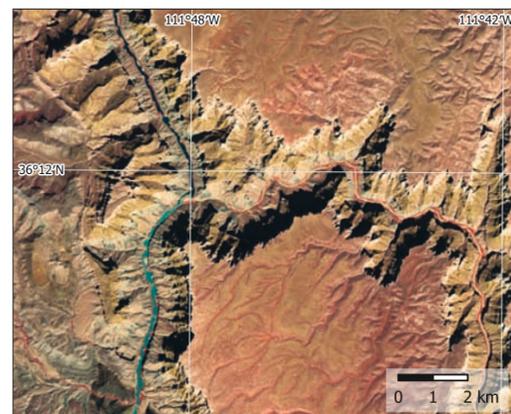


4. Typische V-förmige, zerklüftete Täler, die von den Flüssen am Südhang des Himalajas gebildet werden.

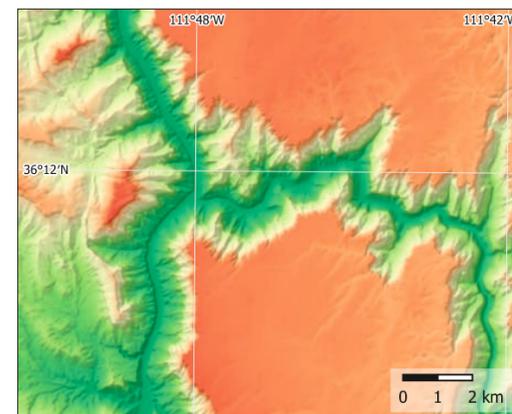
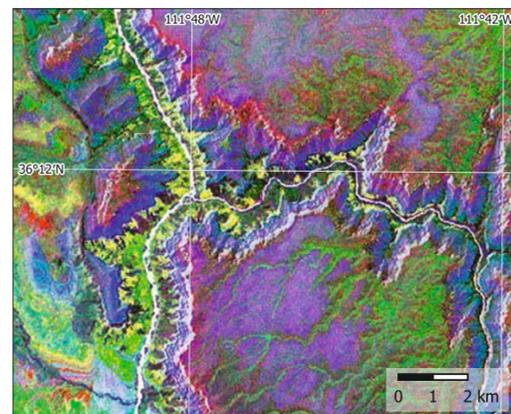
In Sedimentschichten eingeschnitten

Das Colorado-Plateau im Südwesten der Vereinigten Staaten wird vom Colorado River durchflossen. Das Kaibab-Plateau im Westen erscheint in grüner Farbe, da es mit Espen, Fichten, Tannen und Wacholderwäldern bewachsen ist. Die Painted Desert im Osten besteht aus Schichten versteinertes Sanddünen, die parallel zur Oberfläche liegen. Der Colorado fließt von seinem Quellgebiet im Rocky Mountain National Park nach Südwesten und passiert dabei den Marble Canyon. Am südlichen Ende des Canyons mündet er in den Little Colorado River. Im Laufe von Jahrmillionen hat der Fluss den Grand Canyon in die Sedimentschichten geschnitten, während sich Colorado Plateau durch tektonische Prozesse hob.

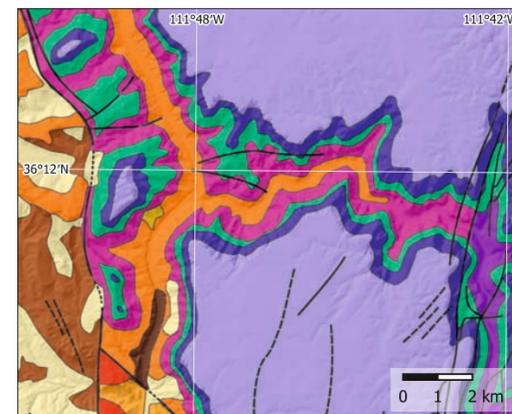
Die Detailkarten zeigen die besondere geologische und geomorphologische Situation der Region, die sich aus der fluvialen Erosion der ansonsten weitgehend ungestörten Sedimentschichten ergab. Die Geländekarte und das Profil verdeutlichen den Schluchtcharakter des in das Colorado-Plateau eingeschnittenen Canyons.



6. Zusammenfluss von Little Colorado River und Colorado River im Falschfarben-Infrarotbild. Daten: Sentinel-2, 24.09.2023.



7. Geländekarte der Region um Zusammenfluss. Der zerklüftete Canyon ist tief in das glatte Colorado-Plateau eingeschnitten.



5. Der Colorado River hat den Grand Canyon bis zu 1500 Meter tief in das Sedimentgestein des Colorado Plateaus eingeschnitten. Daten: Sentinel-2, 24.09.2023.

8. Eine Hauptkomponentenanalyse der Satellitendaten hebt die unterschiedlichen geologischen Schichten hervor (links).

Quartäre Ablagerungen	Permi/Pennsylvanien
• Kolluviale Ablagerungen	• Kaibab-Kalkstein, Toroweap-Formation
• Schutt-ablagerungen	• Coconino-Sandstein, Hermit-Tonschiefer
• Supai-Formation	• Supai-Formation
Mississippi, Devon, Kambrium	Präkambrium
• Redwall-Kalkstein	• Chuar-Gruppe
• Redwall, Temple Butte, Muav (Kalkgesteine)	• Nankoweap-Formation
Kambrium	• Cardenas-Lava
• Bright-Angel-Formation, Tapeats-Sandstein	• Dox-Sandstein

Verwerfung - gestrichelt, wenn Lage geschätzt; gepunktet, wenn verdeckt. Schwarzer Kreis zeigt auf den abgesunkenen Teil der Verwerfung.

9. Geologische Karte.





1. Sizilien, Satellitenmosaik, aufgenommen von Sentinel-2 im Juni 2023.

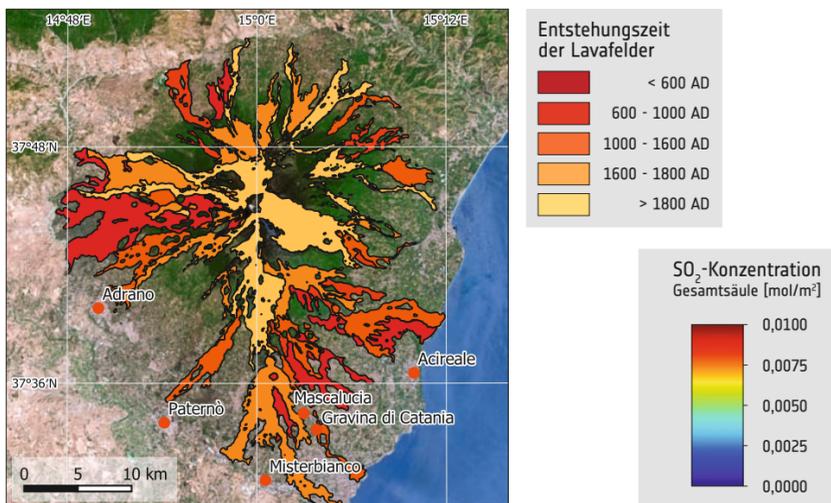
Ätna, Italien

Der Ätna auf der Insel Sizilien ist der größte Vulkan Europas und einer der aktivsten Vulkane der Erde. Dies spiegelt sich in häufigen Ausbrüchen wider. Die Menschen, die an den Hängen des Vulkans und in seiner Nähe leben, sind es gewohnt, immer wieder durch vulkanische Aktivitäten gestört zu werden. Sie nutzen die Vorteile der Lage, insbesondere den fruchtbaren vulkanischen Boden und die Rolle des Vulkans als touristisches Wahrzeichen.

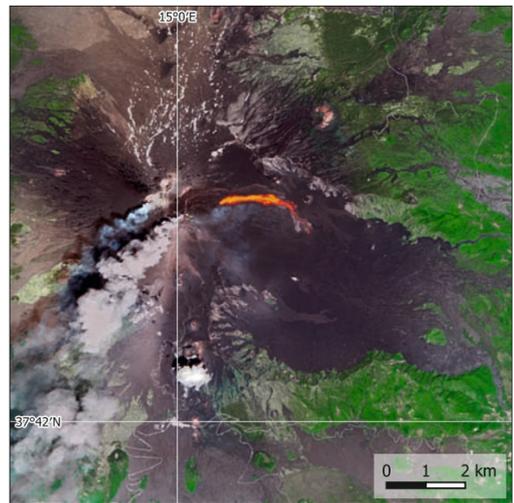
Satellitendaten werden genutzt, um die durch den Vulkan verursachten Schäden zu überwachen und zu bewerten. Sie liefern in Echtzeit Einblicke in das Verhalten des Vulkans und ermöglichen die Kartierung der Lavaströme, Aschefahnen und Gasemissionen. Diese Beobachtungen erlauben frühzeitige Warnungen zum Schutz umliegender Gemeinden und des Flugverkehrs.



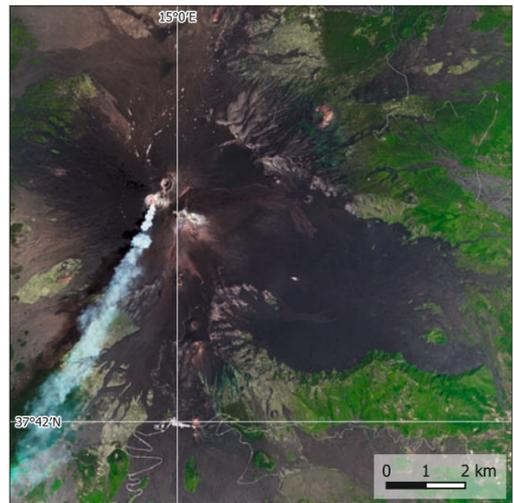
6. Der Ätna während eines Ausbruchs.



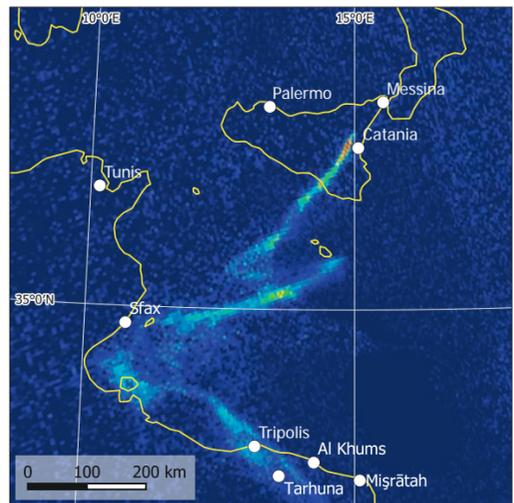
5. Karte des Entstehungsalters der Lavafelder an den Hängen des Ätna. Daten: Sentinel-2, 06.07.2022.



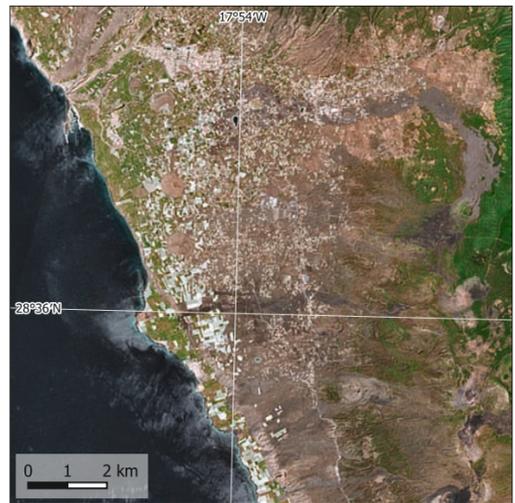
2. Der Beginn des Ausbruchs des Ätna im Juni 2022, 03.06.2022. Das von Sentinel-2 aufgenommene Bild zeigt Aschewolken und einen Lavaström östlich des Gipfels.



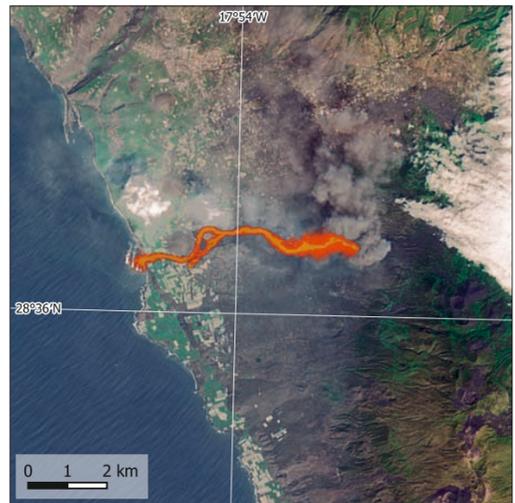
3. Der Ausbruch des Ätna im Juni 2022, nachdem die Lavaströme zum Stillstand gekommen sind. Daten: Sentinel-2, 21.06.2022.



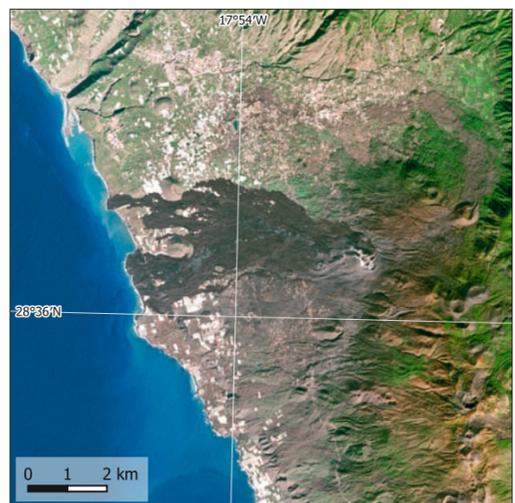
4. Die Karte der SO₂-Konzentration über dem Mittelmeer um Sizilien zeigt die Verfrachtung der Eruptionswolke des Ätna. Daten: Sentinel-5B, 21.06.2022.



7. La Palma, Spanien, 21.08.2021. Das von Sentinel-2 aufgenommene Bild zeigt die Region um Los Llanos de Ariadne vor der Eruption des Cumbre Vieja.



8. La Palma, 30.09.2021. Das von Sentinel-2 aufgenommene Bild zeigt den Lavaström während des Ausbruchs.



9. La Palma, 03.01.2022. Das von Sentinel-2 aufgenommene Bild zeigt die neue, dunkle Lavadecke. Der Vergleich mit dem Bild vor der Eruption zeigt den Verlust von Siedlungen und Feldern.

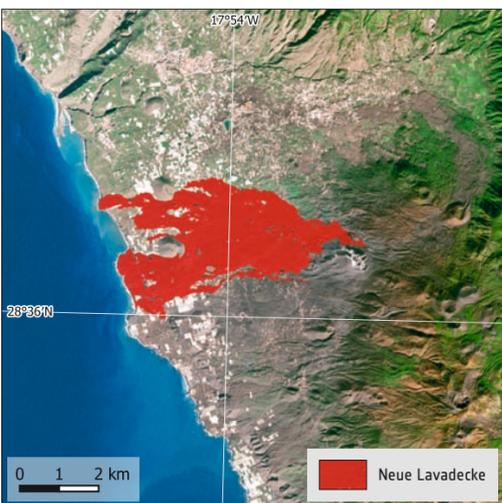
Hotspot-Vulkanismus

Hotspots sind Regionen der Erdkruste, die sich über sogenannten Mantelplumes befinden, Bereiche im Erdmantel, in denen aufgrund von Konvektionsprozessen Magma aufsteigt. Als Folge kann die Erdkruste über dem Plume geschwächt werden und die vulkanische Aktivität der Region zunehmen. Wenn sich die Erdkruste über den Hotspot bewegt, wandert die Zone der vulkanischen Aktivität, sodass sich Vulkanketten bilden können. Hawaii und die Kanarischen Inseln sind bekannte Beispiele für Hotspot-Vulkanismus.

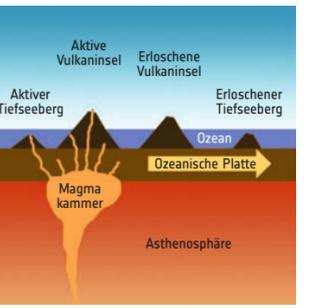
La Palma, Spanien

Die Kanarischen Inseln liegen über dem so genannten Kanarischen Hotspot, einer vulkanisch aktiven Region vor der Nordwestküste Afrikas. Im Herbst 2021 kam es auf der Insel La Palma, die zu dieser Inselgruppe gehört, zu einem spektakulären Vulkanausbruch. Am 19. September brach der Vulkan Cumbre Vieja, der jahrzehntelang geschlummert hatte, plötzlich aus. In einem verheerenden Spektakel stieß er Asche und Lava aus. Ströme rotglühender Lava flossen die Vulkanhänge hinunter und zerstörten Häuser, Bauernhöfe und Straßen. Obwohl der Ausbruch keine Menschenleben forderte, war der Gesamtschaden enorm. Er wurde auf über 800 Millionen Euro geschätzt, einschließlich der Zerstörung der Infrastruktur, der Wohngebiete und der Landwirtschaft. Mehr als 2.800 Gebäude wurden bei diesem Ausbruch zerstört.

La Palma ist stark vom Tourismus abhängig. Dieser litt unter den Folgen des Vulkanausbruchs. Die Einnahmen aus dem Tourismus brachen um etwa 60 % ein, was vorübergehend zu erheblichen Arbeitsplatzverlusten und Geschäftsschließungen führte. Darüber hinaus führte die Zerstörung von Ackerland und Infrastruktur zu Unterbrechungen im Landwirtschafts- und Transportsektor auf der Insel.



10. La Palma, 30.09.2021. Die aus den Satellitendaten abgeleitete neue Lavadecke ist in dem von Sentinel-2 aufgenommenen Bild rot hervorgehoben.



11. Mechanismus der Bildung von vulkanischen Inselketten durch Hotspot-Vulkanismus.



12. Hotspot der Kanarischen Inseln. In den letzten 60 Millionen Jahren (Ma) hat sich der Meeresboden fast 1000 km über den Hotspot hinweg bewegt und dabei Kanarische Inselkette erzeugt.



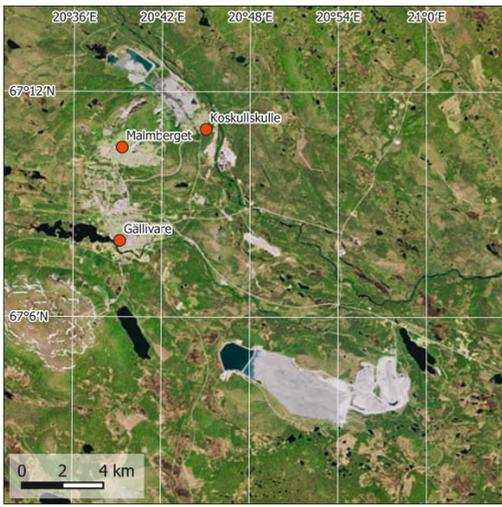
13. La Palma ist die jüngste der größeren Kanarischen Inseln. Ihre Oberfläche weist typische vulkanische Strukturen wie Krater und Lavafelder auf. Daten: Sentinel-2, 03.01.2022.



1. Echtfarbbild der Aitik-Mine (im Bild unten rechts) im Jahr 2023. Daten: Sentinel-2, 15.06.2023.

Kupfermine in Aitik, Schweden

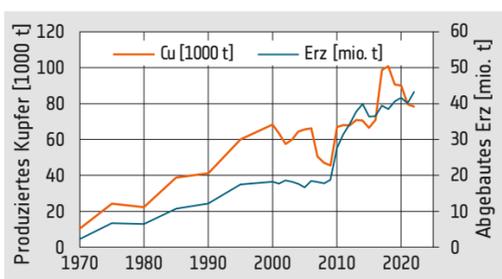
Das in der Nähe der Stadt Gällivare gelegene Aitik ist ein Kupfertagebau. Er wurde 1968 in Betrieb genommen und gehört heute mit einer Fläche von über 450 Hektar zu den größten europäischen und weltweit zu den effizientesten Kupferminen. Satellitenbilder zeigen die Veränderung des Abbaus zwischen 1992 und 2023. In diesem Zeitraum wurde die Erzförderung auf rund 39 Millionen Tonnen jährlich ausgeweitet.



2. Echtfarbbild der Aitik-Mine im Jahr 1992. Daten: Landsat 5, 05.06.1992.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Aitik ist groß, da es mit einem Anteil von fast 40 % der schwedischen Kupferproduktion einen wichtigen Beitrag zu den Exporten des Landes leistet. Darüber hinaus werden kleinere Mengen an Gold, Silber und Molybdän gefördert. Das Bergbauzentrum bietet Tausenden von Menschen in der Region Arbeitsplätze.

Die Auswirkungen der Bergbauaktivitäten von Aitik auf die Umwelt haben zu Fragen über ihre Nachhaltigkeit und zur Forderung nach umweltfreundlichen Praktiken geführt. Daher werden in der Mine moderne Technologien eingesetzt, um ihren ökologischen Fußabdruck zu minimieren und es werden Maßnahmen zur Verringerung der Wasser- und Luftverschmutzung gesetzt.

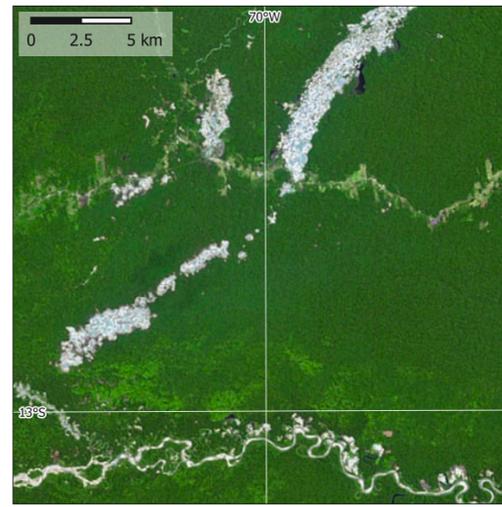


4. Entwicklung der Kupferproduktion in der Aitik-Mine. Im Lauf der Jahre ist die Kupferkonzentration des Erzes auf die Hälfte zurückgegangen. Für die gleiche Menge Kupfer muss daher mehr Erz gefördert werden.



5. Die Entwicklung der weltweiten Kupferproduktion seit 1850 zeigt einen annähernd exponentiellen Verlauf.

3. Blick auf die Terrassenstruktur des Aitik-Tagebaus.

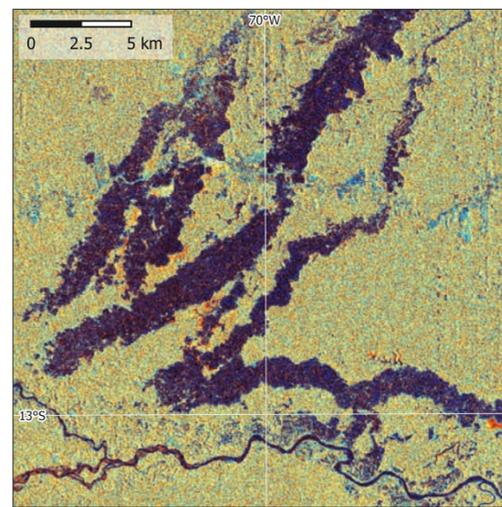


6. Goldabbau in Madre de Dios, Peru, im Jahr 2011. In dieser Region hat sich der Kleinbergbau seit der Jahrtausendwende intensiviert. Daten: Landsat 5, 03.09.2011.

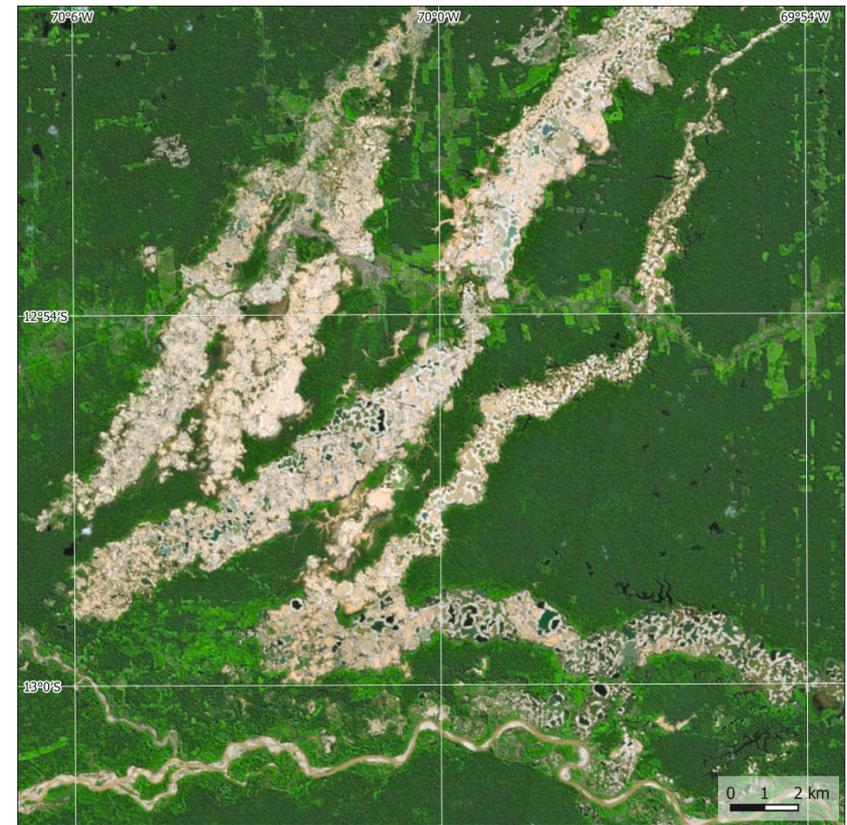
Goldabbau in Madre de Dios, Peru

In der Region entlang des Rio Madre de Dios, einem Teil des peruanischen Amazonasbeckens, hat der informelle und illegale Bergbau in den letzten zwei Jahrzehnten erheblich zugenommen.

Die Bergbauaktivitäten hatten negative ökologische und soziale Folgen, wie Abholzung, Quecksilberverschmutzung und Zerstörung von Lebensräumen, wodurch die Tierwelt und die indigenen Gemeinschaften gefährdet wurden. Bei der Gewinnung von Gold wird giftiges Quecksilber verwendet, das in die Umwelt gelangt und Flüsse und aquatische Ökosysteme verseucht. Jährlich gelangen zwischen 30 und 40 Tonnen Quecksilber in die Nahrungskette. Dies ist ein ernsthaftes Gesundheitsrisiko für die Bewohner und die Umwelt. Etwa 80 Prozent der lokalen Bevölkerung weisen erhöhte Quecksilberkonzentrationen auf. Die Regierung bekämpft diese Probleme durch Regu-

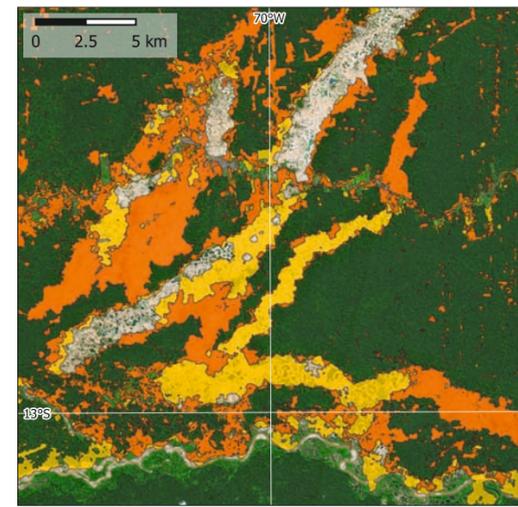


8. Radarsatelliten sind ein wertvolles Instrument für die Analyse der Landnutzung in tropischen Regionen, wo häufig Wolken den Einsatz optischer Daten verhindern. Daten: Sentinel-1, 25.05.2023.



7. Goldabbau in Madre de Dios, im Jahr 2023. Das Satellitenbild zeigt die direkt vom Bergbau betroffenen Gebiete. Außerdem sind neue Siedlungen und landwirtschaftliche Flächen zu sehen. Daten: Sentinel-2, 03.06.2023.

lierung der Bergbauaktivitäten. Satellitenbilder spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung und bei der Bewertung der Auswirkungen dieser Initiativen und tragen dazu bei, ein Gleichgewicht zwischen wirtschaftlicher Entwicklung, öffentlicher Gesundheit und dem Erhalt einer der artenreichsten Regionen der Welt zu finden. Die Zukunft des Goldabbaus in Madre de Dios hängt davon ab, dass nachhaltige Praktiken gefunden werden, die die Umwelt schützen und den Lebensunterhalt der Bevölkerung sichern.



9. Aus Satellitendaten abgeleitete Veränderung der Waldfläche zwischen 2011 und 2023 (gelb: Waldverlust zwischen 2011 und 2016, orange: Waldverlust zwischen 2016 und 2023).



10. Aufnahme von nach dem Goldabbau entlang des Rio Madre de Dios verbliebenen Teichen. Die Farben des Wassers spiegeln unterschiedliche Konzentrationen von Sedimenten und Algen wider.



1. Echtfarbbild des Braunkohlebergwerks Belchatów im Jahr 2023. Daten: Sentinel-2, 15.08.2023.



2. Braunkohlebergwerk Belchatów im Jahr 2020. Daten: Sentinel-2, 01.07.2020.



3. Braunkohlebergwerk Belchatów im Jahr 2010. Daten: Landsat 5, 22.08.2010.



4. Braunkohlebergwerk Belchatów im Jahr 2001. Daten: Landsat 5, 28.07.2001.



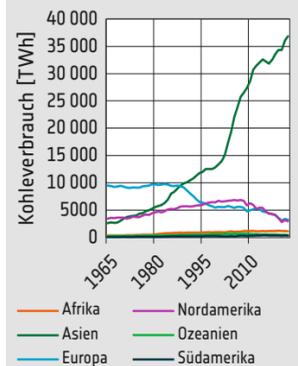
5. Braunkohlebergwerk Belchatów im Jahr 1990. Daten: Landsat 4, 12.06.1990.

Braunkohlebergwerk Belchatów, Polen

Das Braunkohlebergwerk Belchatów in Zentralpolen erstreckt sich über eine Fläche von mehr als 12 500 Hektar und ist damit eines der größten in Europa. Es ist seit Mitte der 1970er Jahre in Betrieb.

Das Bergwerk verfügt über Reserven von mehr als 2 Milliarden Tonnen Braunkohle, einer minderwertigen Kohle, die zur Stromerzeugung verwendet wird. Die geförderte Braunkohle wird an das benachbarte Kraftwerk Belchatów geliefert, das mehr als 40 Millionen Tonnen Braunkohle pro Jahr verbraucht. Mit einer Leistung von mehr als 5,3 GW ist dieses Kraftwerk eines der größten Wärmekraftwerke Europas.

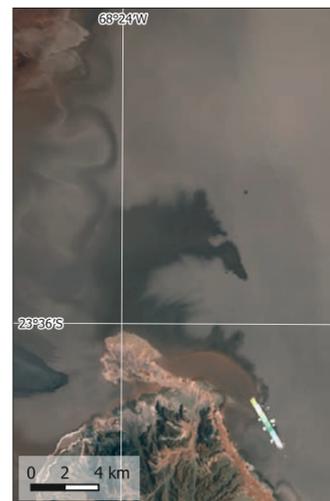
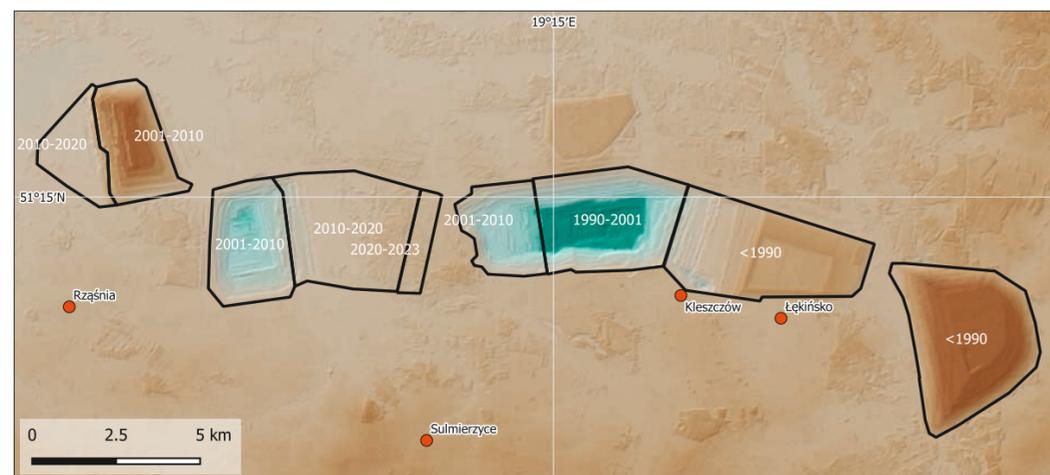
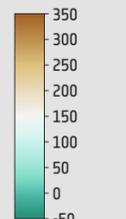
Wie die Satellitenkarten zeigen, wurde der Bergbau den Kohlevorkommen folgend in Richtung Westen verlegt. Wegen der mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe verbundenen Emissionen von Treibhausgasen steht er vor großen Herausforderungen. Mit einem Ausstoß von 30 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr 2020 war das benachbarte Kraftwerk der größte einzelne Verursacher dieses Treibhausgases in Europa.



7. Entwicklung des Kohleverbrauchs [Steinkohle und Braunkohle] für die Energieerzeugung.

6. Die Bergbauaktivitäten haben das Relief des Gebiets um mehrere hundert Meter verändert.

Höhe [m über dem Meeresspiegel]



8. Im Jahr 1985 sind erste Bergbauaktivitäten zu sehen. Daten: Landsat 4, 25.01.1985.



9. Verdunstungspfanen im Jahr 2000. Daten: Landsat 5, 03.01.2000.



10. Bis 2023 wuchs die Produktionsfläche weiter an. Daten: Sentinel-2, 18.01.2023.

Salar de Atacama, Chile

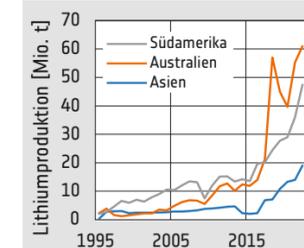
Mit einer Fläche von etwa 3050 km² ist der Salar de Atacama die größte Salzwüste oder Salzpfanne Chiles. Der Salar liegt in den Anden in einer Höhe von 2300 m über dem Meeresspiegel und besteht aus mit Sand und Ton vermischten Salzen.

In dieser Region fallen extrem geringe Niederschlagsmengen. Mit nur 2 mm Regen pro Jahr gehört sie zu den trockensten Gebieten der Welt. Das Wasser aus den umliegenden Bergen ist mit Mineralien und Salzen

angereicht und fließt zum tiefsten Punkt, der Salzpfanne, wo das Wasser verdunstet. Durch diesen Prozess hat sich eine Salzsole gebildet, die bis zu 1,7 km unter die Oberfläche reicht. Sie besteht hauptsächlich aus Natriumchlorid und ist reich an Lithium, Kalium, Magnesium und Bor. Die Sole wird an die Oberfläche gepumpt, wo das Wasser verdunstet und die Salze angereicht werden. Der Salar de Atacama ist eine der wichtigsten Lithiumproduktionsstätten mit etwa 36 % der weltweiten Lithiumproduktion und etwa 27 % der weltweit bekannten Lithiumreserven.

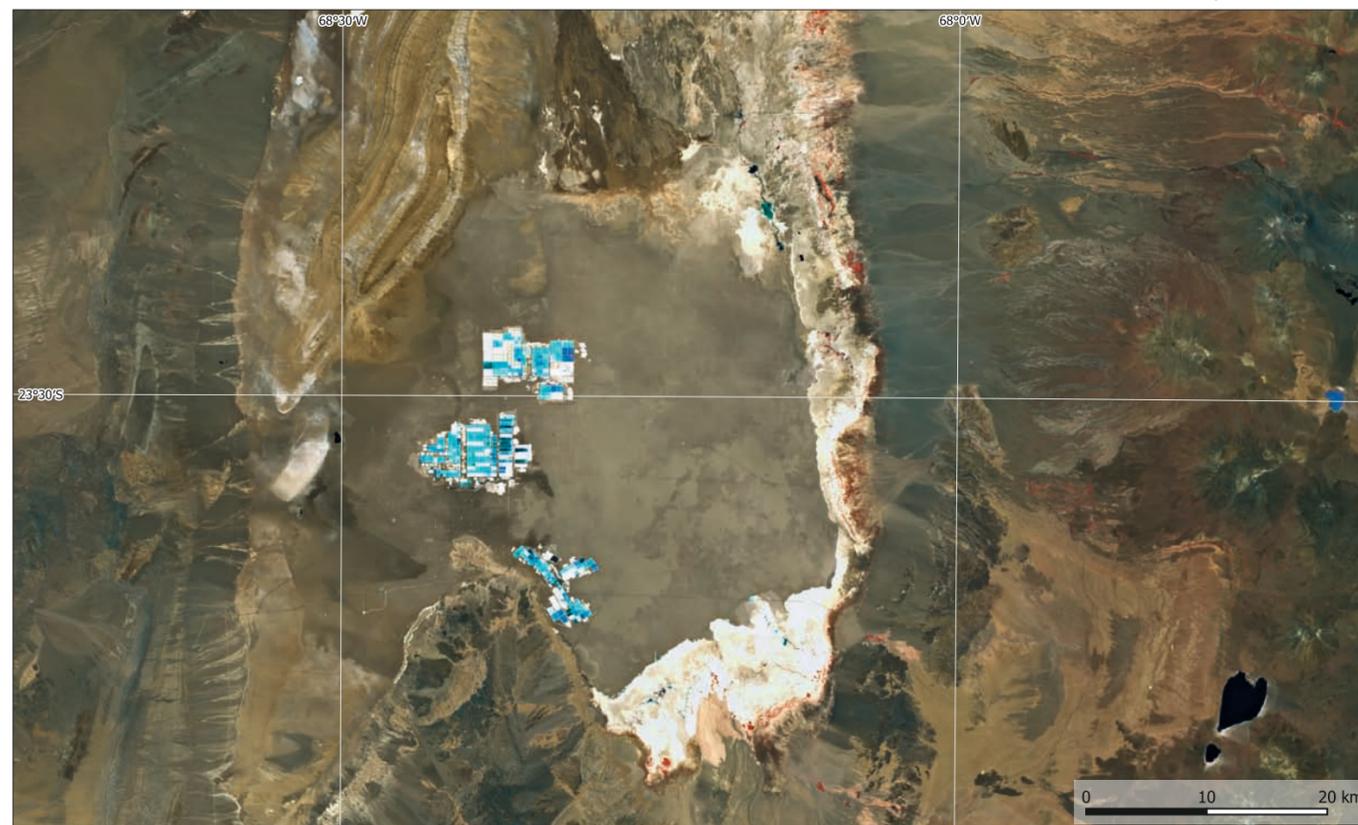


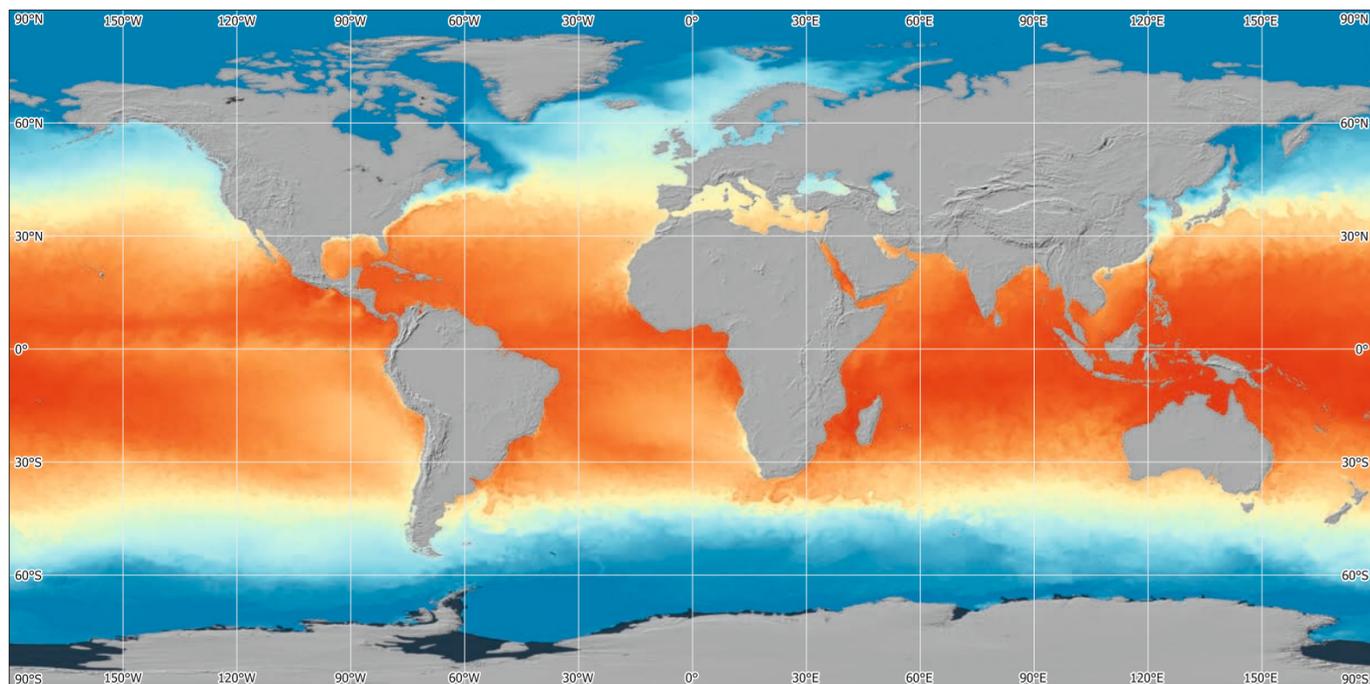
11. Blick auf die Salzkruste, die die Oberfläche des Salar de Atacama bildet.



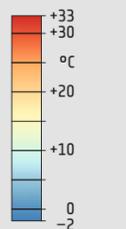
12. Die wachsende Nachfrage nach batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen hat in den letzten Jahren zu einem erheblichen Anstieg der Lithiumproduktion geführt.

13. Das Falschfarben-Infrarot-Satellitenbild zeigt die Vegetation in Rot. In dieser kargen Umgebung sind nur kleine Flecken von Vegetation entlang des östlichen Randes der Salzwüste zu sehen. Daten: Sentinel-2, 18.01.2023.





Meeresoberflächentemperatur

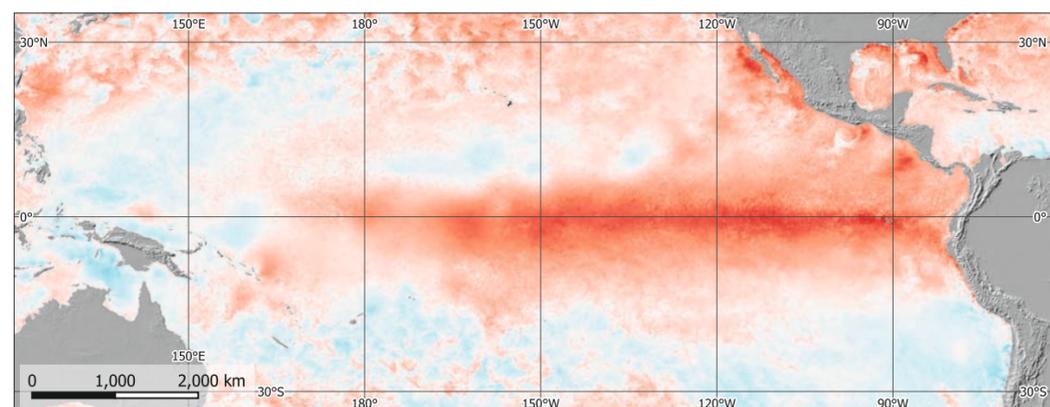


1. Meeresoberflächentemperaturen, 01.01.2023.

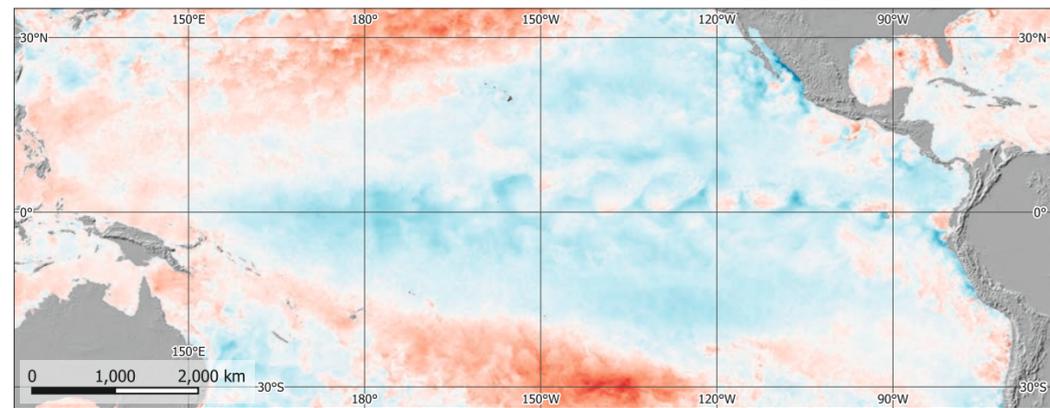
Temperatur der Meeresoberfläche

Die globale Meeresoberflächentemperatur (SST, sea surface temperature) ist eine entscheidende Komponente des globalen Klimasystems und beeinflusst Wettermuster, Meeresströmungen und Ökosysteme. Die SST weist ein zonales Muster auf, mit wärmeren Temperaturen am Äquator und kühleren Temperaturen

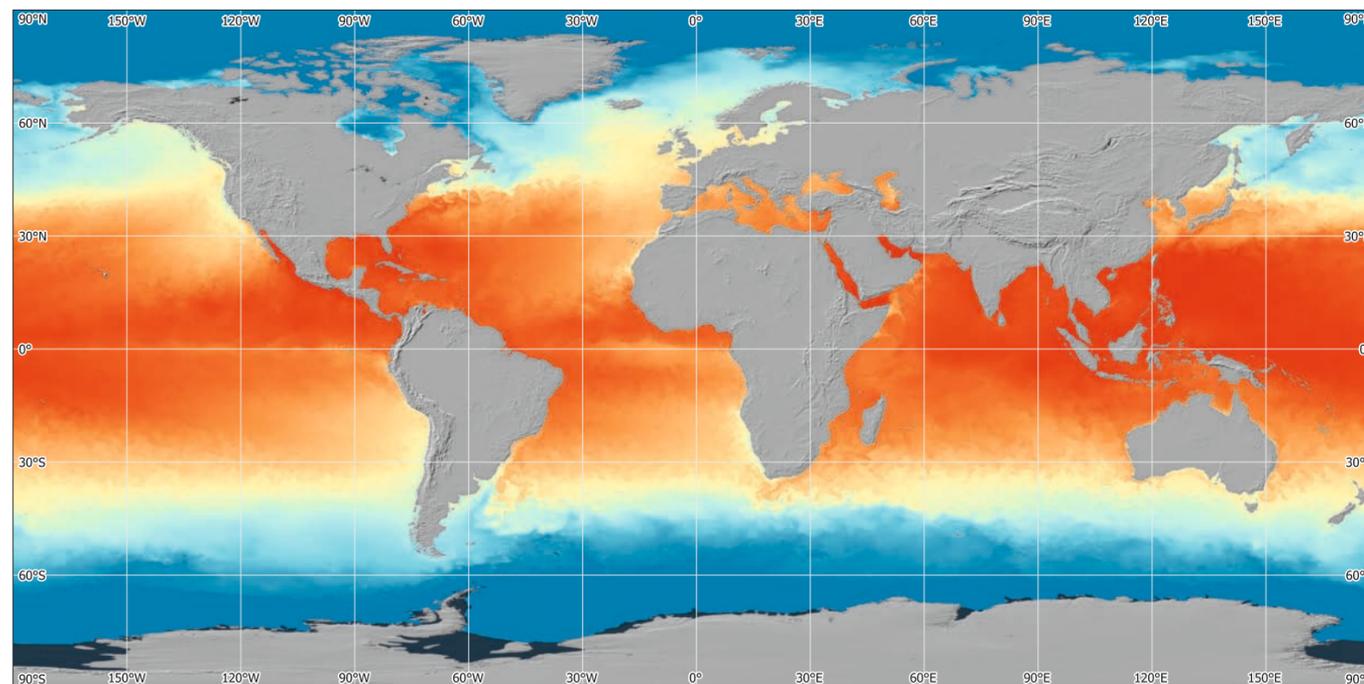
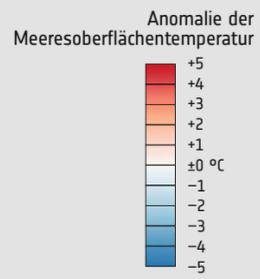
in Polnähe. Im jahreszeitlichen Wechsel wandern diese Zonen nach Norden oder Süden. Die Temperaturunterschiede treiben die atmosphärische und ozeanische Zirkulation an und prägen die Klimamuster. Im Vergleich zur Atmosphäre können die Gewässer große Mengen an Wärmeenergie speichern und fungieren als wichtiger Energiepuffer. Die Meerestempe-



3. Anomalie der Meeresoberflächentemperatur im äquatorialen Pazifik während eines El-Niño-Ereignisses, 25.12.2015.



4. Anomalie der Meeresoberflächentemperatur im äquatorialen Pazifik während eines La-Niña-Ereignisses, 25.12.2011.



2. Meeresoberflächentemperaturen, 01.07.2023.

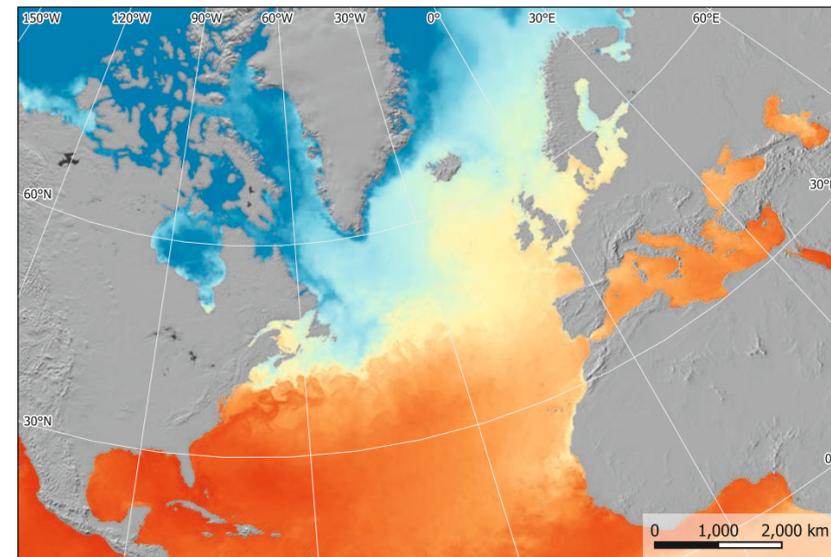
aturen sind zwischen 1950 und 2020 um etwa 0,8 °C angestiegen. Steigende Temperaturen bewirken eine thermische Ausdehnung des Wassers, einer der wichtigsten Faktoren des globalen Meeresspiegelanstiegs.

El Niño und La Niña

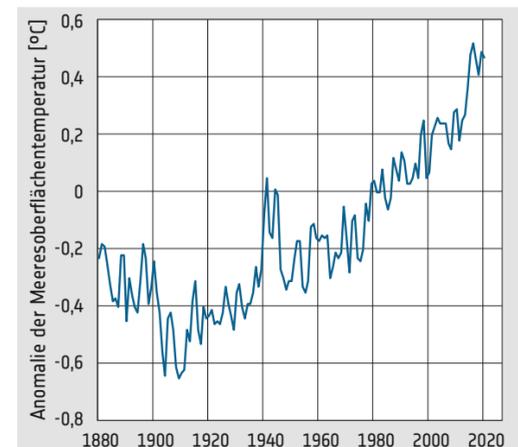
Ein wichtiges Phänomen im Zusammenhang mit der SST ist die El Niño-Southern Oscillation (ENSO). ENSO ist ein natürlicher Klimazyklus, der durch eine periodische Erwärmung (El Niño) und Abkühlung (La Niña) der Oberflächentemperaturen im äquatorialen Pazifik gekennzeichnet ist. Während El Niño-Ereignissen entwickeln sich im zentralen und östlichen Pazifik überdurchschnittlich warme SSTs, die die atmosphärischen Zirkulationsmuster verändern und das Wetter auf der ganzen Welt beeinflussen. Bei La-Niña-Ereignissen hingegen ist die SST in derselben Region kühler als im Durchschnitt, was zu gegensätzlichen Auswirkungen auf das Klima führt, z. B. zu vermehrten Niederschlägen in einigen Regionen und Dürre in anderen.

Golfstrom und Nordatlantikstrom

Der Golfstrom ist eine starke Meeresströmung im Nordatlantik, die warmes Wasser aus dem Golf von Mexiko in Richtung der nordöstlichen USA und als Nordatlantikstrom nach Westeuropa transportiert. Diese Strömung beeinflusst die Meerestemperatur entlang ihres Verlaufs und trägt so zum relativ milden Klima der Küstenregionen in diesen Gebieten bei. Der Nordatlantikstrom spielt auch eine wichtige Rolle bei der Regulierung des globalen Klimas, indem er die Wärme aus den Tropen in höhere Breiten umverteilt und so Wettermuster und Ozeanzirkulation weit über seine unmittelbare Umgebung hinaus beeinflusst.



5. Der Golfstrom und der Nordatlantikstrom, der von Florida in Nordamerika bis nach Skandinavien in Nordeuropa reicht, sind in der Meeresoberflächentemperatur sichtbar (01.01.2014).



6. Die globale durchschnittliche Meeresoberflächentemperatur zeigt einen deutlichen Anstieg. In den letzten 50 Jahren betrug dieser etwa 0,8 Grad Celsius.



1. Übersichts-Satellitenbild des Niltals. Daten: Sentinel-2.

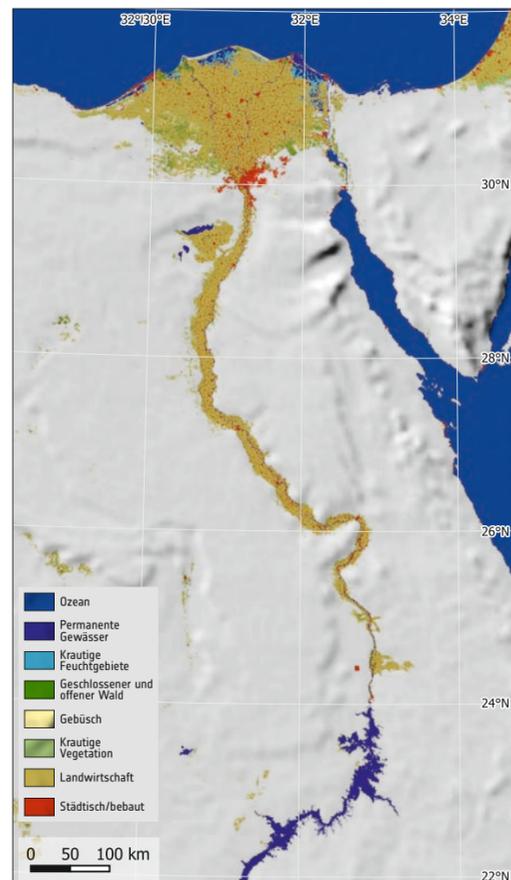
Der Nil

Die Küstenlinie an der Nilmündung bei Alexandria wird hauptsächlich durch die Bilanz zwischen der Ablagerung von Sedimenten durch den Nil und deren Abtransport durch das Mittelmeer bestimmt.

Die Sedimentfracht des Nils wurde durch den 1970 fertiggestellten Assuan-Staudamm, der sich etwa 1000 km flussaufwärts befindet, erheblich verringert. Vor dem Bau des Staudamms transportierte der Nil jährlich etwa 130 Millionen Tonnen Sedimente in das Delta. Heute ist diese Menge auf etwa 16-20 Millionen Tonnen pro Jahr gesunken, was zu einer geringeren natürlichen Ergänzung der Küsten führt.

Im vergangenen Jahrhundert ist der Meeresspiegel im Mittelmeer infolge der globalen Erwärmung um durchschnittlich 3,4 Millimeter pro Jahr angestiegen. Dies führt zu einer zusätzlichen erheblichen Zunahme der Küstenerosion und der Anfälligkeit für Sturmfluten.

Auf der Grundlage von Satellitendaten wurde die Küstenerosion um Alexandria in bestimmten Gebieten mit etwa 1 Meter pro Jahr ermittelt. Diese rasche Erosion bedroht die Infrastruktur, die Küstengemeinden und die landwirtschaftlichen Flächen. Alexandria ist



2. Landnutzungskarte des Niltals.



3. Nildelta, Ägypten, in der Nähe von Rosetta im Jahr 1985. Daten: Landsat 5, 10.06.1985.

die zweitgrößte Stadt Ägyptens und beherbergt über 5 Millionen Menschen. Viele der Einwohner sind auf Landwirtschaft, Fischerei und Tourismus angewiesen, die alle direkt oder indirekt von Veränderungen der Küstenlinie betroffen sind. Deshalb bekämpft Ägypten die Küstenerosion rund um Alexandria und hat beispielsweise im Jahr 2018 21 Millionen Euro für diese Aufgabe ausgegeben.

Großprojekte entlang des Nils

Das New Valley, das sich über eine Fläche von rund 440.000 Quadratkilometern erstreckt, hat eine bedeutende Entwicklung durchlaufen. Das Tal, das die Toshka-Senke und die angrenzenden Gebiete entlang des Nils umfasst, stand im Mittelpunkt des Toshka-Projekts, das Ende des 20. Jahrhunderts als großes Entwicklungsprojekt gestartet wurde.

Dieses Projekt zielte darauf ab, Wasser aus dem Nasser-Stausee umzuleiten, um etwa 540.000 Hektar Wüstenland im New Valley zu bewässern und so neue landwirtschaftliche Flächen zu schaffen. Das Projekt umfasste den Bau von Kanälen und Infrastrukturen für die Bewässerung. Nach anfänglichen Erfolgen sah sich das Toshka-Projekt mit einer Reihe von Herausforderungen konfrontiert, sodass im 2010 nur ein Bruchteil der geplanten Fläche bewirtschaftet wurde. Seither wurden die Anstrengungen wieder verstärkt und eine erhebliche Ausweitung der Anbaufläche erreicht.

Satellitenbilder sind ein wertvolles Instrument für das Verständnis des Ausmaßes und der Auswirkungen solcher Projekte. Im Laufe der Jahre haben Satelliten bei der Überwachung von Veränderungen der Landnutzung und der Vegetation eine immer wichtigere Rolle gespielt. Mit Hilfe ihrer Daten lässt sich analysieren, wie sich die Landschaft verändert, und sie liefern eine visuelle Darstellung von Erfolgen und Rückschlägen der Aktivitäten im New Valley.



4. Nildelta bei Rosetta, mit der Veränderung der Küstenlinie von 1985 bis 2023. Daten: Sentinel-2, 25.06.2023.



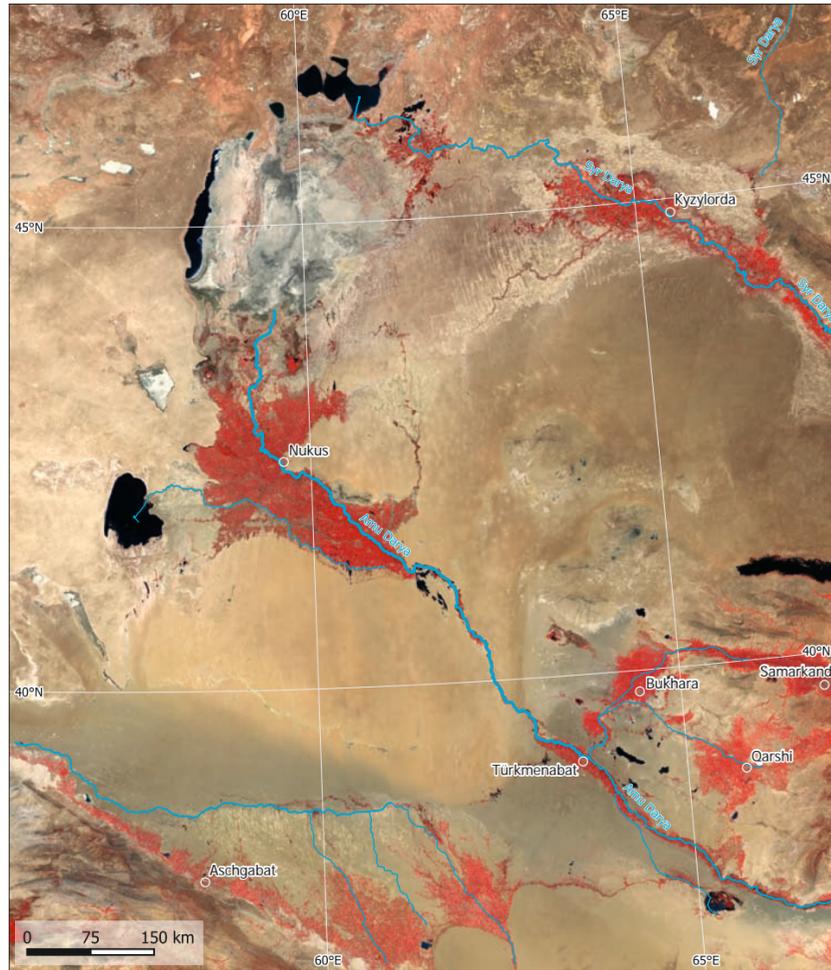
5. Blick auf Damietta am Ufer des Nils.



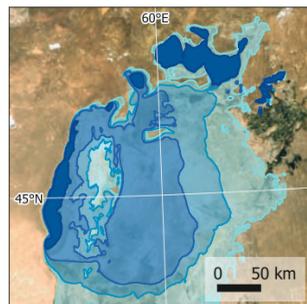
6. New Valley, Ägypten, im Jahr 2017. Daten: Sentinel-2, 05.11.2017.



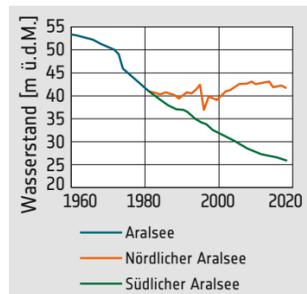
7. New Valley, Ägypten, mit wieder aufgefüllten Seen im Jahr 2022. Daten: Sentinel-2, 14.11.2022.



1. Das Falschfarben-Infrarotbild der Region um den Aralsee zeigt, wo das Wasser seiner Zuflüsse zur Bewässerung genutzt wird (Sentinel-2-Mosaik, Daten aus dem ersten Quartal 2023).



2. Fläche des Aralsees in den Jahren 1964, 1987, 2000 und 2023, abgeleitet aus Satellitendaten.



3. Wasserrückgang. Der Nordteil des Sees wurde durch einen Damm stabilisiert.

Aralsee

Seit den 1960er Jahren schrumpft der Aralsee dramatisch. Dies ist in erster Linie auf die Ableitung von Wasser aus den beiden Hauptzuflüssen, dem Amu Darya und dem Syr Darya, zurückzuführen, das für landwirtschaftliche Bewässerung verwendet wird. Die Sowjetunion initiierte groß angelegte Bewässerungsprojekte für den Anbau von Baumwolle und anderen Feldfrüchten in der trockenen Region und leitete dafür das Wasser vom Aralsee ab.

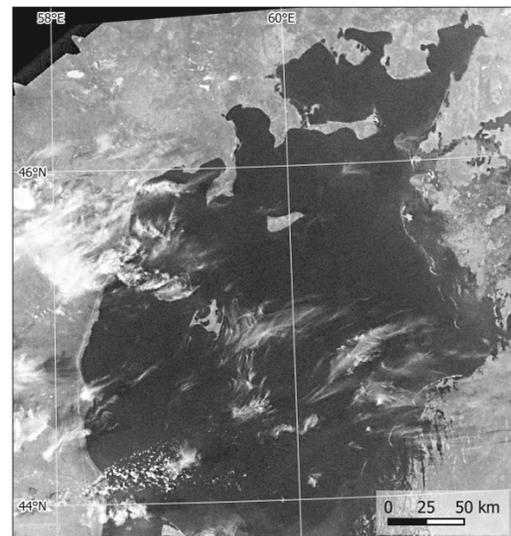
Der Rückgang des Aralsees hatte gravierende ökologische und soziale Folgen. Mit dem Sinken des Wasserspiegels nahm der Salzgehalt des Sees zu. Die Fischpopulationen gingen drastisch zurück, was zum Zusammenbruch der Fischerei in der Region führte. Der salzhaltige Staub des trockenen Seebodens gelangte in die Luft und führte zu einer Zunahme von Atembeschwerden und anderen Krankheiten. Der Zusammenbruch der Fischereiindustrie und die Verschlechterung der landwirtschaftlichen Böden haben wirtschaftliche Folgen für die Menschen um den Aralsee. Einst wohlhabende Fischerdörfer wurden aufgegeben und Arbeitslosigkeit und Armut in der Region nahmen zu.



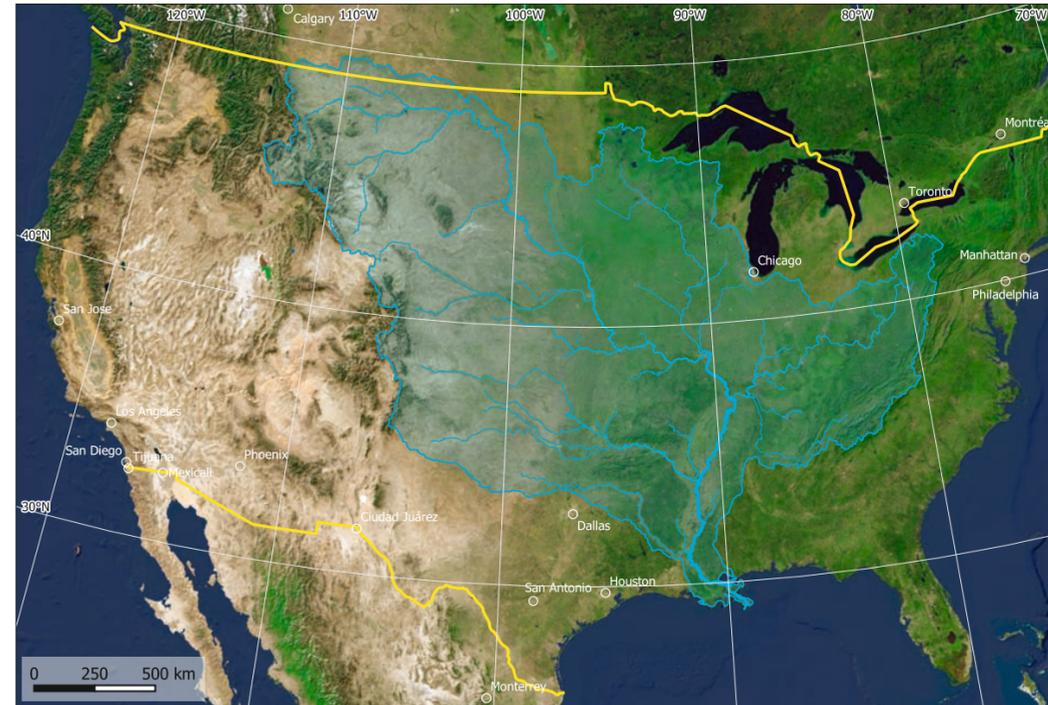
4. Der Aralsee im Jahr 2023. Nur der tiefere Teil im Westen und der nördliche Aralsee bleiben erhalten. Daten: Sentinel-3.



5. Der Aralsee im Jahr 1987. Daten: Landsat-4.

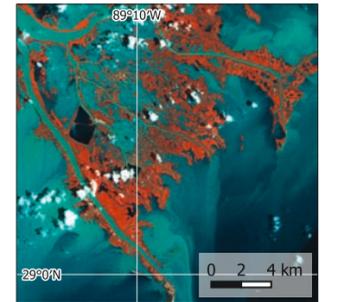


6. Dieses Bild, das 1964 vom Aufklärungssatelliten Argon aufgenommen wurde, ist eine wichtige Quelle zur Dokumentation der Veränderungen des Aralsees.

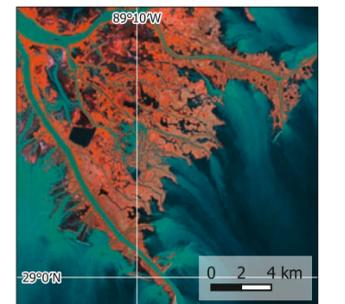


7. Das Einzugsgebiet des Mississippi nimmt einen großen Teil der Fläche der Vereinigten Staaten ein.

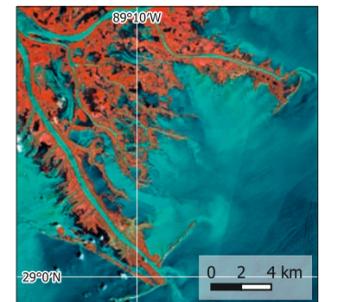
9. Seit 1985 aufgenommene Satellitenbilder veranschaulichen die Dynamik des Mississippi-Deltas.



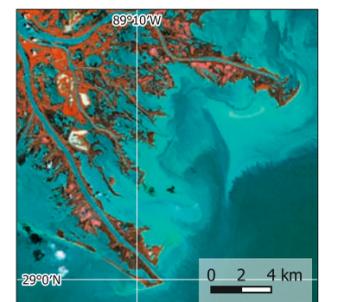
9a. Daten: Landsat 4, 04.05.1985.



9b. Daten: Landsat 5, 19.07.1995.



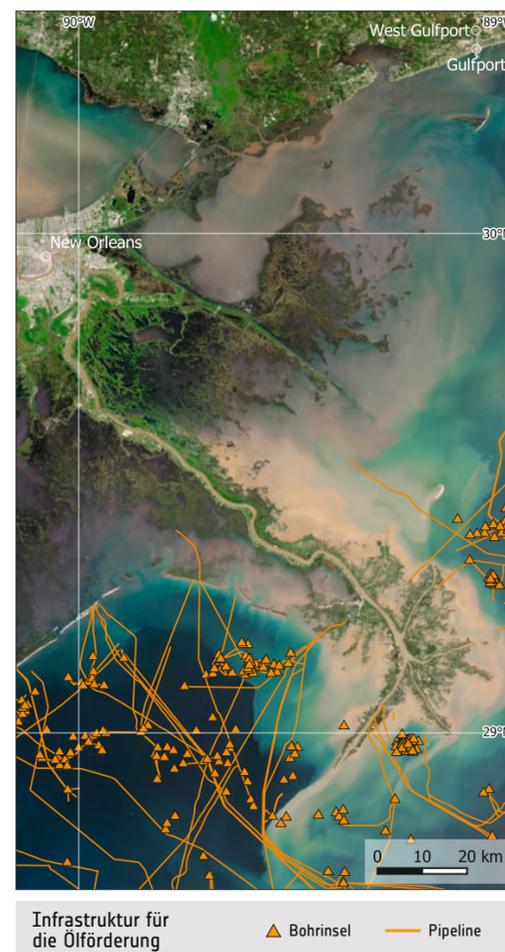
9c. Daten: Sentinel-2, 08.05.2017



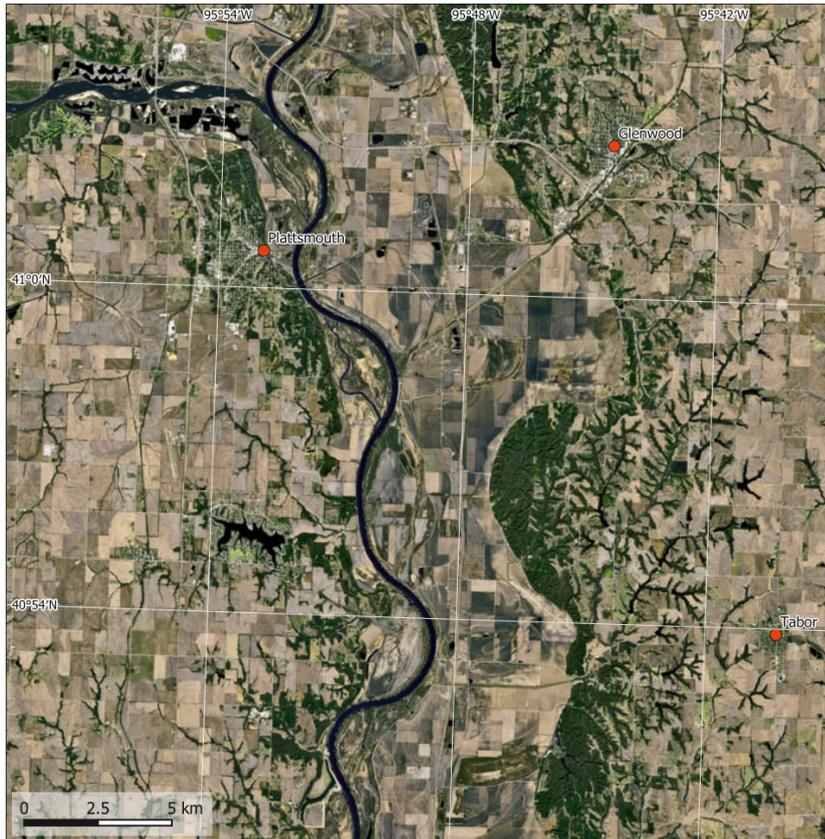
9d. Daten: Sentinel-2, 12.05.2023

Mississippi-Delta

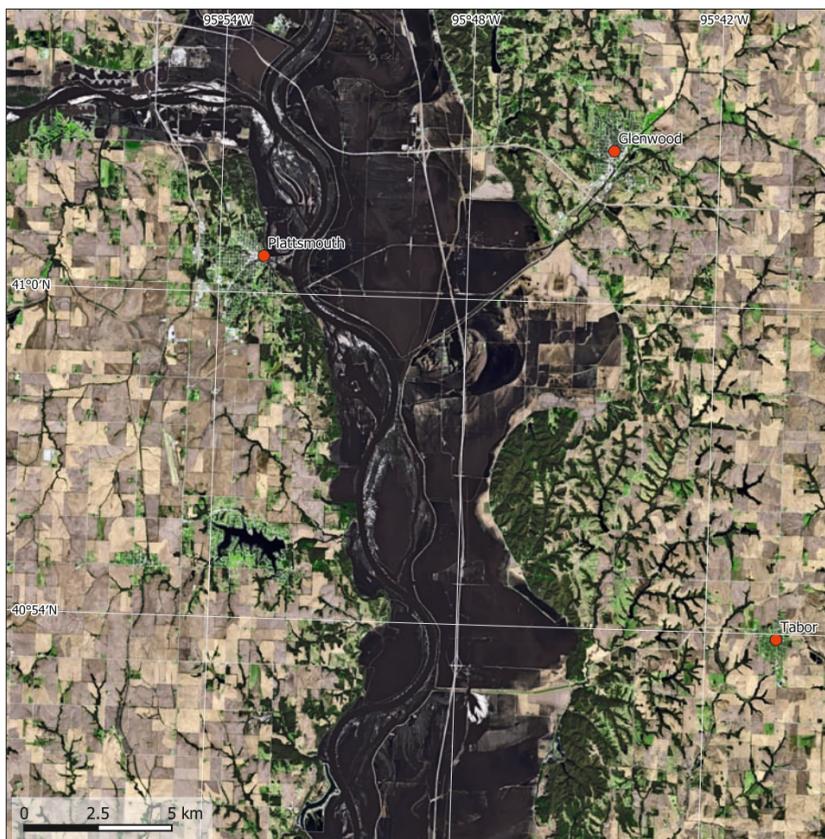
Die veränderte Landnutzung im Einzugsgebiet des Mississippi und in seinem Delta hat sowohl die Landschaft als auch die Hydrologie verändert. Etwa 80 % der ursprünglichen Feuchtgebiete im Mississippi-Delta sind durch die Nutzung für die Landwirtschaft, Siedlungen und Infrastruktur verloren gegangen. Etwa 60 % der vom Fluss mitgeführten Sedimentfracht wird heute von Dämmen zurückgehalten, wodurch der Sedimenteintrag in das Delta verringert und die Landabsenkung verschärft wird. Die Verstädterung entlang des Flusses zu einer Vergrößerung der versiegelten Oberflächen geführt, was flussabwärts zu höheren Abflussmengen und Überschwemmungsrisiken führt. Die am Delta liegende Stadt New Orleans ist besonders gefährdet, da etwa 40 % der Fläche unter dem Meeresspiegel liegen. Die Ölindustrie ist mit Offshore-Bohrplattformen, Raffinerien und petrochemischen Anlagen ein wichtiger Wirtschaftsfaktor der Region. Diese Industrie birgt Umweltrisiken wie die Zerstörung von Lebensräumen und die Gefahr von Ölverschmutzungen. So gelangten bei der Ölpest durch die Deepwater-Horizon-Katastrophe im Jahr 2010 schätzungsweise 4,9 Millionen Barrel Öl in den Golf von Mexiko. Hurrikane sind eine wiederkehrende Bedrohung für das Mississippi-Delta. Der Hurrikan Katrina im Jahr 2005 und der Hurrikan Harvey im Jahr 2017 haben Schäden in Milliardenhöhe verursacht und Menschenleben gekostet. Der Verlust von Feuchtgebieten und die Küstenerosion haben die natürlichen Barrieren, die die Küste schützen, verringert, sodass die Gefährdung durch Sturmfluten und Überschwemmungen zunimmt.



8. Zur Ausbeutung der reichen Ölreserven im Golf von Mexiko wurde ein dichtes Netz von Offshore-Bohrinseln und Ölpipelines errichtet. Daten: Sentinel-2, 22.4.2023.



1. Plattsouth, USA. Daten: Sentinel-2, 21.03.2023.



2. Plattsouth, USA. Das Tal um die Flüsse Platte und Missouri ist überflutet, nur einige Infrastrukturelemente wie Autobahnen und Dämme bleiben trocken. Daten: Sentinel-2, 31.03.2019.

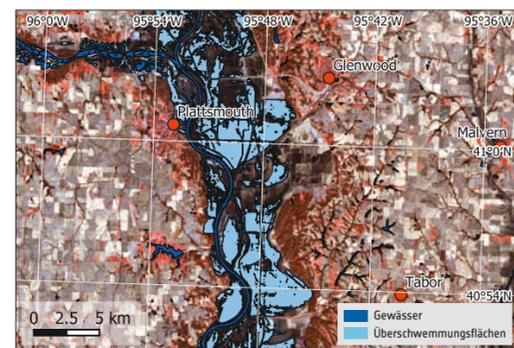
Plattsouth, USA

Die Überschwemmungen rund um Plattsouth, Nebraska, im Jahr 2019 waren ein katastrophales Ereignis, das in der Region große Verwüstungen anrichtete. Ausgelöst durch eine Kombination von Faktoren wie starken Regenfällen und Schneeschmelze, wurden Häuser, Farmen und Infrastruktureinrichtungen entlang des Missouri Rivers überflutet.

Der Klimawandel spielte bei diesem Ereignis insofern eine Rolle, als steigende globale Temperaturen zu extremeren Wettermustern mit stärkeren Niederschlägen und erhöhtem Überschwemmungsrisiko führen. Im Fall von Plattsouth traten in der Region rekordverdächtige Niederschläge auf, die zum Teil mehr als 50 cm innerhalb kurzer Zeiträume betrug. Diese übermäßigen Regenfälle in Verbindung mit dem durch frühere Niederschläge gesättigten Boden führten dazu, dass die Kapazität des Flusses, das Wasser zurückzuhalten, überfordert war.

Von den Überschwemmungen waren mehr als 2000 Häuser betroffen, und fast 1000 Menschen in der Gegend von Plattsouth mussten evakuiert werden. Die Schäden an Häusern, Infrastruktur und Landwirtschaft gingen in die Millionen und brachten das Leben zahlreicher Anwohner durcheinander.

Satellitenbilder zeigen die dramatische Ausbreitung des Hochwassers, das ganze Gemeinden und weite Flächen des Ackerlands betraf. Die Daten erlaubten außerdem eine genaue Schätzung der betroffenen Gebiete und der durch die Flut verursachten Schäden, was z.B. für Versicherungen wichtig ist.



3. Plattsouth. Falschfarben-Infrarotbild, überlagert mit aus Satellitendaten abgeleiteten Wasserflächen. Daten: Sentinel-2, 31.03.2019



4. Ansicht von Plattsouth während des Hochwassers.



Venedig, Italien

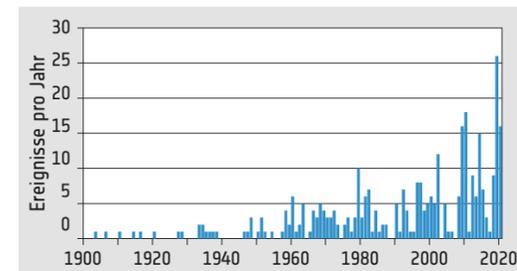
Venedig, Italiens berühmte „Stadt im Meer“, wurde auf hunderten Inseln in einer Lagune an der Adria erbaut. Aufgrund ihrer exponierten Lage hat die Stadt seit langem mit Überschwemmungen sowohl vom Meer als auch vom Festland her zu kämpfen.

Um die zunehmende Gefahr von Überschwemmungen durch das Meer zu verringern, beschloss die italienische Regierung, das innovative Hochwasserschutzsystem MOSE (*Modulo Sperimentale Elettromeccanico*, Experimentelles Elektromechanisches Modul) zu installieren.

MOSE besteht aus drei hydraulisch betriebenen Barrieren, die an den Durchfahrten von der Adria in die Lagune von Venedig installiert sind. Zwei dieser Eingänge sind im Übersichts-Satellitenbild zu sehen. Wenn der Wasserstand steigt, aktivieren Sensoren das System, das die Barrieren mit Druckluft füllt und eine solide Barriere gegen Flut und Sturmfluten bildet.

MOSE integriert fortschrittliche Technologie zur Überwachung und Steuerung und berücksichtigt dabei das ökologische Gleichgewicht der Lagune. Als bahnbrechendes Beispiel für die Anpassung an den Klimawandel zeigt MOSE, wie sich Küstenstädte an die Risiken des steigenden Meeresspiegels anpassen können, aber auch, wie groß der Aufwand dafür ist.

MOSE wurde bereits mehrfach erfolgreich aktiviert. Ein Beispiel für das System im aktivierten Zustand zeigt die Satellitenkarte aus dem Jahr 2021.



5. Venedig. Entwicklung der Anzahl der Acqua-Alta-Ereignisse (Hochwasser) pro Jahr.



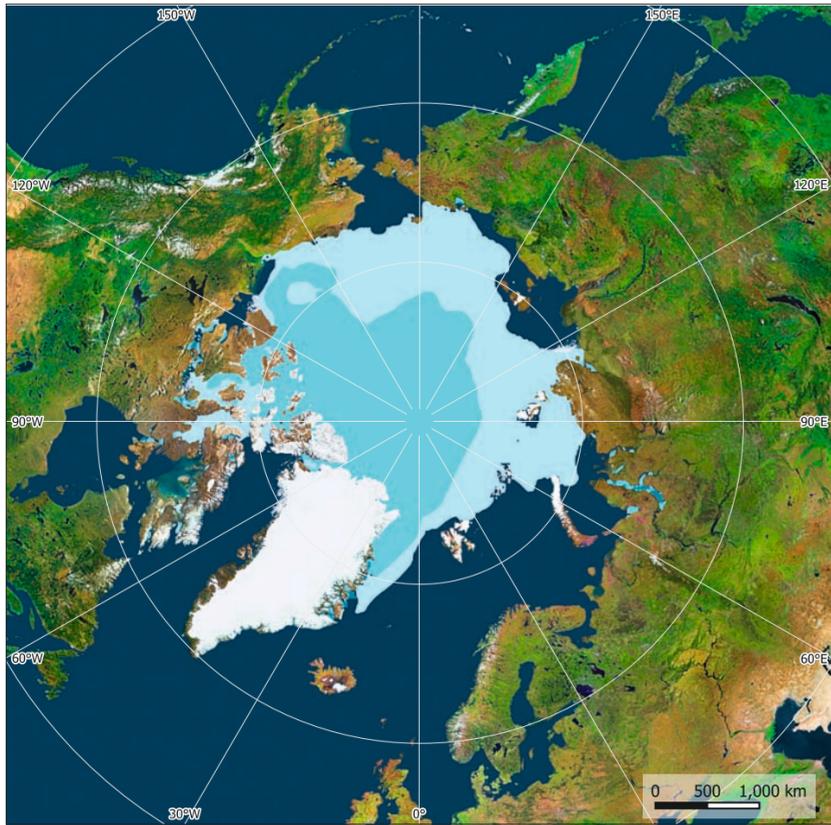
6. Venedig. Blick auf das geschlossene MOSE-Sperrwerk bei Malamocco im Süden des Lido.



7. Venedig, Italien, während die Barrieren von MOSE geschlossen sind. Daten: Sentinel-2, 24.11.2022.



8. Venedig, Italien, bei geöffneten Barrieren von MOSE. Farbunterschiede im Meer aufgrund unterschiedlicher Sedimentkonzentrationen weisen auf Meeresströmungen hin. Daten: Sentinel-2, 04.11.2021.



Arktisches Meereis

Das arktische Meereis ist ein wichtiger Bestandteil des Klimasystems der Erde und trägt zur Regulierung der globalen Temperaturen bei. Bei seiner maximalen Ausdehnung im Winter bedeckt es etwa 14 Millionen Quadratkilometer und bildet einen reflektierenden Schild, der die Sonnenstrahlung zurückwirft und so den Planeten abkühlt. In den Sommermonaten schrumpft das arktische Meereis und erreicht etwa im September sein Minimum.

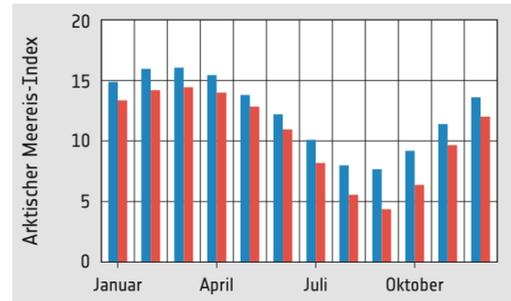
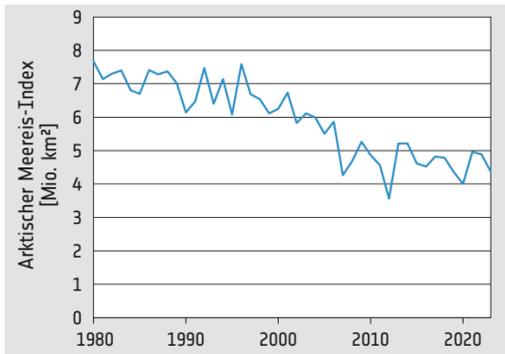
Das arktische Meereis hat in den letzten Jahren aufgrund des Klimawandels abgenommen. Seine minimale Ausdehnung in den Sommermonaten ist auf etwa 3-4 Millionen Quadratkilometer zurückgegangen. Außerdem hat auch die Dicke des arktischen Meereises seit den 1980er Jahren um mehr als 40 % abgenommen.

Das schwindende arktische Meereis führt zu Störungen der Wettermuster, beeinflusst die Ozeanzirkulation und bedroht den Lebensraum arktischer Tierarten, darunter Eisbären und Walrosse. Andererseits eröffnet der Verlust des Meereises Möglichkeiten für Schifffahrtsrouten und den Abbau von Ressourcen. Satellitendaten spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Meereises, indem sie Daten über Eisausdehnung, -dicke und -bewegung liefern.

Minimale Meereisausdehnung
1980 (September)
2020 (September)

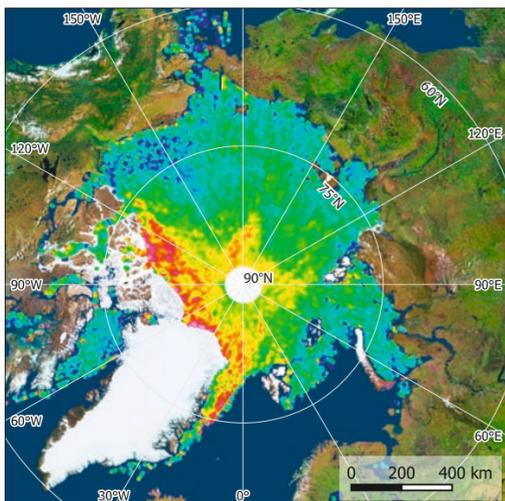
1. Die Dynamik des Meereises in der arktischen Region.

2. Entwicklung der von Meereis bedeckten Fläche in der Arktis im September (d.h. im Monat mit dem Jahresminimum).

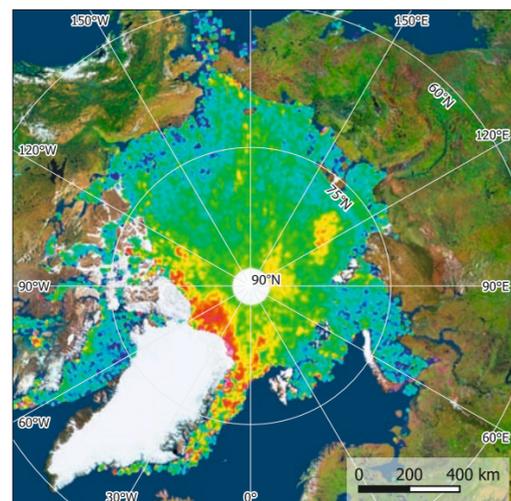


3. Jahreszeitliche Variation der arktischen Meereisausdehnung (blau: 1980, Meereisbedeckung, rot: 2023).

Meereisdicke
3,50 m
3,00 m
2,00 m
1,00 m
0,00 m



4. Dicke des arktischen Meereises im Januar 2011. Monatlicher Durchschnitt aus den von CryoSat erfassten Daten.



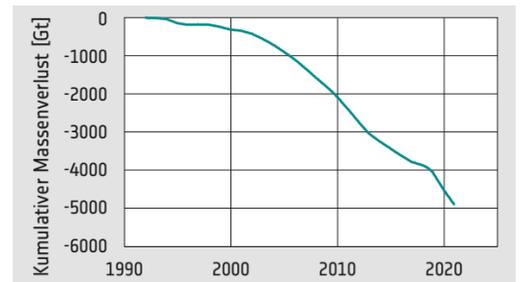
5. Dicke des arktischen Meereises im Jan. 2024. Monatliche Durchschnittswerte aus den von CryoSat erfassten Daten.

Grönländischer Eisschild

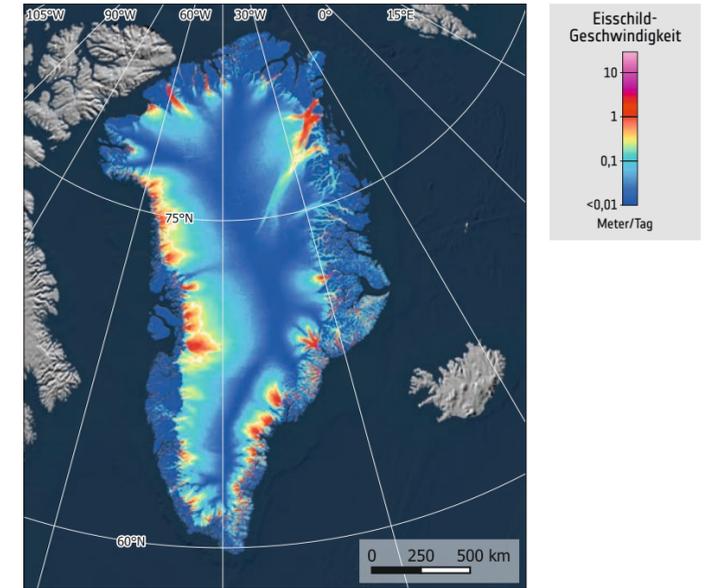
Nach der Antarktis ist der grönländische Eisschild der zweitgrößte der Welt. Mit einer Fläche von rund 1,7 Millionen Quadratkilometern bedeckt er 80 % der Insel. Er ist einer der größten Süßwassereisvorräte und spielt eine wichtige Rolle für das globale Klima und den Meeresspiegel. Der Eisschild erreicht eine Dicke von mehr als 3 Kilometern und beherbergt eine geschätzte Eismenge, deren Schmelzen den Meeresspiegel um etwa 7,2 Metern ansteigen lassen würde. Seine Masse übt einen großen Einfluss auf regionale Wettermuster und Meeresströmungen aus.

Untersuchungen mit Hilfe von Satellitenbeobachtungen, Eiskernproben und Klimamodellen haben klare Trends in der Dynamik des grönländischen Eisschildes aufgezeigt. Das beschleunigte Abschmelzen aufgrund steigender Temperaturen hat zu verstärktem Abfluss und dem Kalben von Eisbergen geführt und damit zum Anstieg des Meeresspiegels beigetragen. Der Verlust an Eismasse in Grönland wurde als eine der Hauptursachen für den Meeresspiegelanstieg identifiziert. Rückkopplungsmechanismen verschlimmern die Anfälligkeit des Eisschildes für den Klimawandel. Wenn das Eis schmilzt und dunklere Oberflächen wie Gestein oder Wasser freigelegt werden, wird mehr Sonnenstrahlung absorbiert und das weitere Schmelzen in einer so genannten positiven Rückkopplungsschleife beschleunigt.

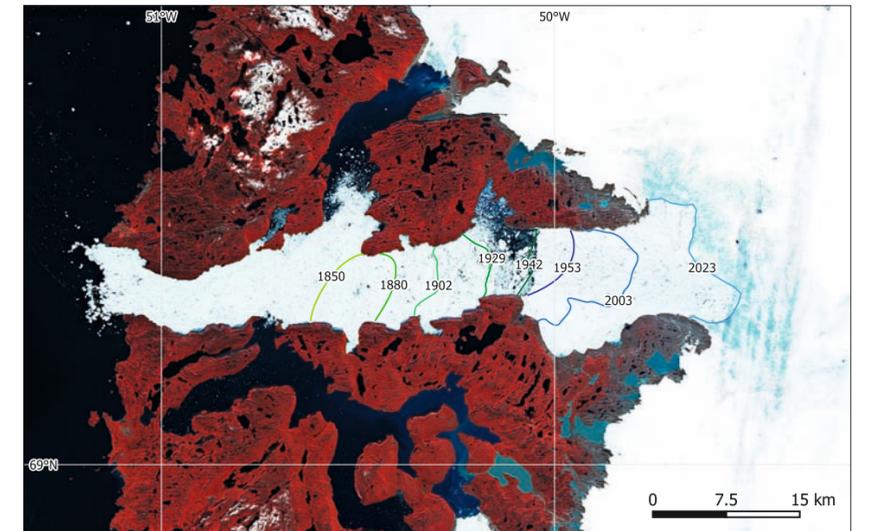
Satelliten-Altimetrie-Messungen geben Aufschluss über Veränderungen in der Höhe des Eisschildes und ermöglichen die Überwachung von Schwankungen in der Eisdicke. Diese Daten zeigen die Ausdünnung und den Massenverlust vor allem an der Küste Grönlands, wo wärmeres Meereswasser die Eisschmelze von unten beschleunigt. Satellitenbilder liefern Informationen über Oberflächenmerkmale und Schmelzmuster im gesamten Eisschild. Hochofösende optische und Radarbilder erfassen Details wie Gletscherspalten, Schmelztümpel und supraglaziale Seen, die die Entwicklung des Eisschildes beeinflussen. Satellitengestützte Radar-Fernerkundung ermöglicht die Überwachung der Bewegung des Eisschildes mit Techniken wie dem Radar-Interferometrie mit synthetischer Apertur (InSAR). Durch präzise Messung von Änderungen der Oberflächenhöhe gibt InSAR Aufschluss über die Fließgeschwindigkeiten des Eises.



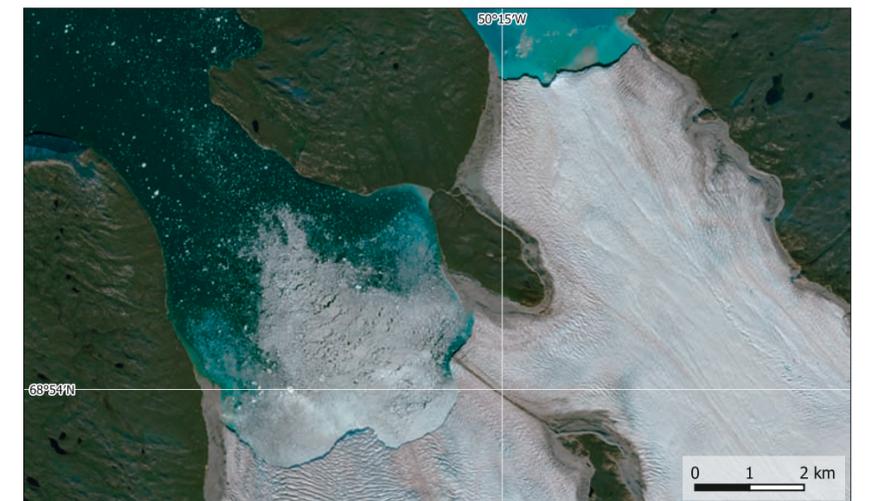
6. Grönland, Kumulativer Masseverlust des Eisschildes seit dem Jahr 1990. Daten: IMBIE.



7. Grönland, Fließgeschwindigkeit des Eises im Jahr 2020. Daten: Sentinel-1.



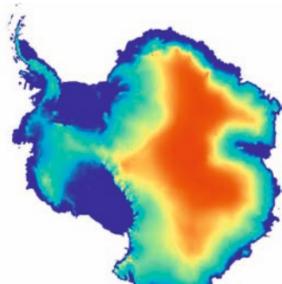
8. Jakobshavn Isbrae, Grönland, Falschfarben-Infrarotbild. Die Überlagerung zeigt den Rückzug des Gletscherrandes seit 1850. Daten: Sentinel-2, 01.09.2023.



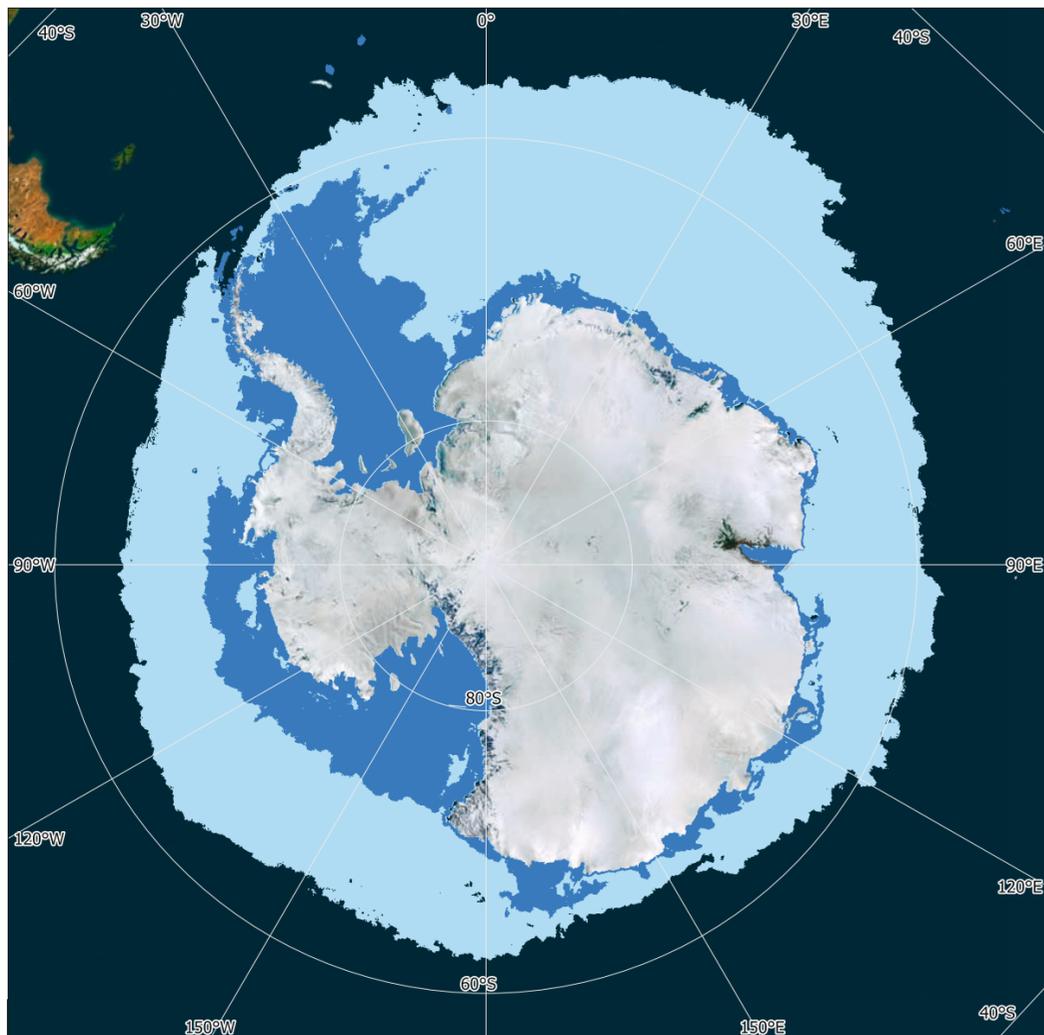
9. Grönland, Rand eines Gletschers südlich von Jakobshavn Isbrae mit wegdriftenden Eisbergen. Daten: Sentinel-2, 01.09.2023.



1. Meereisaußenung um die Antarktis im Januar und im Juli.

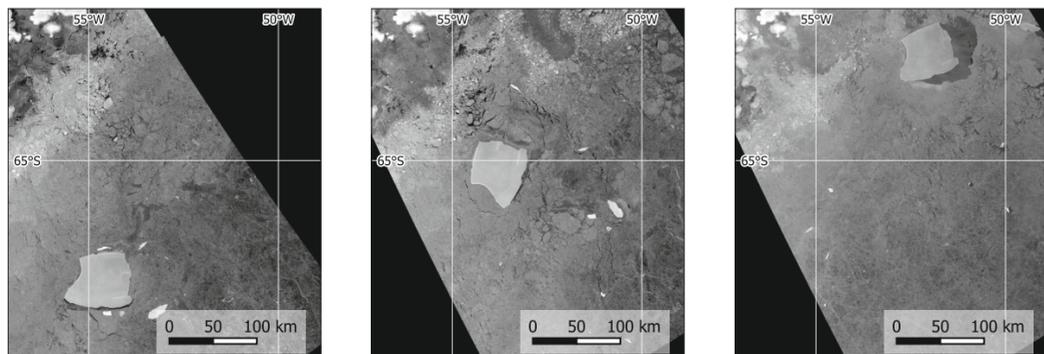


2. Höhe des antarktischen Eisschildes, gemessen mit CryoSat.



Meereisaußenung
2020 - Winter (September)
2020 - Sommer (März)

3. Radaraufnahme der Bewegung des Eisbergs A23a zwischen August und Oktober 2023. Daten: Sentinel-1. Links: 06.08.2023, Mitte: 13.09.2023, Rechts: 19.10.2023



Antarktika

In den letzten Jahrzehnten hat die Antarktis, die größte Wüste der Erde, in Wissenschaft und Politik zunehmend Aufmerksamkeit gewonnen. Grund dafür ist ihre große Bedeutung für das Klima der Erde.

Der Eisschild der Antarktis ist das größte Süßwasserreservoir der Erde und enthält mehr als 26 Millionen Kubikkilometer oder 70 % des gesamten Süßwassers. Die globale Erwärmung führt zum Abschmelzen des Eisschildes. Davon betroffen ist bisher vor allem

der kleinere Westantarktische Schild. Zwischen 2012 und 2017 schmolzen jedes Jahr 220 Milliarden Tonnen Eis und trugen zum Anstieg des Meeresspiegels bei.

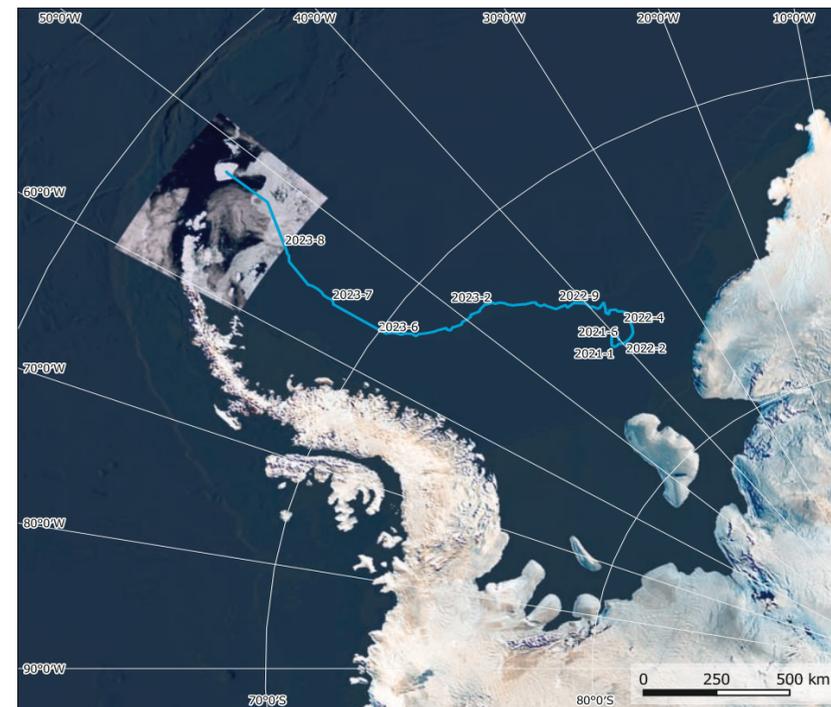
Dort, wo die Gletscher der Antarktis auf den Antarktischen Ozean treffen, befinden sich die Schelfeisflächen. Schelfeise sind große und in der Regel 100 bis mehrere hundert Meter dicke, stabile Eiskörper, die auf dem Wasser schwimmen. Durch die Erwärmung der Ozeane verringert sich die Stabilität der Schelfeisflächen und führt zum Kalben großer Eisberge.

Eisberg auf Reise

Der Tafelberg A23a brach im Jahr 1986 vom Filchner-Ronne-Schelfeis ab. Nach dem Kalben musste die Forschungsbasis Drushnaja I, die auf diesem Eisberg lag, verlegt werden und wurde in Drushnaja III umbenannt. Viele Jahre lang blieb der Eisberg am Meeresboden hängen, bevor er sich 2020 zu bewegen begann. Mit einer Fläche von fast 4.000 Quadratkilometern war er 2024 einer der größten jemals beobachteten Eisberge.

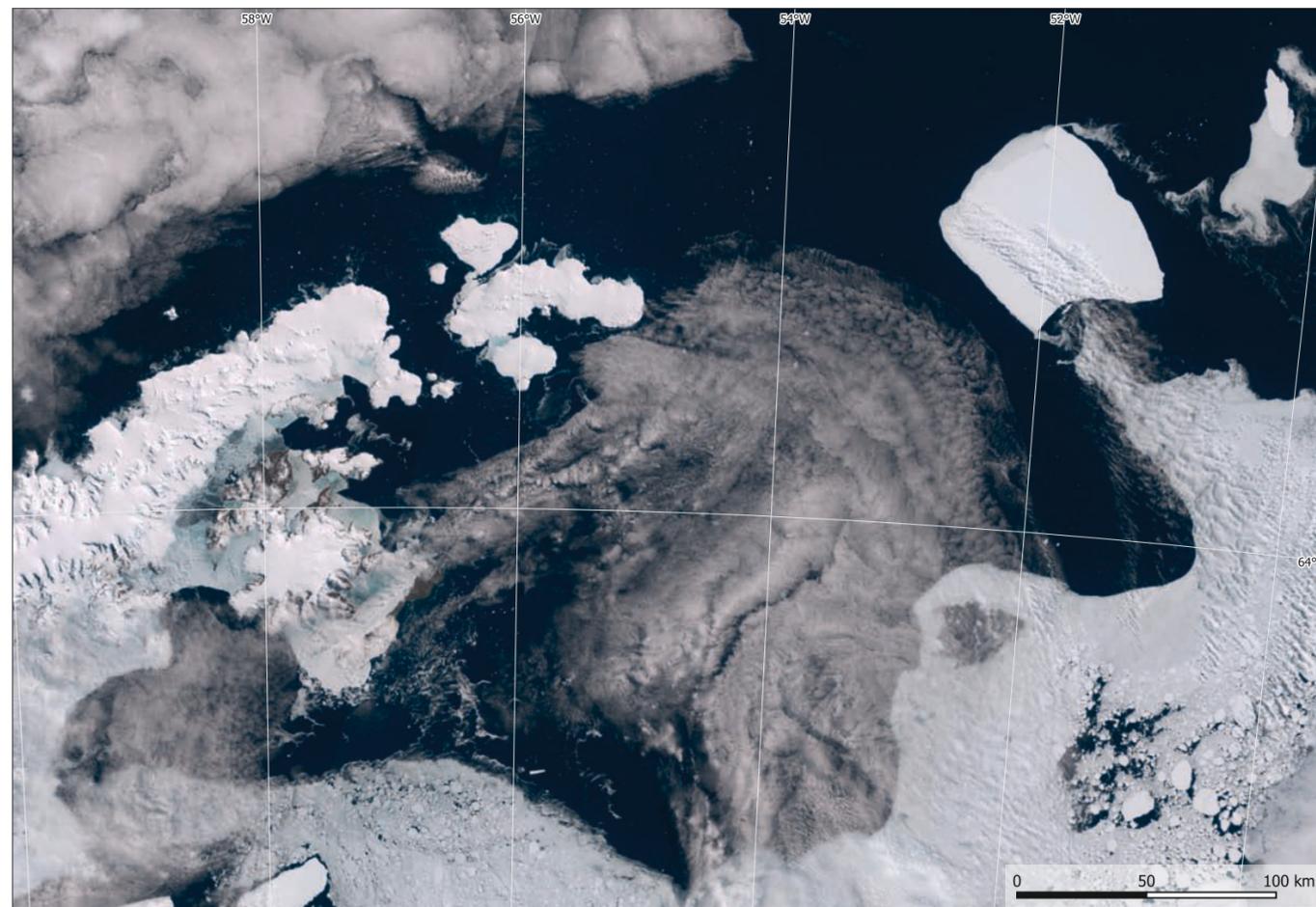
Ende 2020 begann A23a seine Reise in Richtung Norden und folgte dabei ungefähr der Küste der Antarktischen Halbinsel. Im November 2023 bewegte er sich an der Nordspitze der Antarktischen Halbinsel vorbei in Richtung Norden. Mit zunehmendem Abstand von der Antarktis gelangte A23a in wärmere Gewässer, wo er schmilzt.

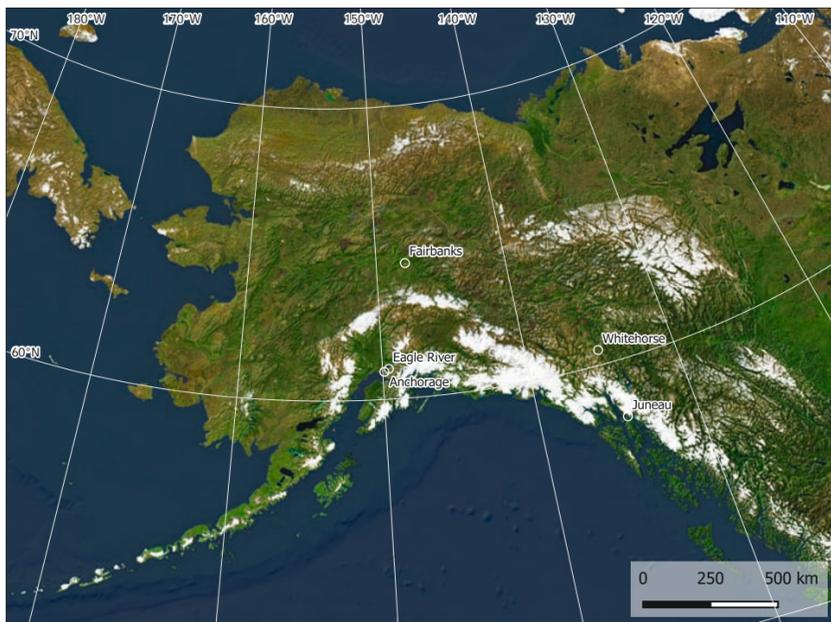
Das Schmelzen des Schelfeises trägt zwar nicht direkt zum Anstieg des Meeresspiegels bei (das Schmelzwasser ersetzt nur das Volumen des Unterwasserteils des Eises), spielt aber indirekt eine wichtige Rolle, da das Schelfeis eine stabilisierende Barriere für die ins Meer fließenden Gletscher bildet. Ein Verlust dieser Barriere kann zu einem verstärkten Eisfluss führen.



4. Weg des Eisbergs A23a in den Jahren 2022 und 2023 (Sentinel-3, 15.11.2023).

5. Der Eisberg A23a passiert auf seinem Weg in den Südatlantik die Antarktische Halbinsel. Daten: Sentinel-3, 15.09.2023.





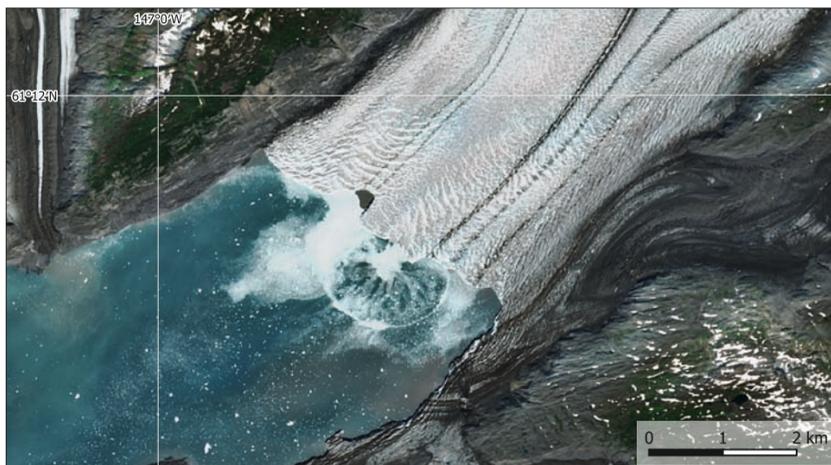
Columbia-Gletscher, Alaska

Seit Jahrzehnten ziehen sich die Gletscher auf der ganzen Welt zurück, ein Phänomen, das unmittelbar mit dem Klimawandel zusammenhängt. Im Durchschnitt haben die Gletscher weltweit seit 1940 etwa 30 Meter ihrer Dicke verloren. Derzeit beträgt der Verlust im Durchschnitt etwa einen Meter pro Jahr.

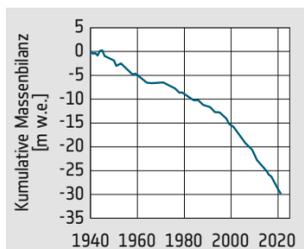
Besonders spektakulär ist der Rückzug mehrerer Gezeitengletscher, also von Gletschern, die im Meer enden. Gezeitengletscher gibt es in Alaska, in Patagonien und an den Küsten Grönlands. Diese Gletscher enden auf Meereshöhe, weshalb ihre Umgebung im Sommer relativ warm ist. Daher gehören die Endzonen dieser Gletscher zu den am schnellsten fließenden Eisströmen der Erde. Ihr unteres Ende schwimmt auf dem Wasser des Meeres und folgt der Gezeitenbewegung. Diese Bewegung begünstigt die Bildung von Rissen und das Kalben von Eisbergen, die ins Meer treiben.

Der Columbia-Gletscher befindet sich in Alaska. Er fällt aus einer Höhe von mehr als 3000 Metern über dem Meeresspiegel ab und mündet in den Prince William Sound an der Küste des Pazifiks. Lange Zeit blieb die Zunge (oder der Endpunkt) des Gletschers in der Nähe der Mündung der Columbia Bay stabil. Seit den 1980er Jahren hat er sich jedoch um mehr als 20 Kilometer zurückgezogen.

Der Columbia-Gletscher zeigt, dass die Kombination verschiedener Effekte zu einer sehr dynamischen Entwicklung führen kann. Zu Beginn wurde die Zunge des Gletschers durch den Schotter der Endmoräne gestützt. Nach dem Beginn des Rückzugs schwamm sie auf dem Wasser auf, wodurch die Gezeitenkräfte effektiver wurden und die Geschwindigkeit des Rückzugs zunahm, zumal dadurch wärmeres Wasser aus dem Ozean unter das Eis fließen konnte.

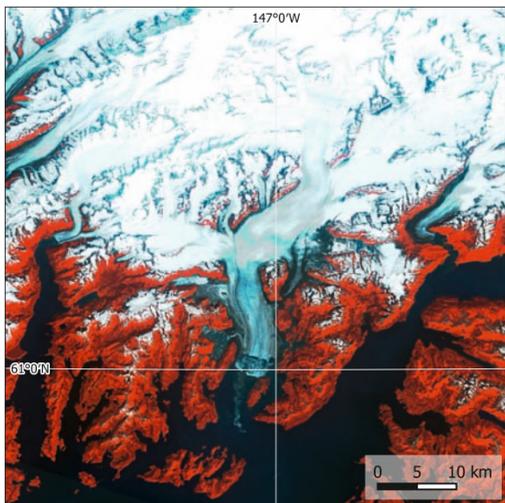


2. Detail-Satellitenbild des Abbruchkante des Columbia-Gletschers. Beachte die kreisförmige Welle, die sich von der Mitte des Endpunkts ausbreitet, wo ein Eisberg gekalbt hat. Daten: Sentinel-2, 30.07.2023.

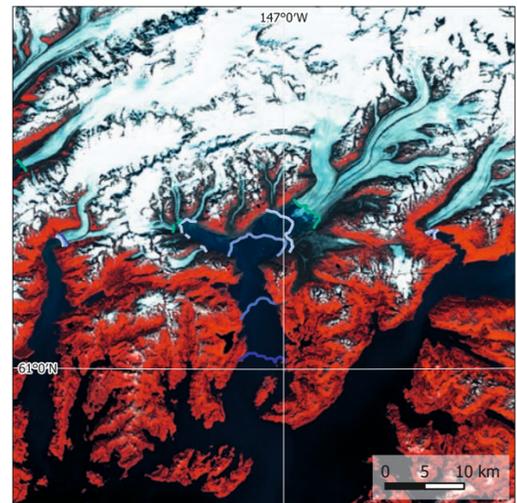


3. Globaler Durchschnitt des kumulativen Massenverlustes der Gletscher seit 1940. Die Einheit „Meter Wasseräquivalent“ entspricht ungefähr dem Dickenverlust der Gletscher.

Gletscherrand (Jahr)	
1986	2019
1994	2023
2011	



4. Columbia-Gletscher, Alaska, Falschfarben-Infrarotbild. Daten: Landsat 5, 28.07.1986.



5. Columbia-Gletscher, Alaska, Falschfarben-Infrarotbild. Die Überlagerung zeigt die Ränder der Gletscher in verschiedenen Jahren. Daten: Sentinel-2, 30.07.2023.



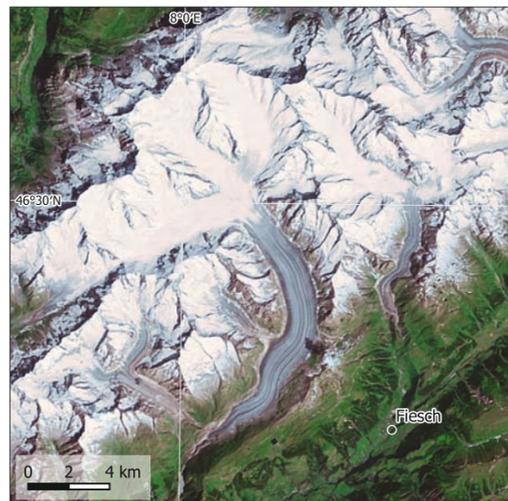
Aletschgletscher, Schweiz

Mit einer Gesamtlänge von fast 23 Kilometern und einer Fläche von rund 80 Quadratkilometern ist der Aletschgletscher der größte Gletscher der Alpen. Sein Eis erreicht eine Dicke von bis zu 900 Metern und bildet einen gefrorenen Fluss, der sich durch die zerklüftete Berglandschaft schlängelt.

Wie die meisten Alpengletscher leidet auch der Aletschgletscher unter den Auswirkungen des Klimawandels. Im letzten Jahrhundert hat er sich mit einer zunehmenden Geschwindigkeit von etwa 100 Metern pro Jahr zurückgezogen. Satellitendaten haben gezeigt, dass der Aletschgletscher seit den 1980er Jahren fast 2 Kilometer Länge verloren hat. Die steigenden globalen Temperaturen führen dazu, dass der Gletscher durch Schmelzen mehr Eis verliert als er durch Schneefall gewinnt. Dieses Ungleichgewicht bedroht nicht nur die Größe des Gletschers, sondern auch die Ökosysteme, die von ihm abhängen.



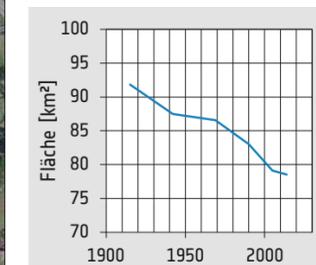
6. Blick auf den Aletschgletscher mit den Gletscherspalten und dem Schutt der Moränen.



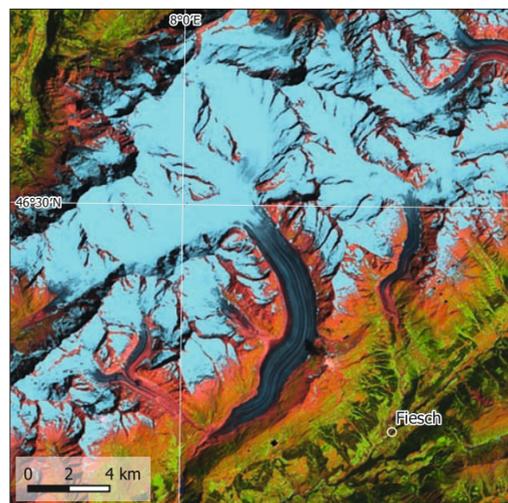
7. Aletschgletscher, Echtfarbbild. Daten: Landsat 5, 26.07.1985.



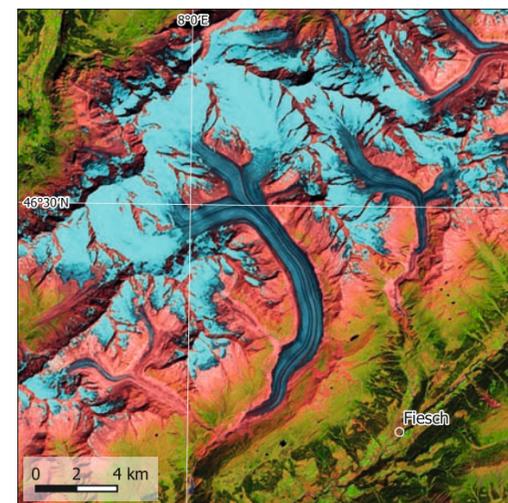
8. Aletschgletscher, Echtfarbbild. Daten: Sentinel-2, 13.07.2022.



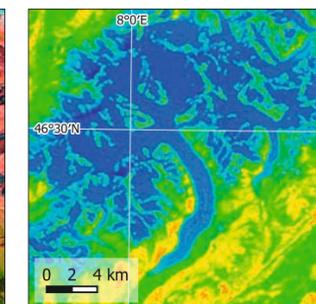
11. Veränderung der Fläche des Aletschgletschers seit 1915.



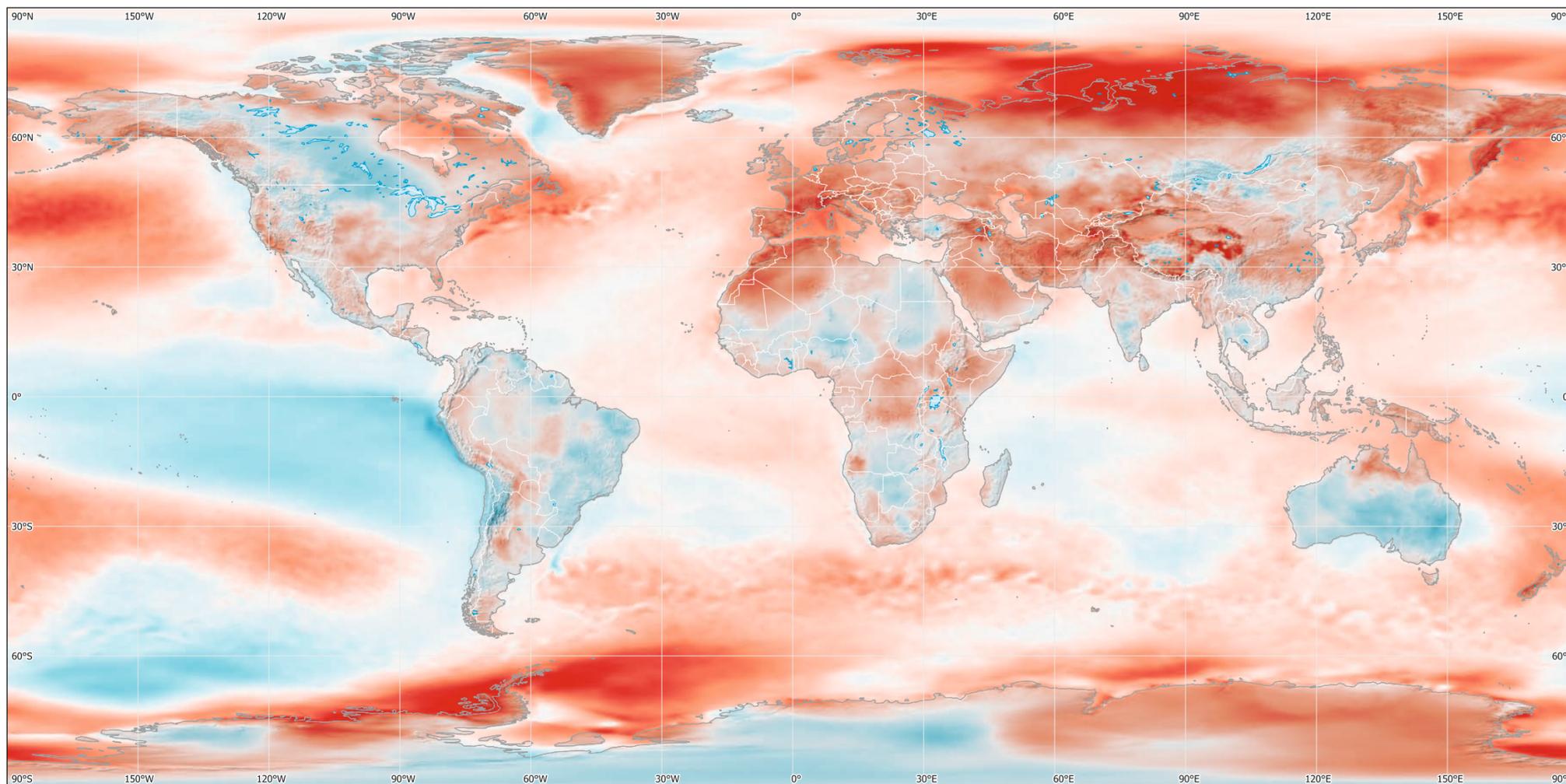
9. Der Aletschgletscher im Juli 1985, Falschfarben-Infrarotbild (Bänder 5-4-3), in dem das Eis dunkelblau und der Schnee hellblau hervorgehoben ist. Daten: Landsat 5, 26.07.1985



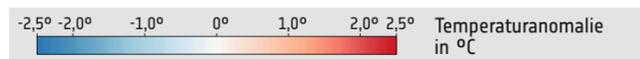
10. Der Aletschgletscher im Juli 2022, Falschfarben-Infrarotbild (Bänder 11-7-4), in dem Eis in dunkelblauer und Schnee in hellblauer Farbe zu sehen ist. Daten: Sentinel-2, 13.07.2022.



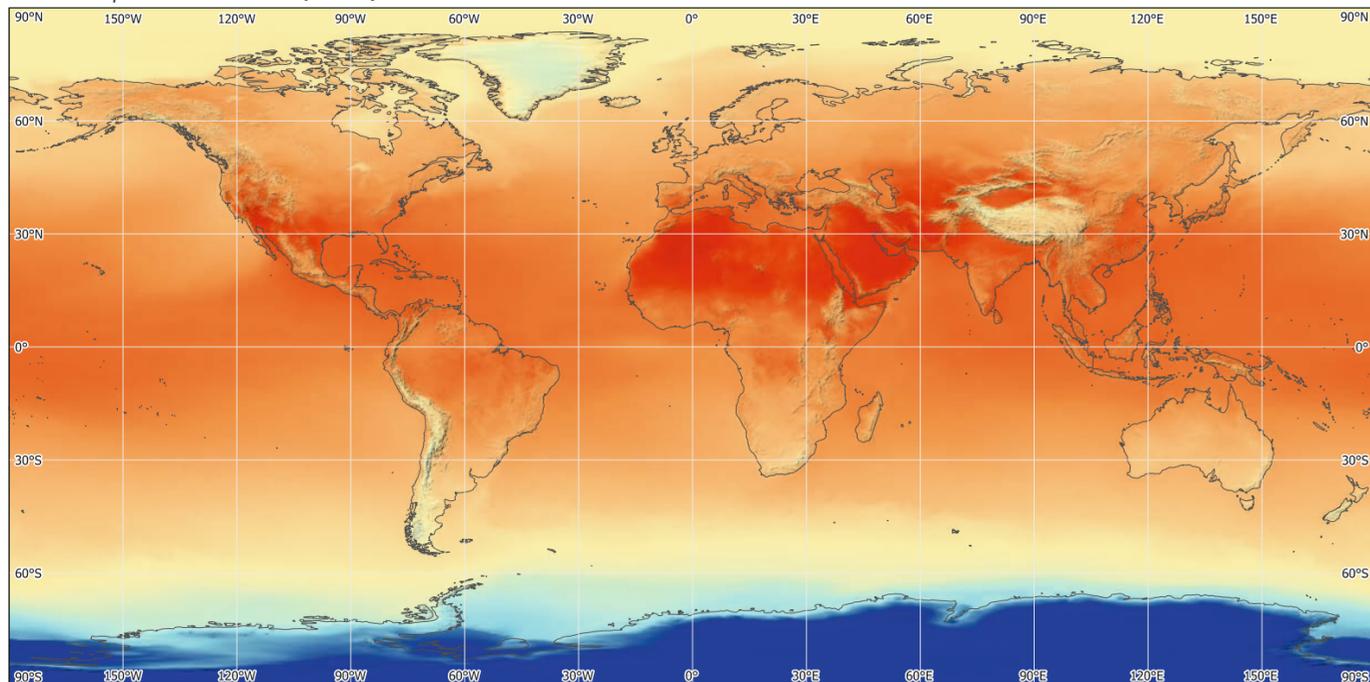
12. Thermalaufnahme des Aletschgletschers im Juli 1985 (thermales Infrarotbild, dunkelblau: Temperatur -0°C). Daten: Landsat 5, 26.07.1985.



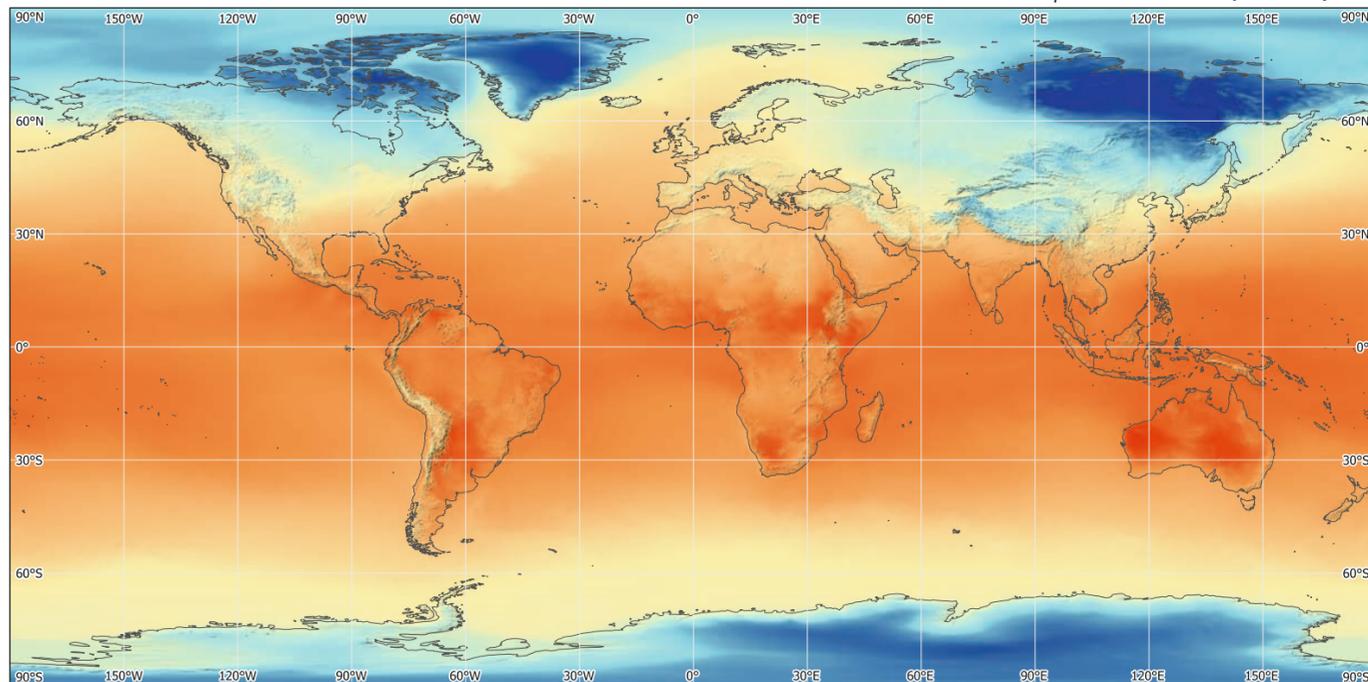
1. Globale Karte der im Jahr 2022 gemessenen Temperaturanomalien im Vergleich zum Zeitraum von 1960 bis 1990.



2. Globale Temperaturen im Nordsummer (Juli 2023).



3. Globale Temperaturen im Nordwinter (Januar 2023).



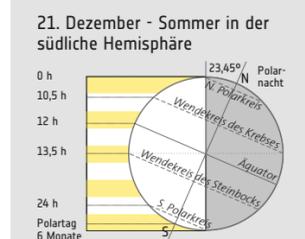
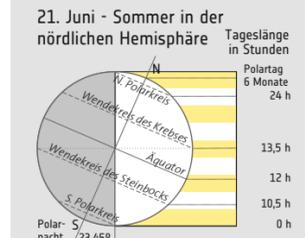
Temperaturen und Temperaturanomalien

Die globalen Temperaturen gehören zu den wichtigsten Parametern des Klimasystems der Erde und prägen das Wettergeschehen und die Ökosysteme. Die Sonneneinstrahlung, d. h. die von der Sonne ausgestrahlte Energie, beeinflusst die globalen Temperaturen, indem sie die für die Erhaltung des Lebens und den Antrieb der atmosphärischen Prozesse erforderliche Energie liefert.

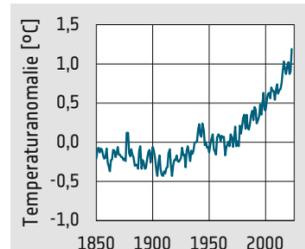
Schwankungen in der Sonnenleistung, die durch zyklische Phänomene wie Sonnenflecken und Sonneneruptionen verursacht werden, modulieren die Energiemenge, welche die Erdatmosphäre erreicht. Diese Schwankungen beeinflussen die atmosphärischen Zirkulationsmuster, die Meeresströmungen und die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die wichtigste Ursache für die jüngsten Veränderungen der globalen Temperaturen ist der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen, der auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe, die Abholzung von Wäldern und industrielle Prozesse haben zu einem raschen Anstieg der atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und anderen Treibhausgasen geführt.

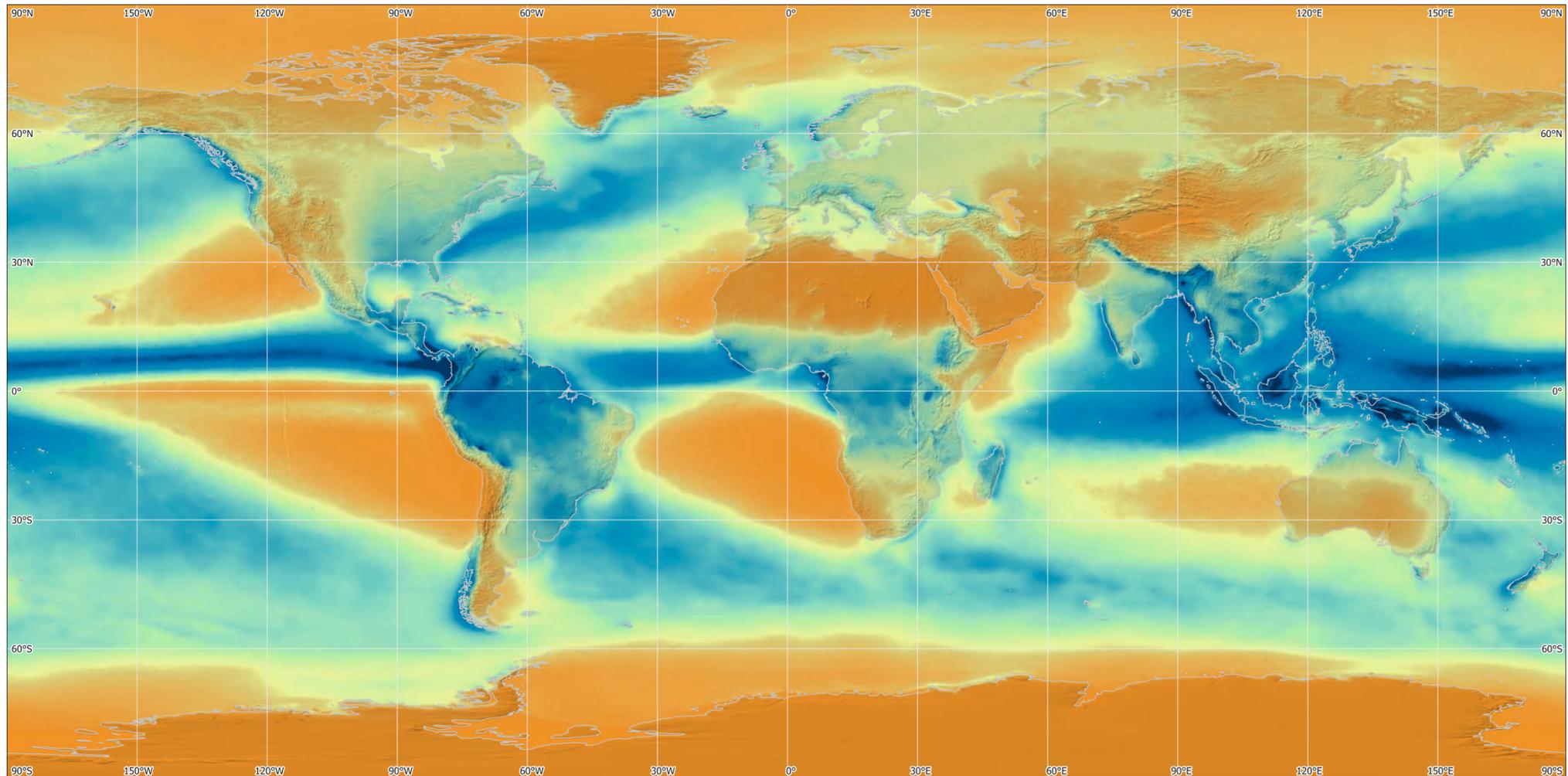
Dieser Anstieg der Treibhausgase verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt, indem er die Wärme in der Erdatmosphäre einschließt und die globalen Temperaturen in die Höhe treibt. Seit den 1950er Jahren ist die durchschnittliche Oberflächentemperatur der Erde um etwa 1,1 Grad Celsius gestiegen, wobei es je nach Region und Jahreszeit erhebliche Unterschiede gibt. Das vergangene Jahrzehnt (2010-2019) war das wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen.



4. Der Winkel der Erdoberfläche in Bezug auf die Ausrichtung zur Sonne variiert mit den Jahreszeiten, und damit auch der Winkel der Sonneneinstrahlung und die Länge der Tage. Dies beeinflusst die an einem Ort empfangene Sonnenenergie und damit die Temperatur.



5. Jährliche mittlere Temperaturanomalie für den Zeitraum 1950-1980.



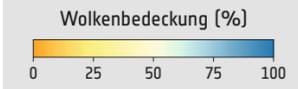
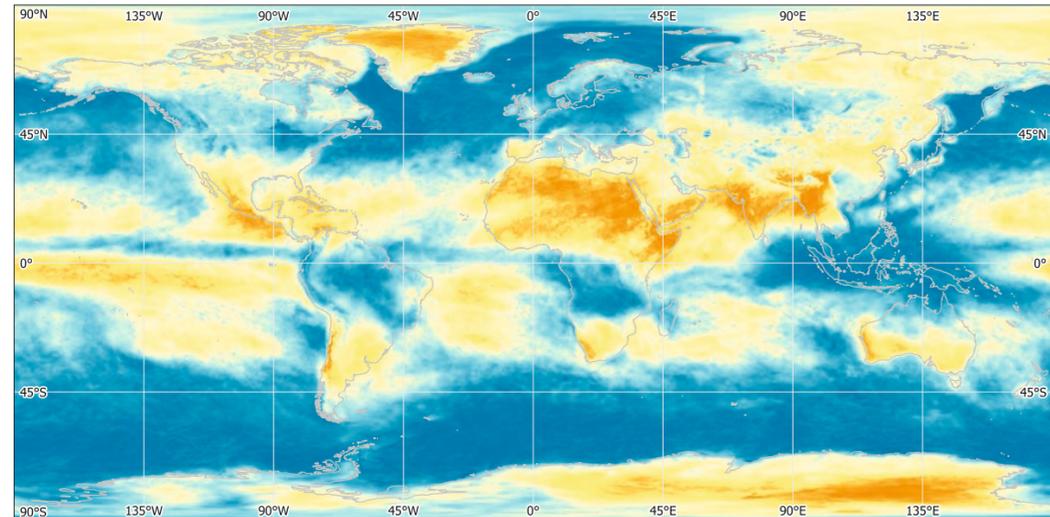
1. Durchschnittlicher Jahresniederschlag für die Jahre 2000 bis 2023, gemessen durch Satelliten.

Globale Niederschlagsverteilung

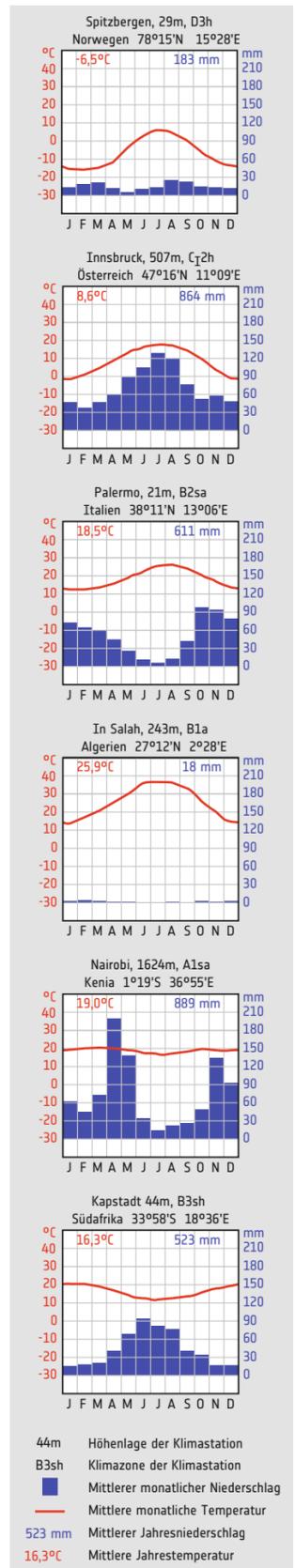
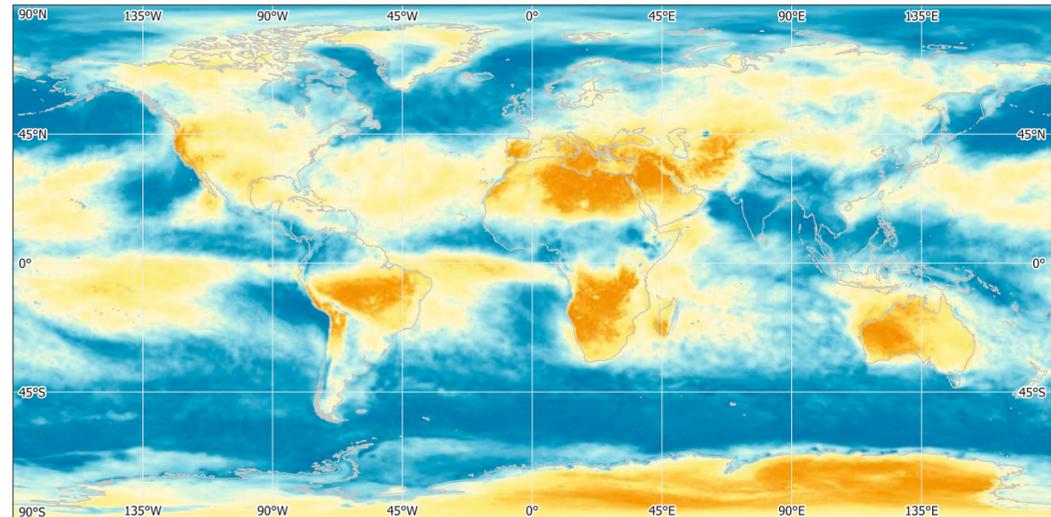
Die Niederschlagsverteilung auf der Erde wird von mehreren Faktoren beeinflusst, wie der geografischen Breite, der Nähe zu großen Gewässern, der Meereshöhe und den vorherrschenden Winden. In äquatorialen Regionen sind die Niederschlagsmengen aufgrund der Konvergenz warmer, feuchter Luftmassen in der Regel

sehr hoch, so dass es das ganze Jahr über reichlich regnet. In polnahen Regionen hingegen sind die Niederschlagsmengen aufgrund der tiefen Temperaturen und der damit begrenzten Verfügbarkeit von Feuchtigkeit tendenziell geringer. In Küstengebieten kommt es häufig zu erheblichen Niederschlägen, da feuchte Luft aus den Ozeanen über

Landmassen aufsteigt, was zu Abkühlung und Wolkenbildung führt. In den kontinentalen Binnenregionen können die Niederschlagsmuster variabler sein, wobei einige Gebiete reichlich Niederschlag erhalten, während andere im Schatten von Gebirgszügen oder wegen der vorherrschenden Windrichtung kaum von Regenwolken erreicht werden und relativ trocken sind.



3. Mittlere Wolkenbedeckung, Jan. 2016

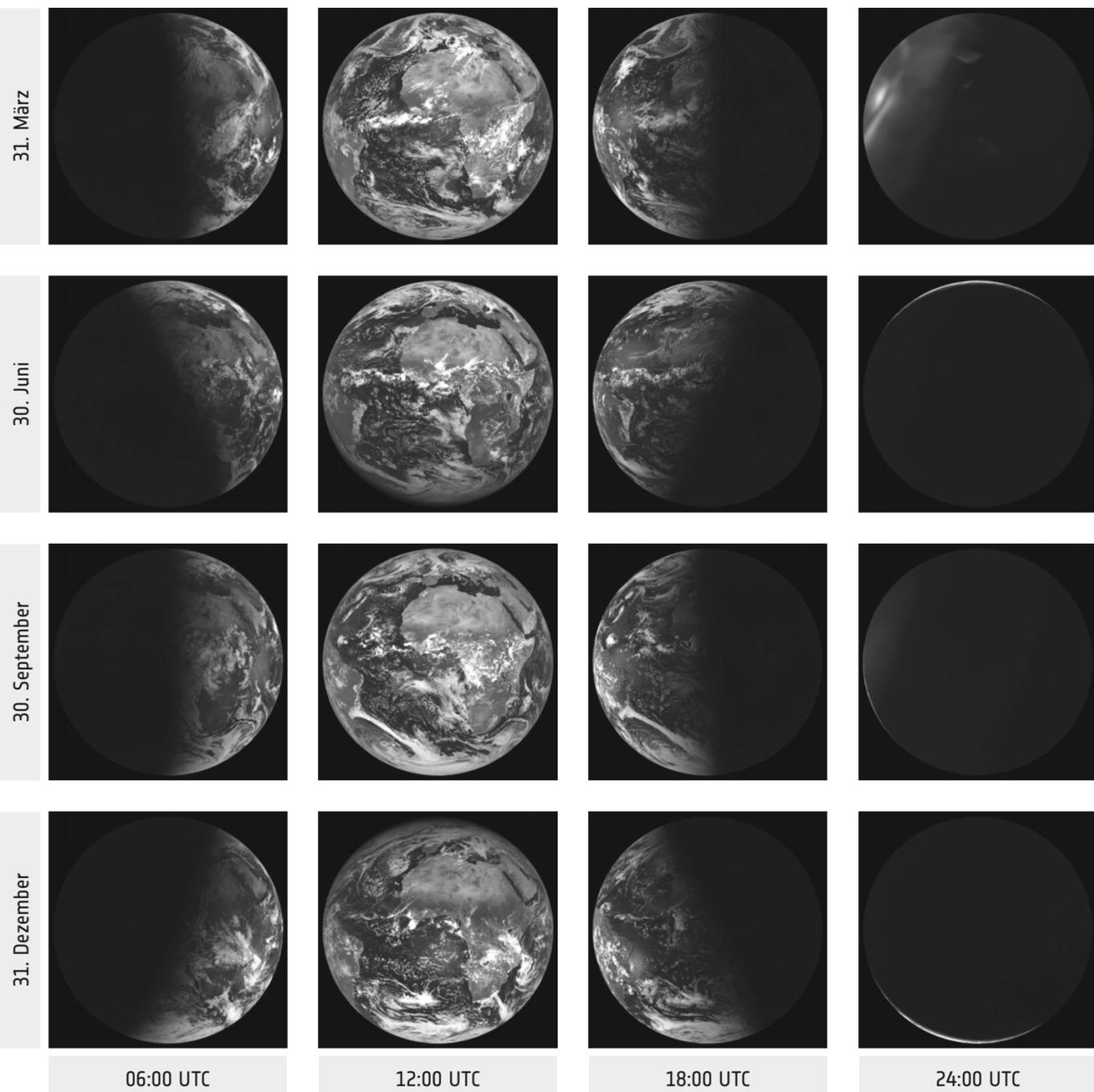


2. Klimadiagramme ausgewählter Orte auf unterschiedlichen geographischen Breiten. 4. Mittlere Wolkenbedeckung, Juli 2016.

Wolkenbildung und Niederschlag

Zwischen Klima, Bewölkung und Niederschlag bestehen komplexe Wechselwirkungen, welche die Ökosysteme und Wettermuster der Erde beeinflussen. Das Klima wird durch atmosphärische Phänomene wie der Wolkenbildung und dem Niederschlag mit bestimmt. Die Bewölkung, also das Maß, in dem Wolken die Erdoberfläche bedecken, spielt eine wichtige Rolle für die Energiebilanz des Planeten, da Wolken das Sonnenlicht in den Weltraum zurückstrahlen und von der Erde abgestrahlte Wärme zurückhalten. Niederschlag, darunter fallen Regen, Schnee und andere Formen von Feuchtigkeit, ist zudem ein grundlegender Bestandteil des Wasserkreislaufs der Erde. Diese miteinander verknüpften Prozesse sind für den Klimawandel und das Wetter sowie deren Auswirkungen auf die Gesellschaft und die Natur von entscheidender Bedeutung. Erdbeobachtungssatelliten überwachen diese Phänomene in globalem Maßstab. Ausgestattet mit vielfältigen Sensoren liefern diese Satelliten Daten über Bewölkung, Niederschlagsmengen und atmosphärische Bedingungen in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Maßstäben. Satelliten bieten Einblicke in die räumliche Verteilung und zeitliche Variabilität der Wolkendecke und ermöglichen die Untersuchung von Wolkenbildungsprozessen, ihren Wechselwirkungen mit atmosphärischen Zirkulationsmustern und ihrer Rolle für das Erdklima. Satellitengestützte Messungen liefern damit wichtige Informationen über Wasservorkommen, für die Hochwasservorhersage und Landwirtschaft.

Durch die Kombination von Satellitendaten mit Klimamodellen wurde das Verständnis der komplexen Rückkopplungsmechanismen zwischen Klima, Bewölkung und Niederschlag wesentlich verbessert. Damit dienen Erdbeobachtungssatelliten als wichtige Instrumente für die Überwachung und Erforschung des Klimasystems der Erde, für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen, das Katastrophenmanagement und die landwirtschaftliche Planung.



1. Jahreszeitliche und tageszeitliche Veränderungen der Beleuchtung der Erde. Meteosat (0° Meridian, sichtbares Licht)

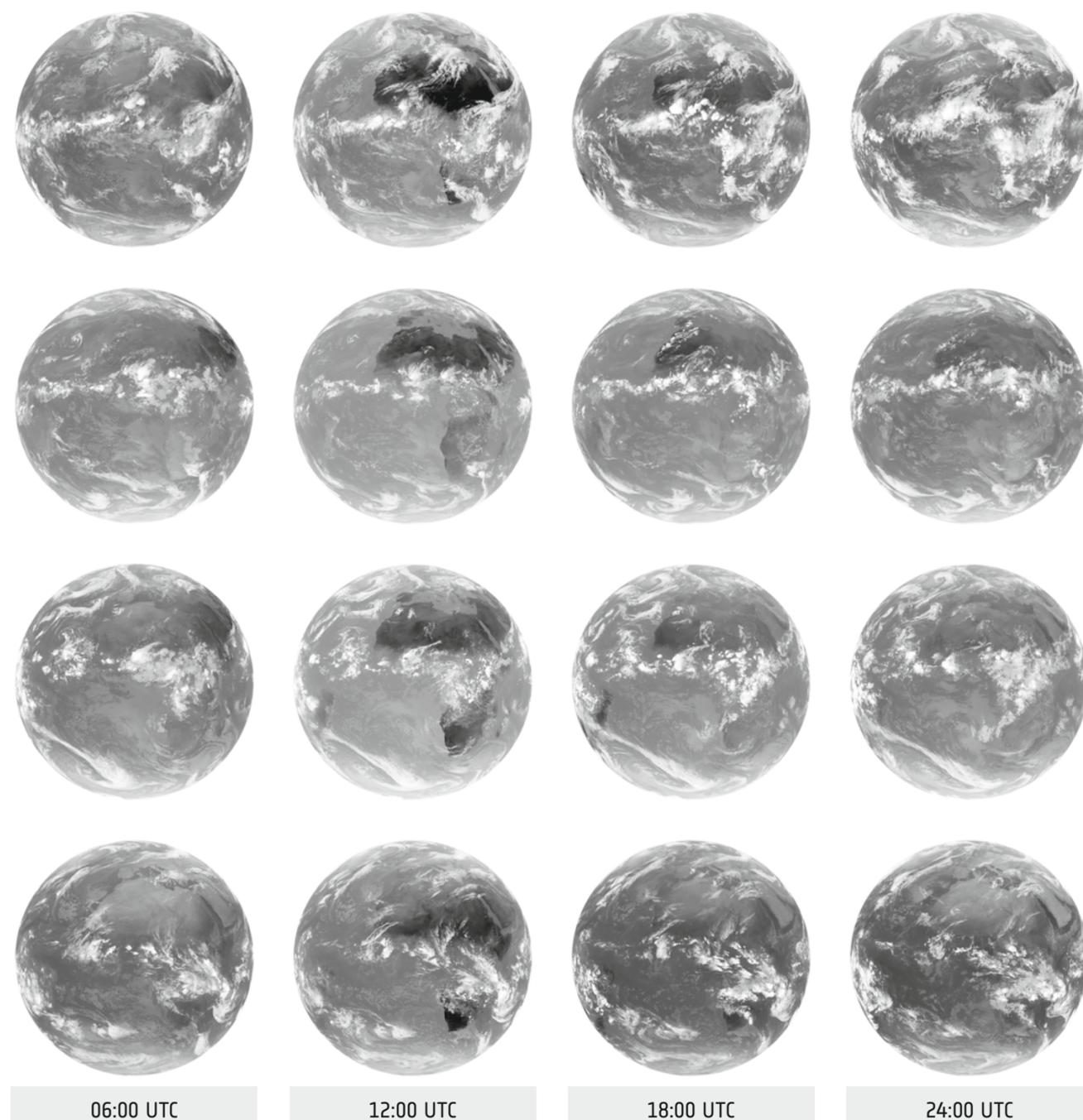
Die Erde im sichtbaren Licht

Die Meteosat-Satelliten zeigen die Dynamik der Erde durch Bilder im sichtbaren Spektrum, die die Oberfläche und atmosphärischen Bedingungen mit bemerkenswerter Detailgenauigkeit erfassen. Im sichtbaren Spektrum liefern diese Bilder einen Blick auf Naturphänomene und veranschaulichen die sich ständig verändernde Landschaft, die von jahreszeitlichen Schwankungen und Tageszyklen beeinflusst wird.

Im Jahresverlauf zeigen die Meteosat-Bilder die dynamische Abfolge der Jahreszeiten. Die Veränderung des Einstrahlungswinkels des Sonnenlichts ist sehr

gut sichtbar. Während der Tag-und-Nacht-Gleichen im Frühjahr und im Herbst ist um 12:00 UTC die gesamte Hemisphäre beleuchtet. Auch jahreszeitliche Veränderungen der Vegetation sind gut sichtbar.

Auch der Tageszyklus mit seinem Wechsel von Tag und Nacht kann in den Aufnahmen verfolgt werden. Jahres- und Tageszeiten überschneiden sich in Meteosat-Bildern. In hohen Breitengraden führt der Übergang von der Polarnacht zum Polartag im Sommer zu ständigem Tageslicht, während die Wintermonate dunkel bleiben. In äquatorialen Regionen bleibt der Tageszyklus das ganze Jahr über relativ konstant.



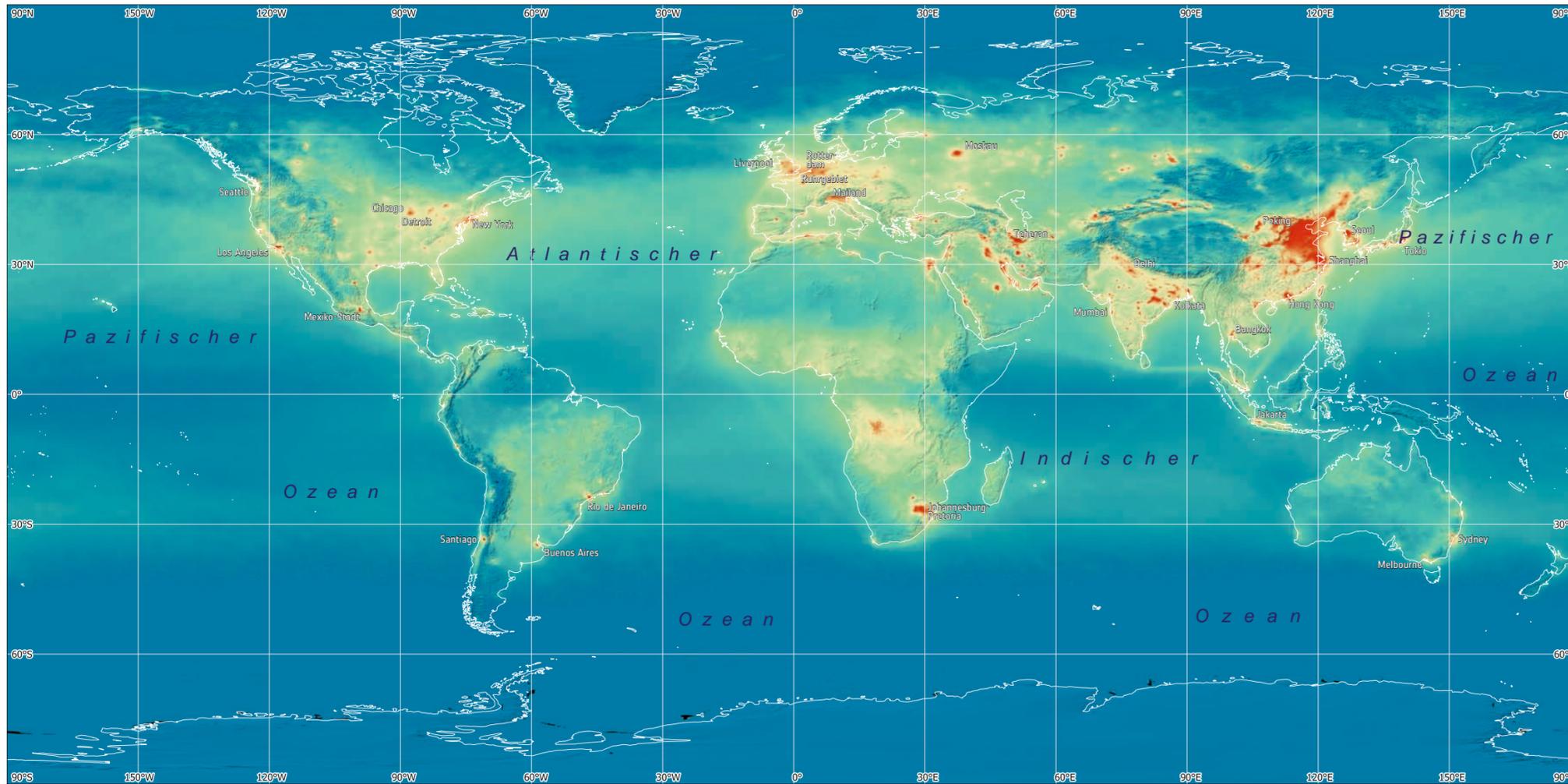
Die Erde im Infrarotlicht

Meteosat-Infrarotbilder zeigen Wolken und atmosphärische Dynamik und bieten Einblicke in Wettermuster, Klimaphänomene und das Verhalten der innertropischen Konvergenzzone (ITC). Diese Bilder werden im Infrarotspektrum aufgenommen und erfassen die Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche und der Atmosphäre ausgesandt wird. So geben sie Aufschluss über Bewölkung und Temperaturen.

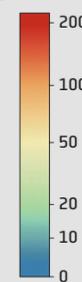
Auf den Meteosat-Infrarotbildern dominieren Wolken, die sich in hellem Grau von einem dunkleren Hintergrund abheben. Verschiedene Wolkentypen wie

Kumulus-, Stratus- und Zirkuswolken weisen unterschiedliche thermische Signaturen auf, die es ermöglichen, ihre Höhe, Dichte und Zusammensetzung zu erkennen. Dicke, hoch gelegene Wolken erscheinen in Infrarotbildern kälter, während tief liegende Wolken und Nebel meist wärmer sind. Die innertropische Konvergenzzone, eine Region am Äquator, in der die Passatwinde zusammenlaufen, erscheint auf den Bildern als ein Band aus Gewittern und Kumulonimbuswolken. Die Lage der ITC pendelt im Laufe des Jahres mit der Neigung der Erdachse gemeinsam mit den globalen Wettermustern um den Äquator.

2. Veränderungen in der Temperaturverteilung und Verschiebung der ITC im Laufe des Jahres. Höhere Temperaturen erscheinen dunkler. Meteosat (0° Meridian, Thermal-Infrarot-Band).

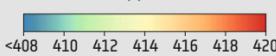


Stickstoffdioxid (NO₂)
in μmol / m²



1. Globale Verteilung von Stickstoffdioxid (NO₂). NO₂ wird durch Verbrennungsprozesse bei hohen Temperaturen (Industrie, Verkehr) erzeugt und spiegelt die wirtschaftliche Aktivität einer Region wider. Daten: Sentinel-5P.

Kohlendioxidkonzentration (CO₂)
[ppm]

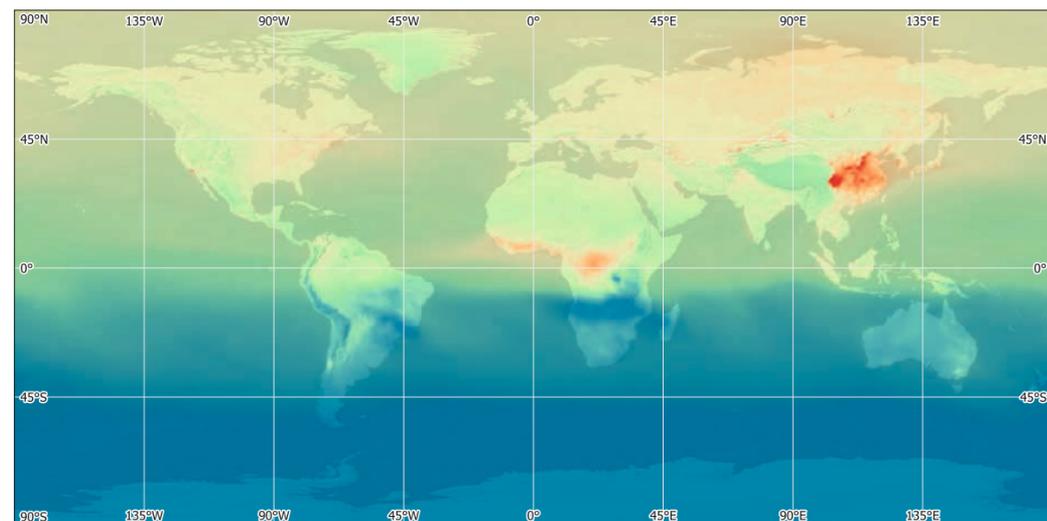


Zusammensetzung der Atmosphäre

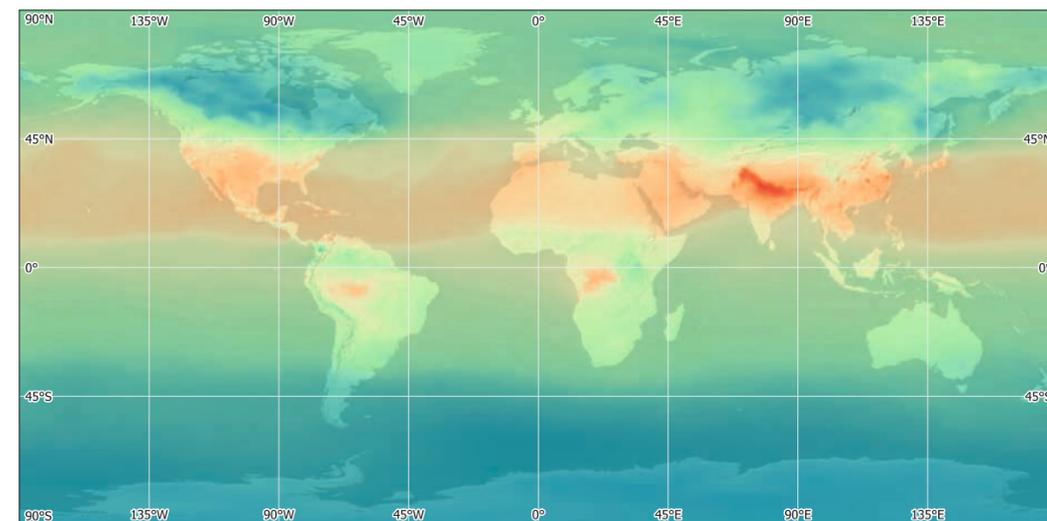
Die Erdatmosphäre besteht vorwiegend aus Stickstoff (N₂, 78,08 %), Sauerstoff (O₂, 20,95 %) und Argon (Ar, 0,93 %). Die restlichen 0,04 % sind so genannte Spurengase, die trotz ihrer geringen Konzentrationen eine wichtige Rolle in der Atmosphäre spielen.

Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffdioxid (N₂O) sind wichtige Treibhausgase, die zur globalen Erwärmung beitragen. In den letzten Jahrzehnten hat vor allem CO₂ an Bedeutung gewonnen. Seine Konzentration ist von 320 ppm (Millionstel) in den 1960er Jahren auf 420 ppm im Jahr 2023 gestiegen.

Ozon (O₃) spielt in der Stratosphäre eine wichtige Rolle. Es wirkt als Filter für ultraviolette (UV) Strahlung der Sonne, die Biomoleküle zerstören kann. Das antarktische Ozonloch, ein jährlich im Oktober auftretendes O₃-Defizit, wurde durch vom Menschen hergestellte Spurengase wie FCKWs verstärkt.

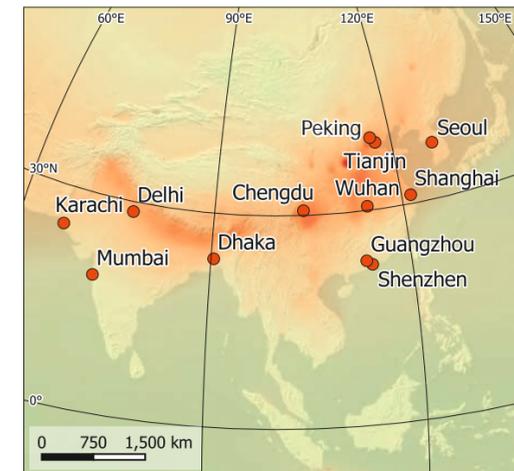
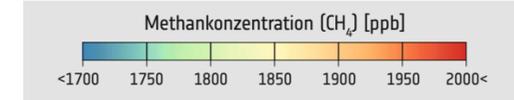
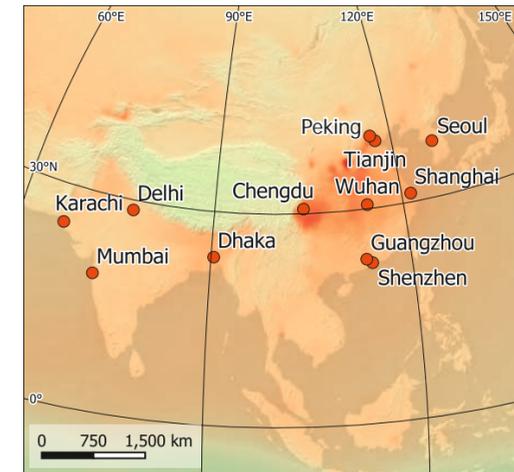


2. Globale Verteilung von Kohlendioxid (CO₂) Verteilung im Januar 2020.

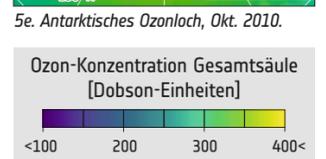
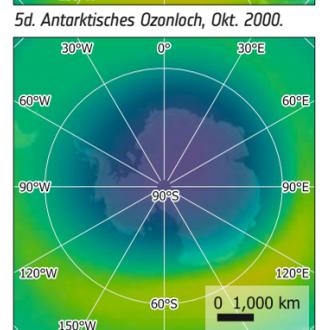
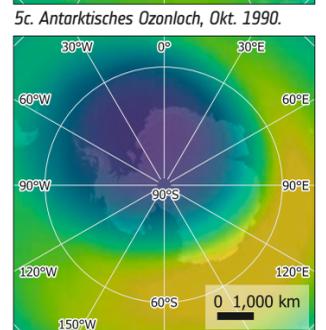
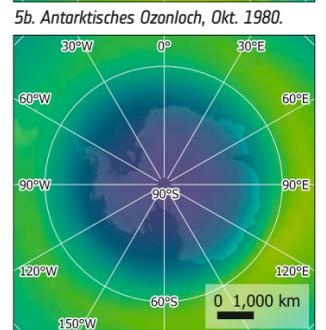
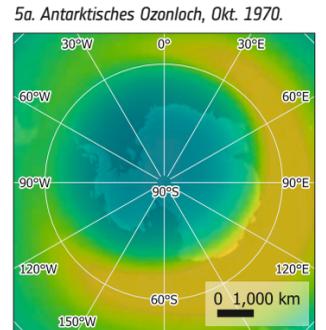
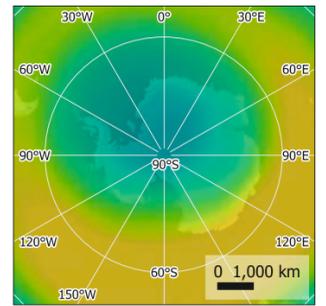


3. Globale Verteilung von Kohlendioxid (CO₂) Verteilung im Juli 2020.

5. Entwicklung des antarktischen Ozonlochs seit 1970.



4. Jahreszeitliche Schwankungen der Methankonzentration (CH₄) in Südostasien, Januar 2020 (oben) und Juli 2020 (unten). Der Reisanbau ist eine der wichtigsten Quellen von CH₄.



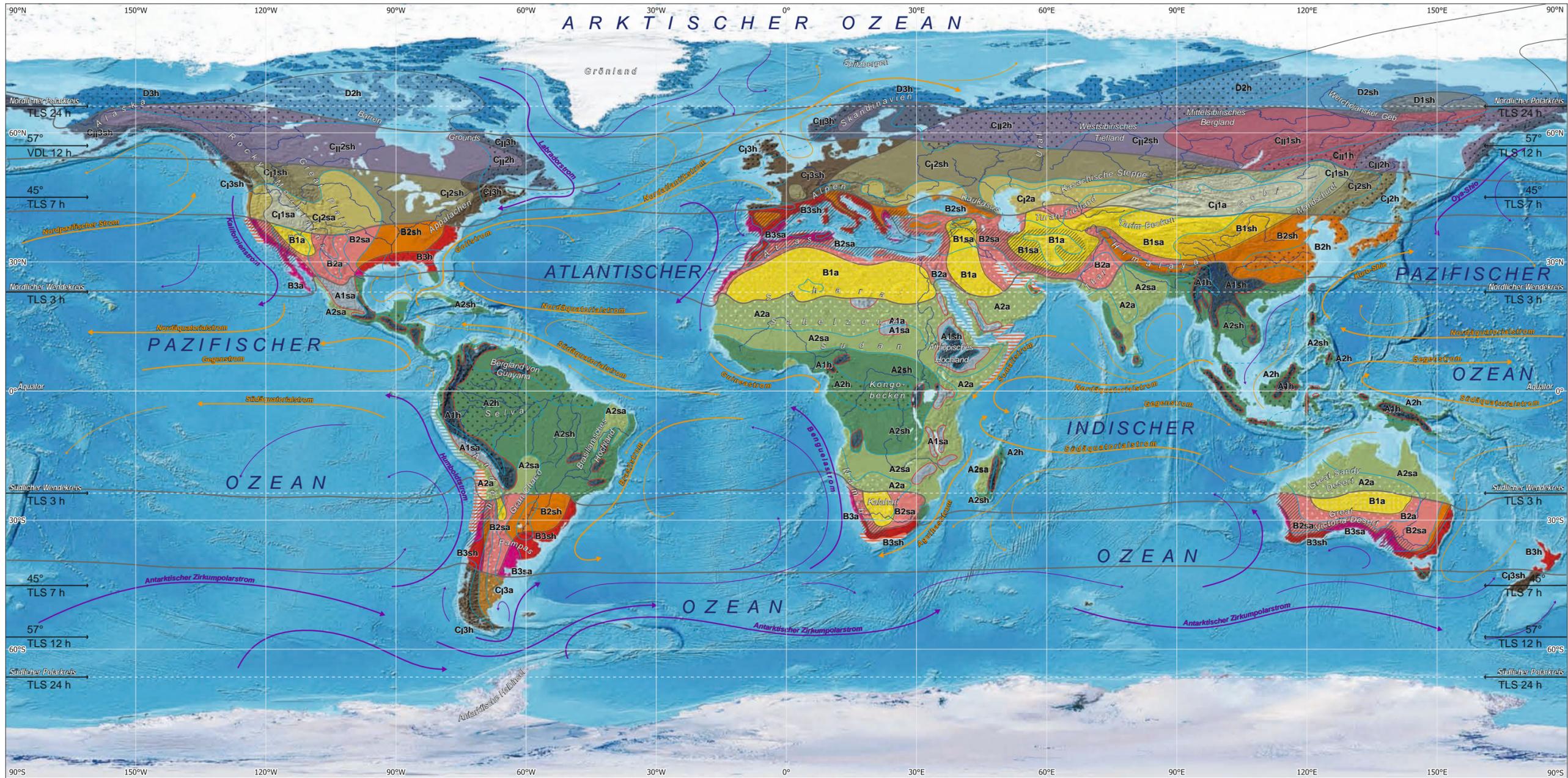
5a. Antarktisches Ozonloch, Okt. 1970.

5b. Antarktisches Ozonloch, Okt. 1980.

5c. Antarktisches Ozonloch, Okt. 1990.

5d. Antarktisches Ozonloch, Okt. 2000.

5e. Antarktisches Ozonloch, Okt. 2010.



1. Klimazonen der Erde (nach Lauer und Frankenberg).

Klimazonen

Formelbeispiel: C₃sh ist ein maritimes, semihumides, warm gemäßigtes Klima der Mittelbreiten

57° TLS 12 h
 45° TLS 7 h
 30° TLS 3 h
 0° Äquator
 30°S TLS 3 h
 45° TLS 7 h
 57° TLS 12 h
 60°S TLS 24 h

Meeresströmungen

- Kalte Meereshauptströmung
- Kalte Meeresströmung
- Warme Meereshauptströmung
- Warme Meeresströmung

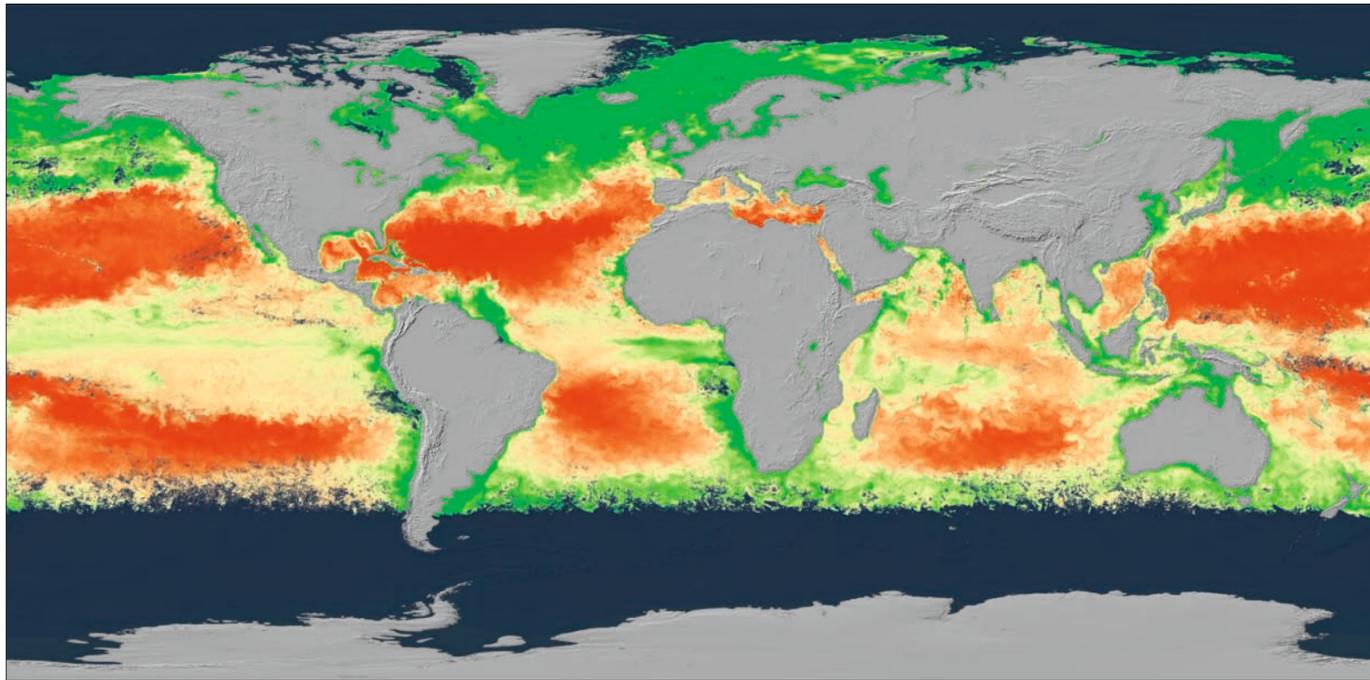
Klimazonen

Der Begriff Klima umfasst alle meteorologischen Eigenschaften, die im langfristigen Durchschnitt den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort bestimmen. Das Klima wird von einer Fülle von Faktoren beeinflusst. Am wichtigsten ist die geografische Lage, die sich indirekt auf die Temperatur auswirkt – je größer die Entfernung vom Äquator und je größer die Meereshöhe, desto niedriger ist die Temperatur. Ähnlich bedeutend ist die Entfernung vom Ozean, die Kontinentalität – Landmassen heizen sich schneller auf und kühlen rascher ab als das Wasser des Ozeans. Daher sind die Temperaturschwankungen im Landesinneren größer als an den Küsten, wo die Sommer in der Regel kühler und die Winter milder sind.

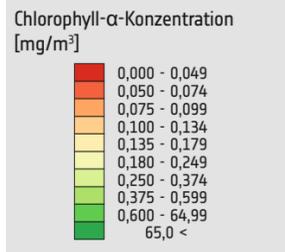
Regionen mit ähnlichen klimatischen Verhältnissen werden der gleichen Klimazone zugeordnet, wobei eine Reihe unterschiedlicher Ansätze entwickelt wurden. Die hier vorgestellte Klassifizierung der Klimazonen beruht auf einem 1987 von Lauer und Frankenberg vorgestellten Modell. Das Grundprinzip der Klimaklassifizierung beruht auf der Bilanz von ein- und abgestrahlter Energie, die von der Sonne bestimmt wird. So wird etwa die Grenze der Tropen durch die Schwankung der Temperatur definiert und liegt dort, wo die Schwankung zwischen Sommer und Winter (Jahresamplitude) größer ist als die Schwankung zwischen Tag und Nacht (Tagesamplitude). Tropische Klimate sind also Tagesklimate, während nicht-tropische Klimate Jahresklimate sind. Nach

dieser Klimaklassifizierung lässt sich die Erde grob in vier durch die Sonneneinstrahlung definierte Klimazonen einteilen: tropisches, subtropisches, gemäßigtes und polares Klima. Diese Zonen werden auf der Grundlage ihrer thermischen Eigenschaften weiter unterteilt. Die Klassifizierung verwendet als zusätzliches Kriterium die Verteilung von Vegetationstypen. Das Klimasystem der Erde ist komplex – Wettersatelliten sind von großem Wert für die Messung der atmosphärischen Bedingungen und die Einschätzung ihrer Entwicklung auf der Grundlage dieser Daten. Diese beinhalten unter anderem Informationen über die Bewölkung, die Temperaturen und die Luftfeuchtigkeit sowie die Konzentration von Treibhausgasen und sind für Klimasimulationen von entscheidender Bedeutung.

Klimazone (globale Sonneneinstrahlung)	Klimaregion (Wärmehaushalt)	Wasserhaushalt (Anzahl humider Monate)				Klimazonengrenzen
		a (arid) 0-2	sa (semi-arid) 3-5	sh (semi-humid) 6-9	h (humid) 10-12	
A Tropen	1 Kalttropen					Absolute Frostgrenze VDL 3 Std.
	2 Warmtropen					
	3 maritim					
B Subtropen	1 hochkontinental					K=200% K=100% VDL 7 Std.
	2 kontinental					
	3 maritim					
C Mittelbreiten	I warm gemäßig	1 hochkontinental				K=200% K=100% VDL 12 Std.
		2 kontinental				
		3 maritim				
	II kühl gemäßig	1 hochkontinental				K=200% K=100% VDL 24 Std.
		2 kontinental				
		3 maritim				
D Polarregion	1 hochkontinental				K=200% K=100% Schneegrenze	
	2 kontinental					
	3 maritim					
	Gletschergebiete					

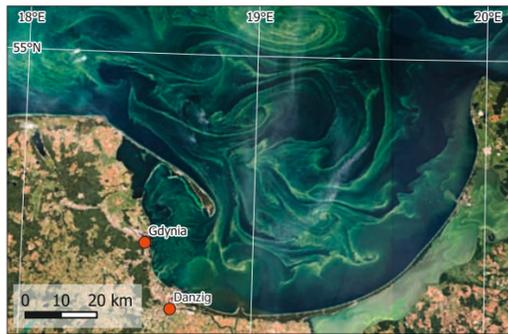


1. Chlorophyll-a-Konzentration an der Meeresoberfläche, Juni 2023. Daten: Sentinel-3.



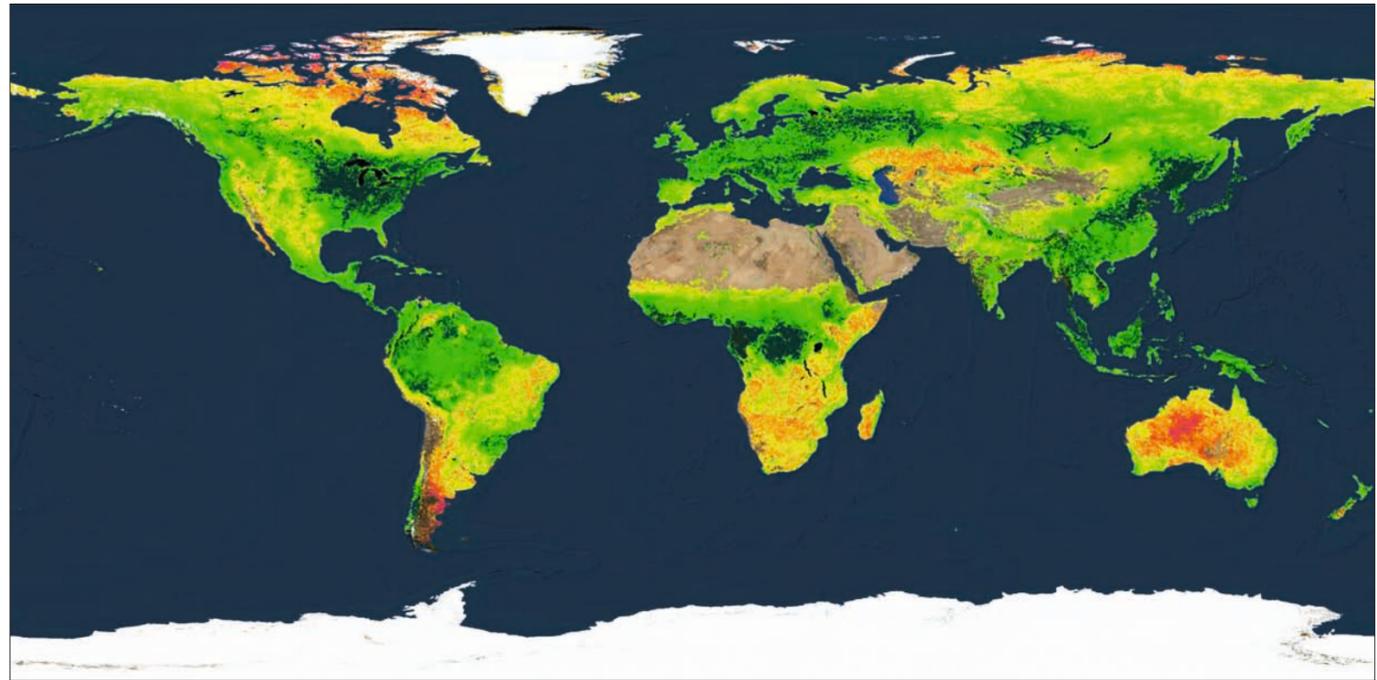
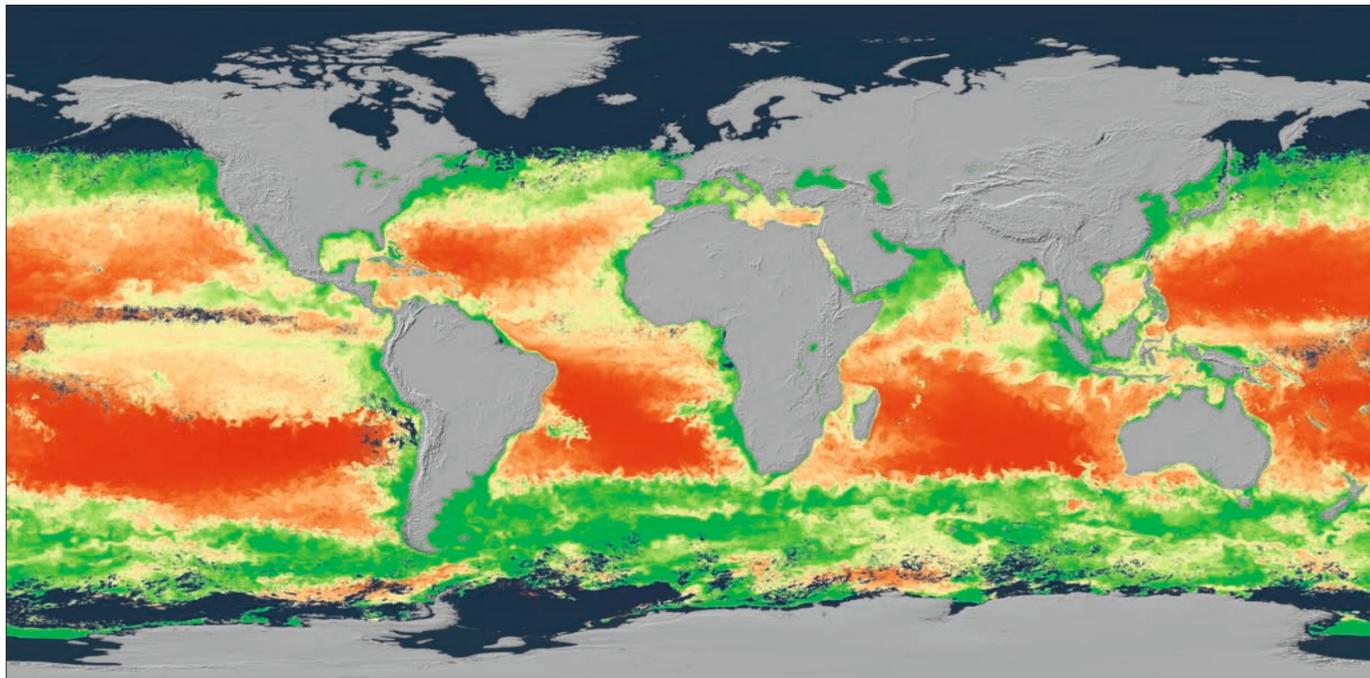
Leben im Wasser

Phytoplankton besteht aus mikroskopisch kleinen Meerespflanzen und ist ein wichtiger Teil aquatischer Ökosysteme, unter anderem als Sauerstoffproduzent. Sein Vorkommen schwankt saisonal und hängt von der Verfügbarkeit von Nährstoffen ab. Bei übermäßiger Nährstoffzufuhr und hohen Temperaturen können es sich rasch vermehren und Algenblüten verursachen. Die dadurch verursachte Sauerstoffarmut ist für das Leben im Wasser schädlich. Einige Phytoplanktonarten produzieren Toxine, die über kontaminierte Meeresfrüchte auch für Menschen gefährlich sein können.



3. Algenblüte in Strömungswirbeln in der Ostsee vor Danzig, Polen. Daten: Sentinel-2, 20.07.2019.

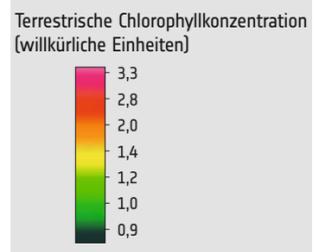
2. Chlorophyll-a-Konzentration an der Meeresoberfläche, Dezember 2023. Daten: Sentinel-3.



Landvegetation

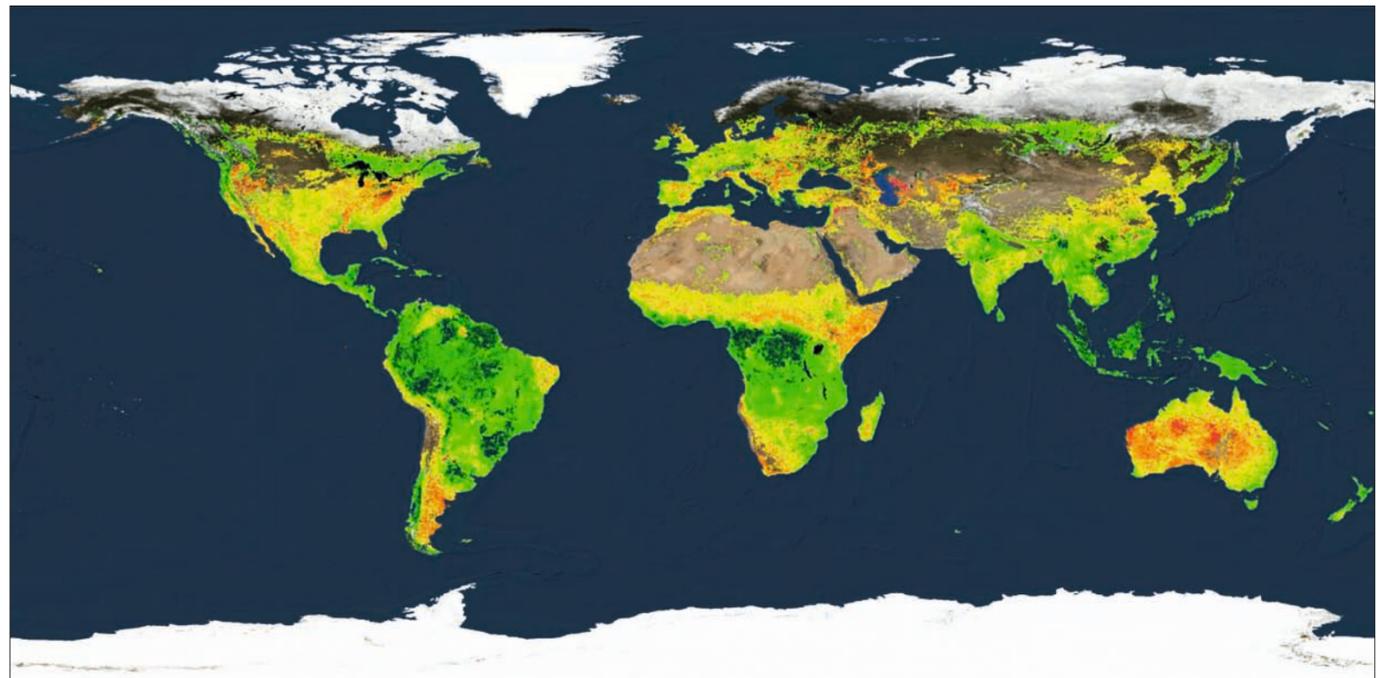
Pflanzen bedecken den größten Teil der festen Oberfläche der Erde. Sie sind gut an die Bedingungen angepasst, die durch das Klima und die Böden der jeweiligen Region gegeben sind. Die Bedeutung der Sonnenenergie für den Lebenszyklus der Pflanzen zeigt sich in den jahreszeitlichen Unterschieden im Chlorophyllgehalt der Vegetation. Die Unterschiede sind in tropischen Regionen am geringsten, wo die Sonneneinstrahlung relativ konstant bleibt. Vom Laubwald bis zu Superblüten zeigt die Vegetationsdynamik ein breites Spektrum unterschiedlicher Phänomene.

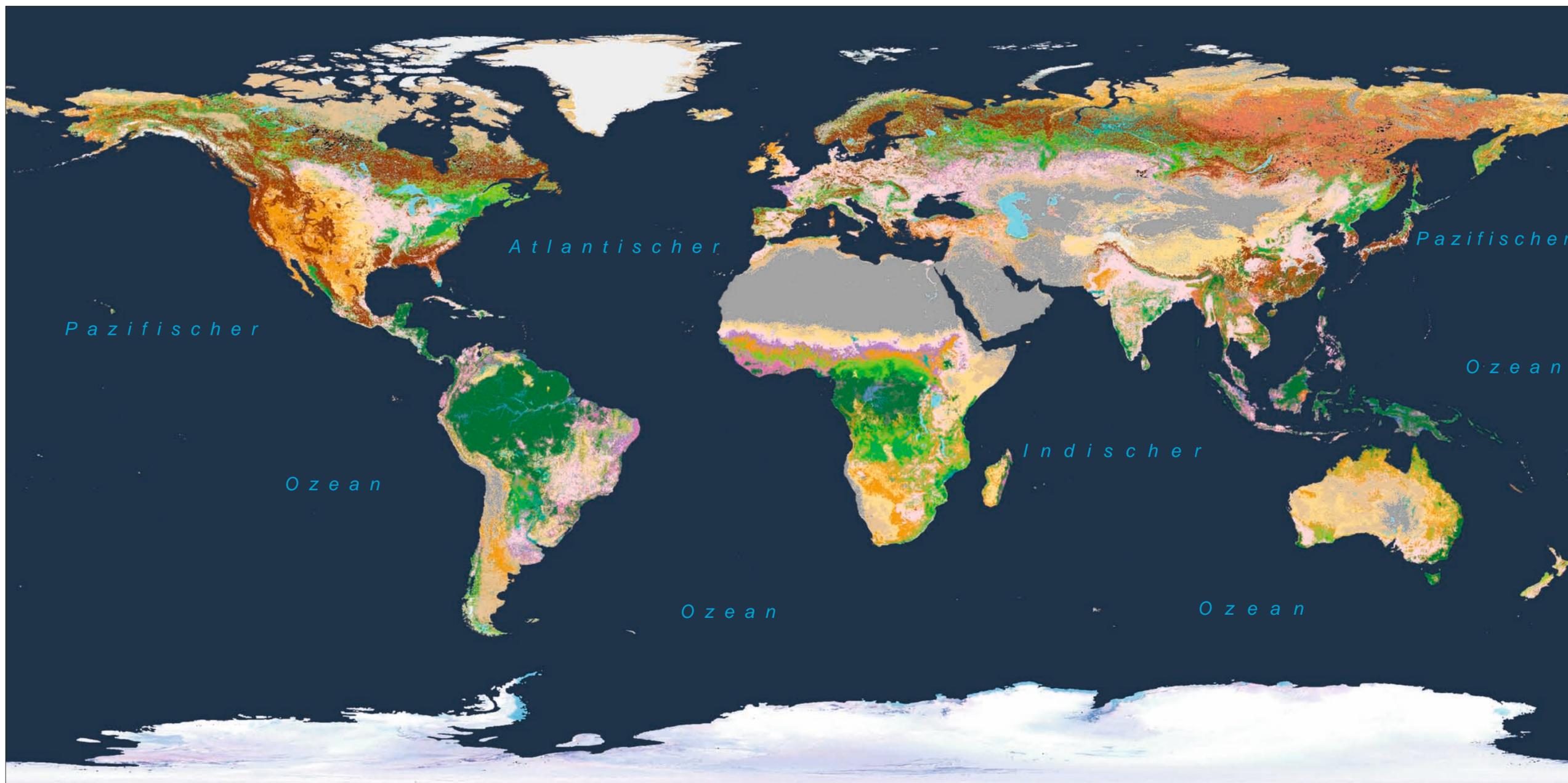
4. Terrestrischer Chlorophyll-Index als Maß für die Vegetationsintensität, Juli 2018. Daten: Sentinel-3.



6. Farben der Vegetation während (08.04.2023, li.) und nach einer Superblüte (13.04.2023, re.) in Kalifornien, USA. Daten: Sentinel-2.

5. Terrestrischer Chlorophyll-Index als Maß für die Vegetationsintensität, Januar 2018. Daten: Sentinel-3.





1. Aus Satellitendaten abgeleitete Verteilung der Landbedeckung/Bodennutzung der Erde.



2. Kiruna, Schweden. Buschbewuchs, extensive Landwirtschaft, Bergbau. Sentinel-2, 08.09.2023.



3. Pärnu, Estland. Kiefer, Birke und Fichte, intensive Forstwirtschaft. Sentinel-2, 26.09.2023.



4. Thessaloniki, Griechenland. Anbau von Feldfrüchten und Obst. Sentinel-2, 20.09.2023.



5. Tazirbu, Libyen. Wüste und Bewässerungslandwirtschaft in der Oase. Sentinel-2, 27.09.2023.



6. Abéché, Tschad. Viehzucht in der Savanne um die Stadt. Sentinel-2, 24.09.2023.



7. Boende, D.R. Kongo. Wanderfeldbau im Regenwald. Sentinel-2, 08.09.2023.

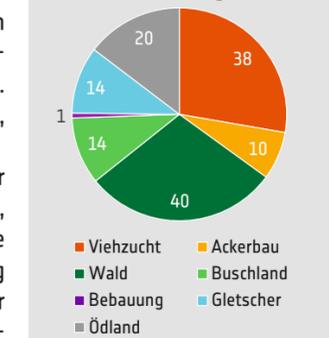


8. Marchand, Südafrika. Bewässerungslandwirtschaft entlang des Flusses. Sentinel-2, 31.03.2023.

Bodenbedeckung und Landnutzung

Bodenbedeckung bezieht sich auf die physischen Merkmale der Erdoberfläche, einschließlich der Vegetation, der Gewässer und des nackten Bodens. Im natürlichen Zustand hängt sie von den Böden, dem Klima und der Fauna einer Region ab. Die Landnutzung hingegen beschreibt, wie der Mensch das Land nutzt, etwa für Landwirtschaft, Stadtentwicklung oder Naturschutz. Häufig ist die Landnutzung mit Änderungen der Bodenbedeckung verbunden, etwa beim Abholzen von Wäldern oder bei der Zunahme landwirtschaftlicher und versiegelter Flächen. Veränderungen der Bodenbedeckung und Landnutzung können sich auf Ökosysteme, die biologische Vielfalt und das Klima auswirken.

Globale Landnutzung (Mio. km²)



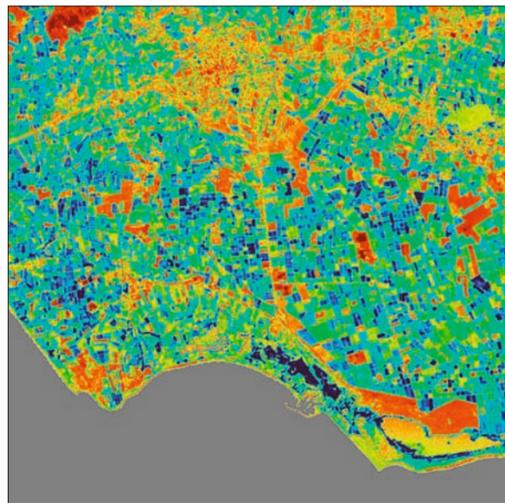
9. Wichtige Bodenbedeckungs-/Landnutzungs-klassen und die von ihnen bedeckten Flächen (in Mio. km²).



1. Das Mar de Plástico bedeckt einen großen Teil des flachen Lands um El Ejido, Spanien. Daten: Sentinel-2, 10.09.2022.



2. Bodenfeuchtigkeitsindex (NDMI) in der Region El Ejido. Daten: Sentinel-2, 10.09.2022 (links).



3. Das Mar de Plástico um El Ejido, Spanien, 1985. Daten: Landsat 5, 17.10.1985 (rechts).



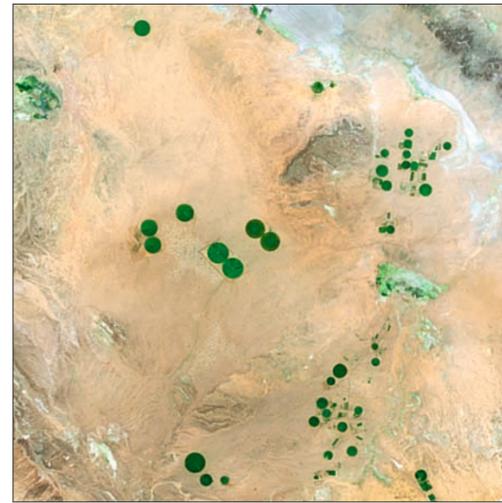
El Mar de Plástico – El Ejido, Spanien

El Ejido ist bekannt für seine ausgedehnten Gewächshäuser, das sogenannte Mar de Plástico. Die Region weist ein trockenes, mildes Mittelmeerklima auf. Mit nur etwas mehr als 200 mm Jahresniederschlag ist die Landwirtschaft auf Grundwasser angewiesen, das durch Wasser aus der im Norden angrenzenden Sierra de Gador aufgefüllt wird.

Auf einer Fläche von 30 000 Hektar hat sich die Region stark verändert, wie Satellitenbilder zeigen. Das Mar de Plástico ist ein wichtiger Akteur in der spanischen Wirtschaft und bietet über 40.000 Arbeitsplätze. Die

meisten Erzeuger sind Kleinbetriebe mit Anbauflächen von etwa 1 bis 1,5 ha. Hauptsächlich wird Gemüse (z.B. Tomaten) auf einem künstlichen Sandboden angebaut. Die Entwicklung des Mar de Plástico hat vielfältige Auswirkungen. Die sozialen Strukturen befinden sich ebenso wie die Beschäftigungsdynamik im Wandel, was teilweise mit illegaler Migration zusammenhängt. Gleichzeitig tauchen ökologische Fragen auf, etwa um die Verteilung des Wassers und den Abfluss von Chemikalien, die zu grundlegenden Diskussionen um das empfindliche Gleichgewicht zwischen Fortschritt und ökologischer Nachhaltigkeit führen.

4. Blick auf die Plastikgewächshäuser bei El Ejido.



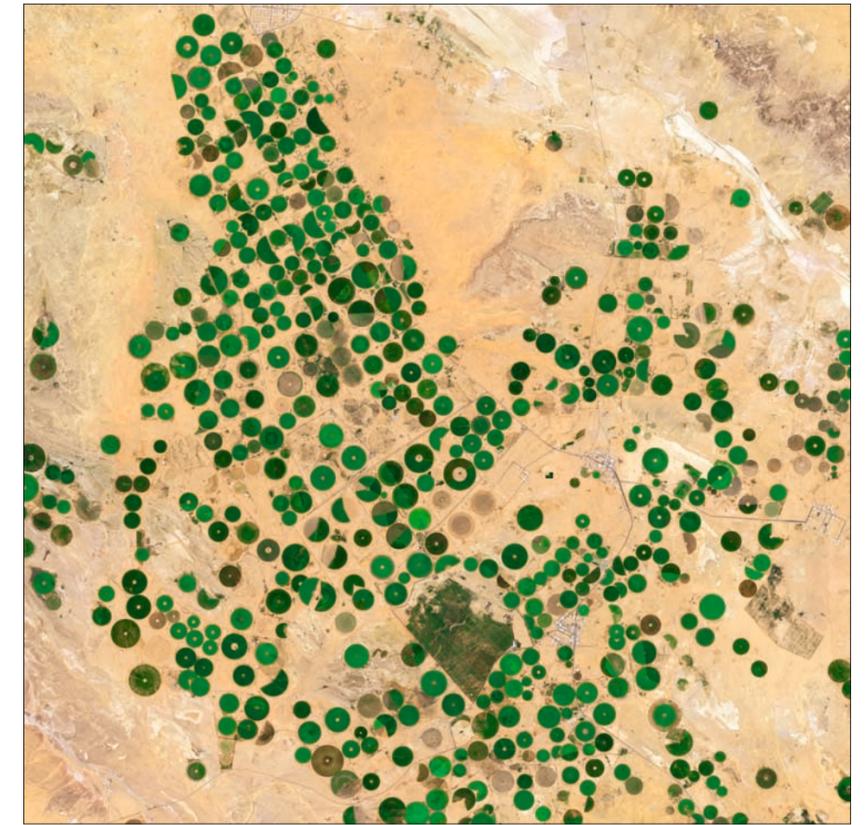
5. Erste Kreisbewässerungsfelder in der Nähe von Ha'il, Saudi-Arabien. Daten: Landsat 5, 15.04.1985.



6. Bis 1995 hat die Zahl der bewässerten Felder erheblich zugenommen. In diesem Zeitraum erreichte der Export von Weizen aus Saudi-Arabien seinen Höhepunkt. Daten: Landsat 5, 27.04.1995.



7. Nach 1995 ging die Intensität des Anbaus aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklung sowie aufgrund von Problemen mit der Versalzung der Böden zurück. Daten: Landsat 5, 18.04.2015.



Landwirtschaft in der Wüste – Ha'il, Saudi-Arabien

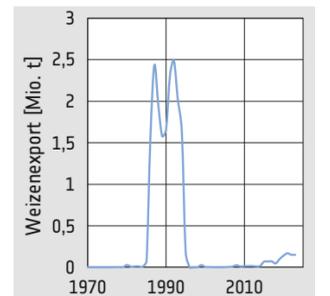
Saudi-Arabien ist eines der trockensten Länder der Welt und größtenteils von Wüsten bedeckt. Die Wüstenumgebung geht Hand in Hand mit einer relativ geringen Bevölkerungsdichte. Die Wirtschaft des Landes hängt weitgehend von der Ausfuhr fossiler Brennstoffe (Öl und Gas) ab, aber Saudi-Arabien exportiert auch Weizen. Mit Ausnahme der Oasen wird in Saudi-Arabien hauptsächlich extensive Landwirtschaft betrieben. Durch die Ausbeutung fossiler, nicht durch Regen aufgefüllter Grundwasservorkommen für die Bewässerung konnte jedoch auch die Produktion von Weizen und anderen Feldfrüchten intensiviert werden.

Das Gebiet um die Stadt Ha'il liegt über einem großen Grundwasserkörper, der seit den 1970er Jahren mit zunehmender Intensität genutzt wird. Während die ursprünglichen Techniken zur Verdunstung eines großen Teils des Wassers und zu einer erheblichen Versalzung des Bodens führten, sind die heute angewandten Methoden besser an die Umgebungsbedingungen angepasst. Dennoch wird die Nutzung des fossilen Grundwassers enden, sobald die Vorkommen erschöpft sind. Satellitenbilder zeigen den Kontrast zwischen der Wüste und der Vegetation auf den zahlreichen Kreisbewässerungsfeldern. Die Daten eignen sich gut zur Überwachung der Entwicklung der bewässerten Felder und des Zustands der Kulturen. Sie zeigen, wo die Versorgung mit Wasser und Düngemitteln optimiert werden muss, und werden daher in der Präzisionslandwirtschaft eingesetzt.

8. Situation der Bewässerungsfelder bei Ha'il, Saudi-Arabien. Daten: Sentinel-2, 26.04.2023.



9. Der NDVI (normalisierter Differenzvegetationsindex) hilft bei der Überwachung des Zustands der Kulturen.



10. Entwicklung des Exports von Weizen aus Saudi-Arabien.



1. Campo Novo de Rondônia, Brasilien. Die Aufnahme zeigt die „Fischgrät“-Muster in der Anfangsphase der Erschließung des Waldgebiets. Daten: Landsat 5, 28.06.1991.

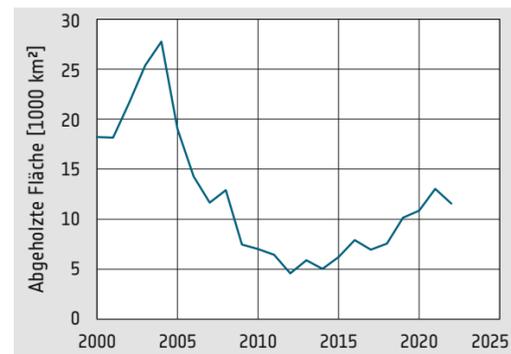


2. Campo Novo de Rondônia, Brasilien. Luftaufnahme von Bränden während der Rodungen.

Rondônia, Brasilien

Der brasilianische Bundesstaat Rondônia liegt im südwestlichen Teil des Amazonasbeckens. Die Bevölkerung Rondônias ist von etwa 40.000 Einwohnern im Jahr 1950 auf mehr als 1,8 Millionen im Jahr 2021 stark angestiegen. Diese Entwicklung ging Hand in Hand mit einer Veränderung der Vegetationsbedeckung des Landes. Ursprünglich waren fast 90 % der Fläche von Regenwald bedeckt. Seither hat sich Rondônia zu einem der bekanntesten Beispiele für Entwaldung entwickelt. Nur etwa ein Drittel der Fläche ist noch von Wald bedeckt.

Die Satellitenkarten zeigen die Entwicklung um die Kleinstadt Campo Novo de Rondônia, die im Jahr 2020 14.200 Einwohner hatte. Die Bildserie zeigt, wie die Abholzung durch den Bau von Aufschließungsstraßen eingeleitet wird, entlang derer die Siedler beginnen, die Wälder zu roden, um landwirtschaftliche Flächen zu gewinnen. Nur im südlichen Teil des dargestellten Gebiets sind Wälder erhalten geblieben – diese Fläche gehört zum Uru-Eu-Uaw-Uaw-Territorium, das von der brasilianischen Regierung zum Schutz der indigenen Bevölkerung eingerichtet wurde. Der erste Kontakt mit einem der hier lebenden Völker, den Uru-Eu-Uaw-Uaw, fand erst 1981 statt.



3. Jährlich gerodete Flächen in Brasilien.



4. Campo Novo de Rondônia, 1984. Die gelbe Linie stellt die Grenze des indigenen Territoriums der Uru-Eu-Uaw-Uaw dar. Daten: Landsat 5, 24.06.1984.



5. Campo Novo de Rondônia, 2010. Die Rodungen haben zu einem deutlichen Rückgang der Waldflächen geführt. Daten: Landsat 5, 15.05.2010.



6. Campo Novo de Rondônia, 2023. Der Wald ist weitgehend durch landwirtschaftliche Flächen ersetzt worden und nur mehr im Uru-Eu-Uaw-Uaw-Territorium im Süden erhalten geblieben. Daten: Sentinel-2, 07.10.2023.

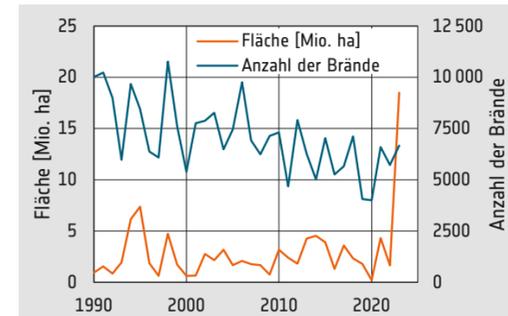


British Columbia, Kanada

Waldbrände sind in der kanadischen Provinz British Columbia ein vertrautes Phänomen. Die Kombination von Bewuchs und Trockenheit führt zu unkontrollierten Bränden, die sich über große Flächen ausbreiten können.

Im Jahr 2023 haben Waldbrände in Kanada in der ersten Jahreshälfte eine Fläche von 48.000 km² erfasst, verglichen mit 21.000 km² in durchschnittlichen Jahren. Der Klimawandel spielt dabei insofern eine Rolle, als er heißere und trockenere Bedingungen schafft und so das Risiko von Bränden erhöht. Blitzeinschläge und menschliche Aktivitäten wie Lagerfeuer und Fahrlässigkeit tragen ebenfalls dazu bei.

Die Auswirkungen von Waldbränden sind weitreichend. Sie bedrohen die Lebensräume von Wildtieren, verschlechtern die Luftqualität und beeinträchtigen Wassereinzugsgebiete. In die Luft freigesetzte Partikel können Tausende von Kilometern zurücklegen. Waldbrände beeinträchtigen örtliche Gemeinden, stören den Verkehr und haben Auswirkungen auf die Wirtschaft, insbesondere auf die Holzindustrie.



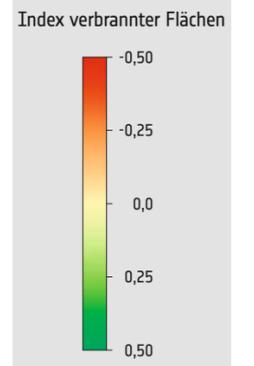
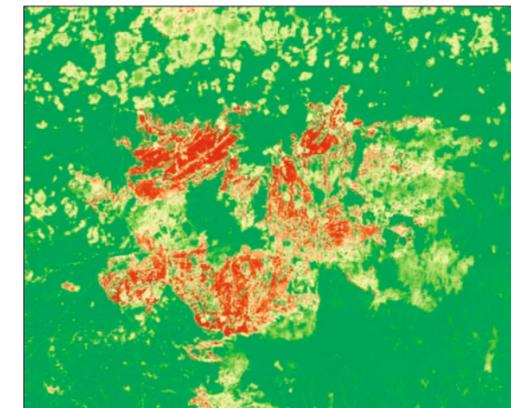
7. Anzahl der Waldbrände und verbrannte Fläche pro Jahr in Kanada. Im Jahr 2023 hat die verbrannte Fläche drastisch zugenommen.



10. Waldbrände in British Columbia. Die Echtfarbdarstellung zeigt hauptsächlich Rauch und Wolken. Daten: Sentinel-2, 07.06.2023.



8. British Columbia. Das Falschfarbenbild hebt die Brandherde hervor. Daten: Sentinel-2, 18.05.2023.



9. British Columbia. Der Burnt Area Index [Index der verbrannten Fläche] hebt die betroffene Fläche hervor. Daten: Sentinel-2, 07.06.2023.



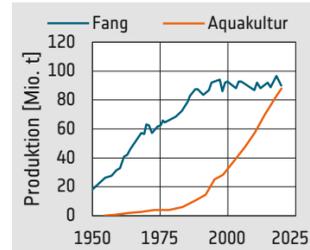
11. Für das Falschfarbenbild wurden Infrarotdaten verwendet, die durch den Rauch hindurch Brände zeigen. Daten: Sentinel-2, 07.06.2023.



12. Die Bekämpfung großer Waldbrände kann sehr schwierig sein.



1. Übersichts-Satellitenbild der Südküste der Bohai-Bucht mit den Aquakulturgebieten entlang der Küste. Die Farben des Meeres zeigen eine hohe Sedimentbelastung in den flachen Gewässern. Daten: Sentinel-2, 29.04.2023.



Aquakultur – Bohai-Bucht

Der Einsatz von Aquakultur zur Produktion von Fischen, Garnelen, Muscheln und Wasserpflanzen hat im Laufe der Jahre stetig zugenommen. Weltweit wurden im Jahr 2020 fast 90 Millionen Tonnen (FAO) produziert, was der Hälfte der gesamten Produktion von Meerestfrüchten entspricht. Die größten Aquakulturproduzenten sind China, Indien, Indonesien, Vietnam, Bangladesch und Norwegen. Diese Industrie bietet Millionen von Menschen eine Lebensgrundlage und ist eine wichtige Nahrungs- und Einkommensquelle. Einschließlich der Algen produzierte China im Jahr 2020 über 64 Millionen Tonnen gezüchtete Meerestfrüchte und ist damit der weltweit größten Produzenten von Aquakulturprodukten. Aquakultur leistet auch um die Bohai-Bucht einen wichtigen Beitrag zur Wirtschaft. Die Bucht ist von weiten, flachen Küstengebieten umgeben, die sich für die Aquakultur eignen. Die Zuchtbetriebe reichen von kleinen traditionellen bis hin zu großen kommerziellen Unternehmen.



4. Abschnitt der Südküste der Bohai-Bucht, die Landnutzung hat sich erheblich verändert. Daten: Landsat 5, 05.05.2007.



5. Abschnitt der Südküste der Bohai-Bucht während der Anfangsphase der Aquakulturraktivitäten. Schlammebenen bedecken die ursprüngliche Gezeitenzone. Daten: Landsat 5, 17.05.1989.

2. Wachsende Nachfrage und schrumpfende natürliche Ressourcen haben zu einer Verlagerung der Produktion von der Fangfischerei zur Aquakultur geführt.

3. Das Radar-Satellitenbild der Südküste der Bohai-Bucht zeigt eine intensive Landnutzung mit einer Mischung aus Siedlungen (gelb), Landwirtschaft (blau) und Aquakultur (dunkelblau). Offshore-Aktivitäten wie Fischerboote und Windparks sind als helle Punkte im Meer zu erkennen. Daten: Sentinel-1, 26.04.2023.



6. Ilha de Orango, Bissago-Archipel, während der Flut. Daten: Sentinel-2, 24.04.2023.



7. Ilha de Orango bei Ebbe. Rund um die Insel liegen ausgedehnte Flächen trocken. Daten: Sentinel-2, 14.04.2023.

Schutz der Natur

Naturschutz ist für den Erhalt der biologischen Vielfalt und der Gesundheit der Ökosysteme wichtig. Ein wirksamer Naturschutz erfordert Anstrengungen auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene. Dazu gehören auch Maßnahmen, die den Schutz mit sozioökonomischen Bedürfnissen in Einklang bringen, die Einbeziehung von Interessengruppen und die Sensibilisierung für dieses Thema. Dabei sind Satelliten zu einem wichtigen Instrument geworden. Dies zeigt sich bei Betrachtung einzigartiger Lebensräume wie Mangroven und alpiner Regionen. Mangroven dienen als lebenswichtige Küstenökosysteme als Kinderstube für Meeresbewohner, schützen vor Küstenerosion und speichern Kohlenstoff. Sie sind durch Aktivitäten wie Urbanisierung, Aquakultur und Verschmutzung bedroht. Die Schutzbemühungen kon-



8. Naturschutzgebiete an der Küste von Bissago. Daten: Sentinel-2, 24.04.2023.



9. Das Falschfarben-Infrarotbild der Ilha de Orango zeigt die Mangroven in dunklerem Rot. Daten: Sentinel-2, 24.04.2023.

zentrieren sich auf das Einrichten von Schutzgebieten, die Wiederherstellung von Lebensräumen und die Einbeziehung der lokalen Bevölkerung in nachhaltige Wirtschaftspraktiken. Auch alpine Lebensräume mit ihrer biologischen Vielfalt und ihrer Bedeutung für den Wasserhaushalt stehen unter dem Druck des Klimawandels, des Tourismus und intensiver Nutzung. Naturschutz hat das Ziel, diese Ökosysteme zu erhalten.



10. Blick auf die Gezeitenebene entlang der Küstenlinie von Bissago.



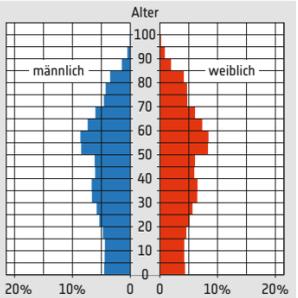
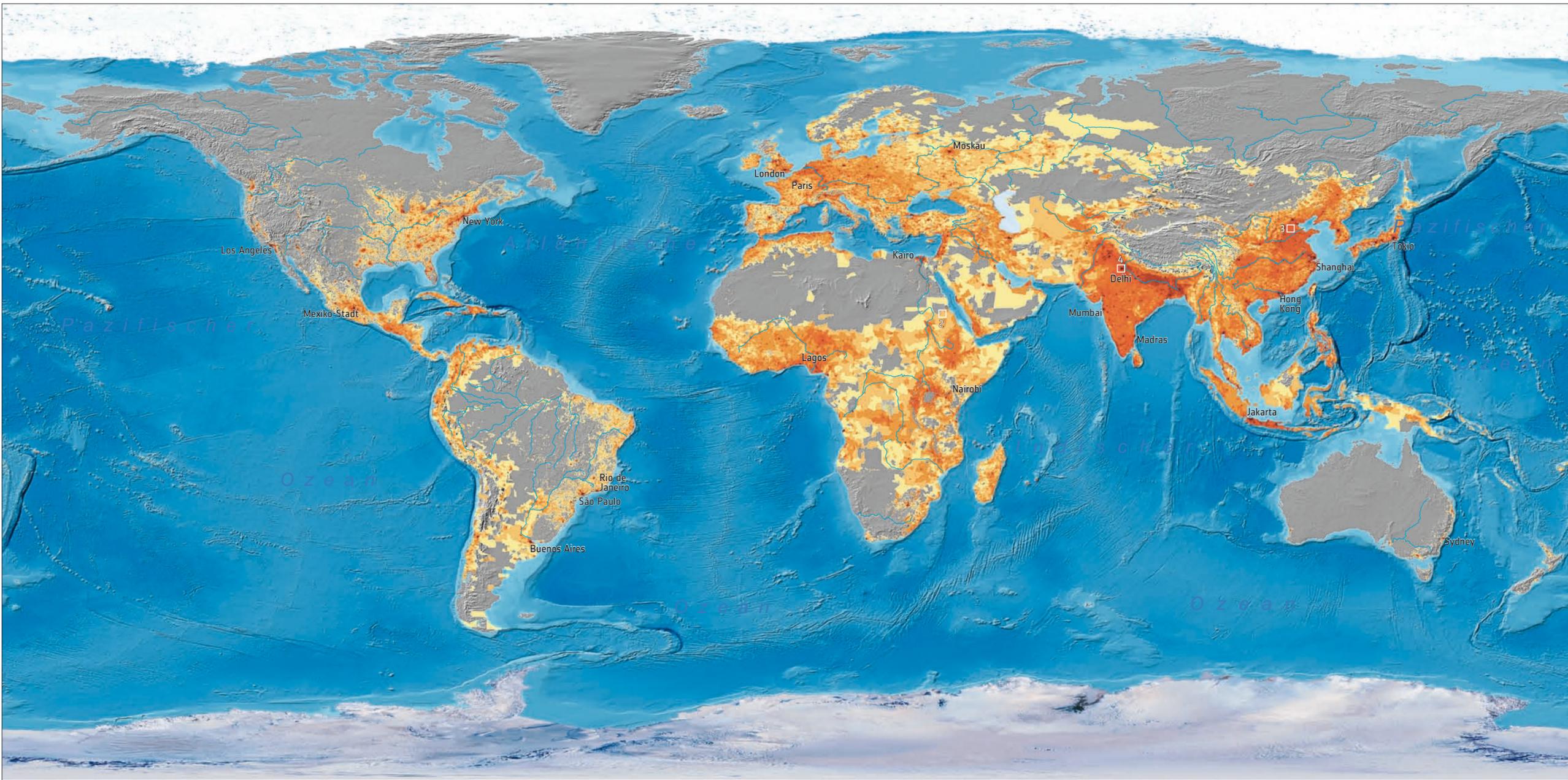
11. Blick auf den Großglockner, mit 3.798 Metern der höchste Gipfel des Nationalparks Hohe Tauern.

12. Der Nationalpark Hohe Tauern in Österreich erstreckt sich über die hochalpinen Teile des Landes. Daten: Sentinel-2.

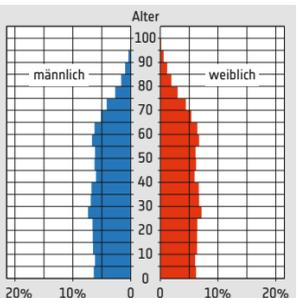


ANTHROPOSPHÄRE

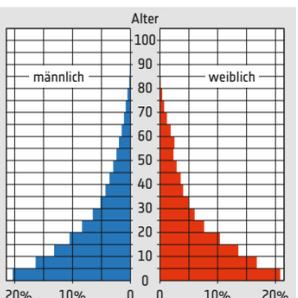
ANTHROPOSPHÄRE



5a. Bevölkerungspyramide, Deutschland 2022.

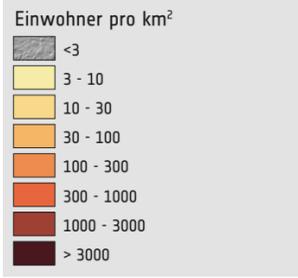


5b. Bevölkerungspyramide, Vereinigte Staaten von Amerika, 2021.



5c. Bevölkerungspyramide, Niger 2021.

1. Bevölkerungsdichte (Daten: Gridded Population of the World, 2020).



2. Derubeb, Sudan. Daten: Sentinel-2, 13.04.2024. Bevölkerungsdichte 3-10 Einwohner pro km².



3. Longhuazhen, China. Daten: Sentinel-2, 18.04.2024. Bevölkerungsdichte 100 – 300 Einwohner pro km².

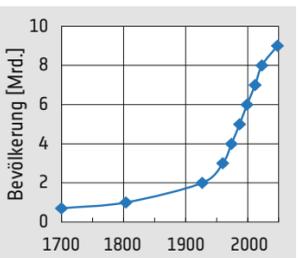


4. Delhi, Indien. Daten: Sentinel-2, 19.03.2024. Bevölkerungsdichte > 3.000 Einwohner pro km².

Verteilung und Wachstum der Bevölkerung

Die Bevölkerung der Erde ist sehr ungleichmäßig verteilt. Ausgedehnte Gebiete sind fast unbewohnt, vor allem die Wüsten, die Polarregionen und die dichten Wälder. Dies steht in krassem Gegensatz zu den dicht besiedelten Regionen z. B. in Ostchina, dem Gangesdelta in Indien und Westeuropa.

Die Weltbevölkerung hat vor allem in den letzten 100 Jahren einen enormen Zuwachs erfahren. Während viele Gesellschaften auf der Erde stagnieren und altern, gibt es junge Gesellschaften, die schnell wachsen. Die meisten Bevölkerungsszenarien zeigen, dass in den nächsten Jahrzehnten eine Höchstzahl von 10 bis 11 Milliarden Menschen erreicht wird.

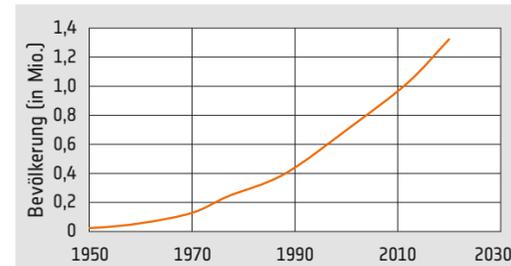


6. Entwicklung der Weltbevölkerung (in Milliarden) seit dem Jahr 1700. Die Punkte markieren die Jahre, in denen eine volle Milliarde erreicht wurde.



Niamey, Niger

Niamey, die Hauptstadt von Niger, hat im Laufe der Jahre eine bemerkenswerte Bevölkerungsentwicklung erlebt. Die an den Ufern des Niger liegende Stadt ist seit der Unabhängigkeit Nigers im Jahr 1960 erheblich gewachsen. Um das Jahr 2000 wurde Niamey zu einer der am schnellsten wachsenden Städte Afrikas. Mehrere Faktoren haben zum Bevölkerungsboom in Niamey beigetragen, darunter eine verbesserte Gesundheitsversorgung und bessere Bildungsmöglichkeiten. Der wichtigste Faktor ist die Land-Stadt-Migration. Diese Faktoren ließen die Gesamtbevölkerung der Stadt wachsen und haben auch zum geringen Durchschnittsalter von 21 Jahren beigetragen. Die jugendliche Bevölkerung ist eine Ressource für die Entwicklung der Stadt, da sie Arbeitskräfte und Innovationspotenzial bietet. Sie stellt aber auch enorme Herausforderungen in Bezug auf Bildung, Beschäftigung und Gesundheitsversorgung dar.

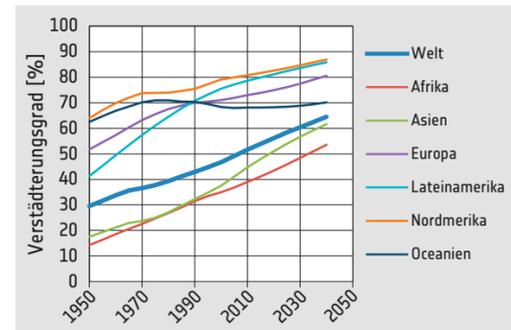


1. Niamey, Niger. Daten: Landsat 4, 13.10.1984.



2. Niamey, Niger. Das Stadtgebiet hat sich im Zuge der Entwicklung großer Erweiterungs- und Infrastrukturprojekte erheblich vergrößert. Daten: Sentinel-2, 27.02.2023.

3. Niamey. Entwicklung der Bevölkerungszahl seit 1900. Man beachte den starken Anstieg ab Mitte des 20. Jahrhunderts.



4. Aufgezeichnete und voraussichtliche Entwicklung des Urbanisierungsgrades in verschiedenen Teilen der Welt.



5. Die Brücke von Niamey über den Fluss Niger, eines der großen Infrastrukturprojekte der Stadt.



Stadtentwicklung in China

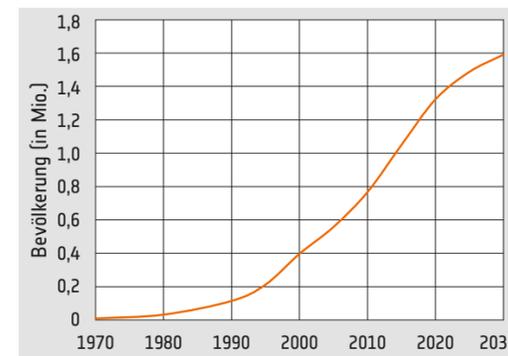
Die Stadt Suqian liegt in der ostchinesischen Provinz Jiangsu und ist ein typisches Beispiel für die rasante Entwicklung der Städte und das Bevölkerungswachstum in diesem Land. Die Wurzeln der Stadt lassen sich bis in die Antike zurückverfolgen, als sie als Verkehrsknotenpunkt am Kaiserkanal diente, der Nord- und Südchina miteinander verband. Im Laufe der Jahrhunderte entwickelte sich die Stadt zu einem regionalen Zentrum für Handel und Gewerbe. In den letzten Jahrzehnten erlebte Suqian einen wirtschaftlichen Aufschwung, der sich in den auf den Satellitenbildern sichtbaren Veränderungen der Landnutzung widerspiegelt. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) stieg von 1 Milliarde Euro im Jahr 2000 auf über 30 Milliarden Euro im Jahr 2020. Dieses Wachstum wurde durch Investitionen in Industrie, Landwirtschaft und Technologie vorangetrieben, mit jährlichen Exportwerten von über 20 Milliarden Euro. Die strategische Lage der Stadt, die hervorragende Infrastruktur und eine unternehmensfreundliche Politik haben über 10.000 in- und ausländische Unternehmen angezogen. Suqian hat sich zu nachhaltiger Entwicklung und umweltfreundlichen Initiativen verpflichtet, darunter die Schaffung von über 800 Quadratkilometern Waldfläche und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, die 30 % des Energiebedarfs decken. Die Bemühungen im Bereich der Stadtplanung haben zuletzt zu einer Verringerung der Umweltverschmutzung und zu einer Zunahme der Grünflächen geführt.



8. Suqian, China, 1987. Daten: Landsat 4, 21.04.1984.



6. Blick auf Suqian.



7. Suqian. Entwicklung der Bevölkerungszahl seit 1970. Das schnelle Wachstum begann mit der Öffnung Chinas in den 1990er Jahren.



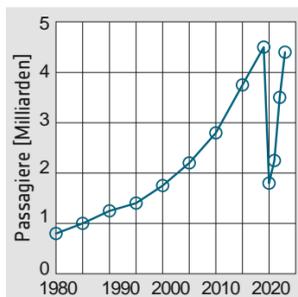
9. Suqian, China, 2023. Wohn-, Gewerbe- und Industriegebiete haben einen großen Teil der landwirtschaftlichen Flächen verdrängt. Daten: Sentinel-2, 16.04.2023.



1. Übersichts-Satellitenbildkarte des Bosphorus und von Istanbul, Türkei. Daten: Sentinel-2, 23.07.2023.

Neuer Flughafen von Istanbul, Türkei

Der erst 2019 eröffnete neue Flughafen İstanbul Havalimanı hat sich mit mehr als 64 Millionen Passagieren im Jahr 2022 schnell zum verkehrsreichsten Flughafen Europas entwickelt. Mit Kosten von mehr als 10 Milliarden Euro war der Bau des Flughafens ein enormes finanzielles Unterfangen.



2. In den letzten Jahrzehnten ist die Zahl der Flugpassagiere weltweit erheblich angestiegen. Eine kurze Unterbrechung dieser Entwicklung wurde durch die Covid-19-Pandemie von 2020-2022 verursacht.

Der Flughafen ist auf langfristige Entwicklung ausgelegt und kann bei Vollbetrieb mehr als 200 Millionen Passagiere pro Jahr abfertigen. Damit wird er zu einem der verkehrsreichsten Flughäfen der Welt und unterstreicht die Rolle İstanbuls als wichtiges globales Reise- und Handelszentrum. Es wird erwartet, dass der neue Flughafen einen tiefgreifenden wirtschaftlichen Einfluss haben und einen wichtigen Beitrag zum türkischen BIP leisten und direkt und indirekt Tausende von Arbeitsplätzen bieten wird.

Die Satellitenkarte zeigt die enormen Auswirkungen des Flughafens auf die Landschaft. Etwa 30 Kilometer nordwestlich des Stadtzentrums gelegen, hat der neue Flughafen auf einer Fläche von fast 40 Quadratkilometern Wälder und landwirtschaftliche Flächen verdrängt. Daneben musste auch das Straßennetz, das den Flughafen bedient, erheblich ausgebaut werden.

3. Luftaufnahme des neuen Flughafens İstanbul Havalimanı, Blick nach Westen.



4. Region nordwestlich von Istanbul, Türkei. Echtfarben-Satellitenbild, das die Wälder und landwirtschaftlichen Flächen vor dem Bau des neuen Flughafens zeigt. Daten: Landsat 5, 18.09.2010.



5. Baustelle des neuen İstanbuler Flughafens. Das Echtfarben-Satellitenbild veranschaulicht, wie massiv der Eingriff der Bauarbeiten in die Landschaft ist. Daten: Sentinel-2, 24.07.2017.



6. Echtfarben-Satellitenbild des neuen Flughafens İstanbul Havalimanı, Türkei. Daten: Sentinel-2, 23.07.2023.



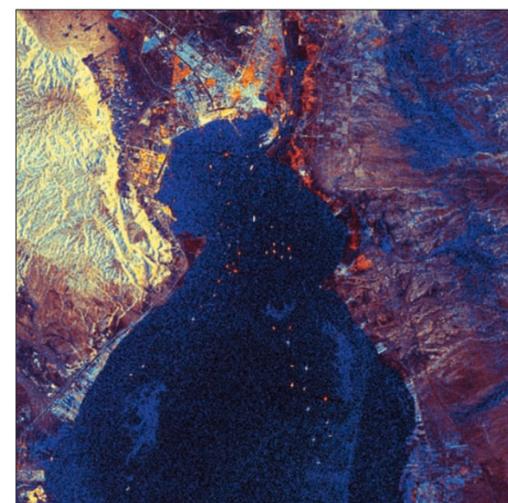
Suezkanal, Ägypten

Der Suezkanal verbindet als künstliche Wasserstraße das Mittelmeer mit dem Roten Meer. Der 1869 eröffnete Kanal verkürzte die Schiffsroute zwischen Europa und Asien drastisch und ermöglichte es Schiffen, die langwierige und gefährliche Reise um Afrika herum zu vermeiden. Die strategische Lage des Kanals hat ihn zu einer wichtigen Verbindung zwischen Ost und West gemacht, sodass er einen großen Beitrag zum Welthandel leistet.

Im März 2021 lief die Ever Given, ein 400 Meter langes Containerschiff, das mehr als 20 000 Container transportieren kann, im südlichen Teil des Kanals auf Grund. Dies führte zu einer vorübergehenden Schließung des Kanals, was eine erhebliche Unterbrechung der weltweiten Lieferketten zur Folge hatte. Optische und Radarsatelliten erfassten die Ever Given, die den gesamten Kanal blockierte, sowie den durch die Havarie verursachten Stau für die auf die Einfahrt in den Kanal wartenden Schiffe.



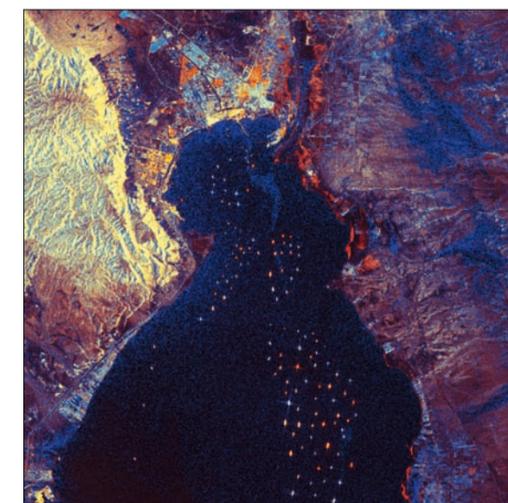
7. Suez, Ägypten, mit dem südlichen Ende des Suezkanals. Das Echtfarben-Satellitenbild zeigt nahe dem oberen Rand das Containerschiff Ever Given, das im Kanal festsetzt und den Verkehr blockiert. Daten: Sentinel-2, 29.03.2021.



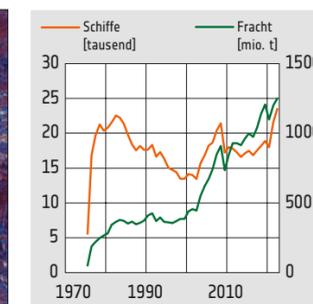
8. Suez, Ägypten, mit dem südlichen Ende des Suezkanals. Das Radarbild vom 21.03.2021 zeigt normalen Verkehr durch den Kanal und nur wenige wartende Schiffe. Daten: Sentinel-1, 21.3.2021.



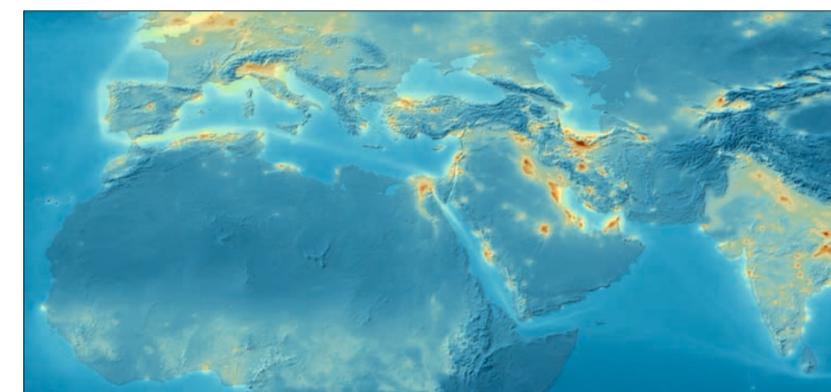
11. Die Ever Given, das im Suez-Kanal stecken gebliebene Containerschiff der Reederei Evergreen. Mit seiner Länge von fast 400 Metern ist es eines der größten Containerschiffe der Welt und kann mehr als 20.000 Standardcontainer transportieren.



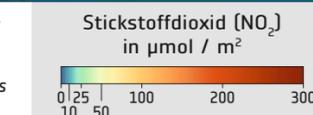
9. Suez, Ägypten, mit dem südlichen Ende des Suezkanals. Am 27.3.2021 hat sich durch die Blockade des Kanals ein Stau wartender Schiffe gebildet. Daten: Sentinel-1, 27.03.2021



10. Die zunehmende Bedeutung des internationalen Verkehrs spiegelt sich in der Entwicklung des Gütertransports durch den Suezkanal wider. Gleichzeitig hat sich die Zahl der Schiffe, die den Kanal passieren, deutlich verringert, da größere Schiffe eingesetzt werden.



12. Konzentration von NO_2 in der Atmosphäre, gemessen vom TROPOMI-Sensor an Bord von Sentinel-5P. NO_2 entsteht bei Verbrennungsprozessen in der Industrie und im Verkehr. Schifffahrtsrouten sind durch die Abgase von Schiffen als schwaches NO_2 -Band sichtbar, das um die Iberische Halbinsel durch das Rote Meer nach Osten führt.





1. Bauarbeiten entlang des Rio Xingu bei Altamira. Daten: Landsat 5, 15.07.2015.

Wasserkraft – Staudamm Belo Monte, Brasilien

Das Kraftwerk Belo Monte in Brasiliens nördlichem Bundesstaat Pará ist eines der größten Wasserkraftwerke der Welt. Sein Bau begann 2011 und wurde 2019 abgeschlossen. Das Kraftwerk nutzt das Wasser des Rio Xingu, eines großen Nebenflusses des Amazonas. Die installierte Gesamtleistung von mehr als 11.000 Megawatt (MW) reicht aus, um mehr als 60 Millionen Menschen mit Strom zu versorgen. Das Kraftwerk verfügt über 18 Kraftwerksblöcke mit einer Leistung von jeweils 611 MW.

Der Bau des Kraftwerks Belo Monte war sehr umstritten. Umweltschützer und indigene Gruppen haben Bedenken wegen der Auswirkungen des Kraftwerks auf das lokale Ökosystem und die Lebensgrundlage der indigenen Bevölkerung in der Region geäußert. Der Bau des Kraftwerks machte die Überflutung eines großen Waldgebiets und die Umsiedelung Tausender von Menschen notwendig. Die veränderte Wasserführung hat sich auch auf das Ökosystem des Rio Xingu unterhalb des Staudamms ausgewirkt. Trotz dieser Bedenken hat die brasilianische Regierung den Bau des Kraftwerks Belo Monte als notwendig für die Deckung des Energiebedarfs des Landes und die Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung verteidigt. Das Kraftwerk wurde auch als Mittel zur Verringerung der Abhängigkeit Brasiliens von fossilen Brennstoffen und zur Bekämpfung des Klimawandels angepriesen.



2. Das Echtfarben-Satellitenbild des Rio Xingu bei Altamira zeigt die Wälder und landwirtschaftlichen Flächen vor dem Bau des Staudamms. Daten: Landsat 5, 27.07.2011.



3. Das Satellitenbild des Rio Xingu bei Altamira nach Fertigstellung des Staudamms zeigt Veränderungen der Gewässern, Wälder und landwirtschaftlichen Flächen. Daten: Sentinel-2, 28.07.2017.



4. Der Rio Xingu bei Altamira im Echtfarben-Satellitenbild nach der Fertigstellung des Staudamms. Überlagert sind aus Satellitendaten abgeleitete neue Wasserflächen (blau) und trocken gefallene Wasserläufe (hellgrün). Daten: Sentinel-2, 28.07.2017.



5. View of the Belo Monte powerhouse during construction.



6. Radarbild der regelmäßigen Raster von Windkraftanlagen in der Themse-Mündung. Daten: Sentinel-1, 02.03.2024.

Windenergiegewinnung über dem Meer

Die Themsemündung im Südosten Englands hat sich zu einem stark genutzten Standort für die Errichtung von Offshore-Windparks entwickelt, weil hier starke und gleichmäßige Winde vorherrschen.

Die Nähe zu dicht besiedelten Gebieten wie London ermöglicht eine effiziente Verteilung des erzeugten Stroms und minimiert Übertragungsverluste. Zudem wird durch den Offshore-Standort im Vergleich zu Onshore-Windparks die Sicht- und Lärmbelästigung verringert. Offshore-Windparks tragen zur Erreichung der Ziele für erneuerbare Energien bei und helfen, die Emission von CO₂ zu verringern und den Klimawandel zu bekämpfen. Die Entwicklung von Windparks in der Themsemündung bringt auch Herausforderungen mit sich, darunter mögliche Auswirkungen auf marine Ökosysteme und Lebensräume wildlebender Tiere.



9. Südlich der deutschen Stadt Leipzig wurde intensiv Braunkohle im Tagebau gefördert, was die Landschaft geprägt hat. Teile der ehemaligen Abbaugelände wurden rekultiviert und in Erholungsgebiete umgewandelt. Daten: Sentinel-2, 27.05.2017.



7. Übersichts-Satellitenbild des Mündungsgebiets der Themse mit seinen Offshore-Windparks. Daten: Sentinel-2, 07.07.2023.

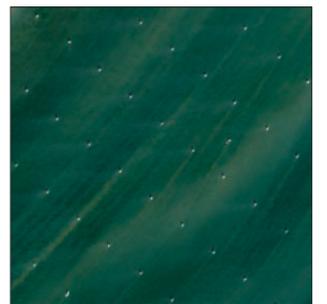
Vom Braunkohleabbau zur Sonnenenergie

Der Solarpark Böhlen im Bundesland Sachsen nutzt die Sonneneinstrahlung für die Erzeugung von sauberem und nachhaltigem Strom. Das Solarkraftwerk ist das größte seiner Art in Deutschland und besteht aus Photovoltaik-Modulen, die das Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umwandeln. Die Anlage erstreckt sich über eine Fläche von etwa 100 Hektar eines ehemaligen Braunkohletagebaus, auf der mehr als 300.000 Photovoltaikmodule installiert sind. Mit einer installierten Gesamtleistung von über 100 Megawatt (MW) erzeugt diese Anlage genug sauberen Strom, um mehr als 30.000 Haushalte zu versorgen.

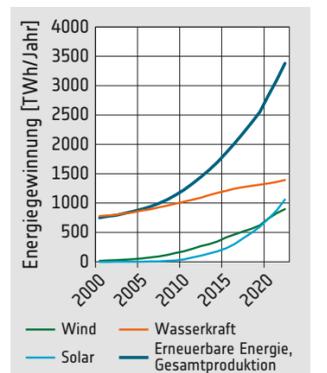
Der Bau des Solarkraftwerks bei Böhlen steht im Einklang mit den ehrgeizigen Zielen der deutschen Energiewende, die eine Abkehr von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien anstrebt.



10. Über einen Teil der Fläche eines ehemaligen Braunkohletagebaus erstrecken sich heute die Photovoltaik-Modulen eines Solarkraftwerks (Solarpark Böhlen). Daten: Sentinel-2, 28.01.2024.



8. Ausschnitt aus dem Sentinel-2-Bild des Windparks London Array. Die Gezeitenströmungen wirbeln Sedimente auf.



11. Die weltweite Produktion von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen, insbesondere Wind- und Sonnenenergie, ist von raschem Wachstum geprägt.

GLOSSAR

Die Abbildung zeigt die Absorption von Infrarotstrahlung durch ein Gas. Die Absorption ist am stärksten bei den Wellenlängen der charakteristischen Schwingungszustände der Moleküle.

A
Absorption – Prozess, bei dem Strahlungsenergie von einer Substanz aufgenommen wird.

Abtastradiometer – Aufnahmesystem, das aus Linsen, beweglichen Spiegeln und Bildsensoren besteht und während des Flugs des Satelliten laufend das überflogene Gebiet aufnimmt.

Aerosol – Gemisch aus festen oder flüssigen Partikeln, die in einem Gas suspendiert sind (z.B. Rauch, Nebel).

Aktives System (aktiver Sensor) – Fernerkundungssystem, das selbst Strahlung aussendet, um ein zu beobachtendes Objekt oder Gebiet zu beleuchten, und die reflektierte oder übertragene Strahlung empfängt. Beispiel: Radar.

Albedo – Verhältnis der von einem Objekt reflektierten zur einfallenden Sonnenstrahlung.

Altimeter – Aktives Instrument zur Messung der Höhe eines Satelliten über der Erdoberfläche. In Kombination mit exakten Orbitinformationen ermöglicht dies die Bestimmung der Topografie.

Amplitude – Größe der Auslenkung einer Welle von einem Mittelwert. Bei einer einfachen harmonischen Welle ist es die maximale Auslenkung vom Mittelwert.

Apogäum – Punkt der elliptischen Umlaufbahn eines Satelliten, an dem seine Entfernung von der Erde maximal ist.

Aquakultur – Kultivierung wasserlebender Organismen, d.h. Aufzucht und Ernte von Fischen, Muscheln, Krebsen und Wasserpflanzen.

aquatisch – Mit Wasser verknüpft.

äquatorial – In der Nähe des Äquators.

Ariane – Reihe von Trägerraketen, die von einer Tochtergesellschaft der Europäischen Luft- und Raumfahrtgesellschaft (EADS) für die ESA entwickelt und vom Weltraumzentrum Kourou in Französisch-Guayana gestartet werden.

arid – Trocken. Klimatyp, bei dem die Verdunstung den Niederschlag deutlich überwiegt.

ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*) – Radarsensor auf dem Satelliten ENVISAT, der im C-Band arbeitet.

ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) – Bildgebendes Instrument auf NASAs Terra-Satellit. ASTER wird für die Erstellung detaillierter Karten der Landoberflächen-temperatur, Emissivität und Reflexion verwendet.

Atmosphärisches Fenster – Wellenlängenbereich, in dem die Atmosphäre nur geringfügig Strahlung absorbiert und daher (in beiden Richtungen) durchlässig ist.

Auflösung – Im Fall von Bildern die Detailerkennbarkeit (Bildschärfe).

Aufnahmestreifen – Das von einem Satelliten beobachtete Gebiet, während er die Erde umkreist.

AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) – Ein fünfkanales Instrumen auf NOAA-Satelliten zur Messung elektromagnetischer Strahlung zur Bestimmung der Wolkenbedeckung und der Oberflächen-temperatur sowie der Beobachtung von Vegetation, Wolken, Seen, Küstenlinien, Schnee und Eis.

Azimut – Auf den wahren Norden bezogene erforderliche Ausrichtung einer Antenne für den Empfang eines Satellitensignals. Der Winkelabstand wird im Uhrzeigersinn gemessen.

B
Band – Bereich des elektromagnetischen Spektrums, der von einem Fernerkundungssensor aufgenommen wird; ein multispektraler Sensor misst in mehreren Spektralbändern.

Bandbreite – Erforderlicher Frequenzbereich, um ein spezifisches moduliertes Signal ohne Verzerrung oder Datenverlust zu übertragen.

Bathymetrie – Topografie des Meeresbodens.

Biodiversität – Biologische Diversität, Vielfalt aller Lebewesen und ihrer Wechselwirkungen in einem Gebiet.

Biomass – Eine der Earth-Explorer-Missionen der ESA, dient der Beobachtung und Analyse der weltweiten Wälder mittels Radartechnologie.

Biomasse – Gesamtmasse der lebenden Organismen eines Ökosystems; in der Energiewirtschaft auch biologisches Heizmaterial.

Boden – Biologisch aktives, durchlässiges Medium, das die oberste Schicht der Erdkruste bedeckt.

Bodenauflösung – Seitenlänge eines Quadrats auf der Erdoberfläche, das durch ein einzelnes Pixel in einem Bild wiedergegeben wird. Je kleiner dieser Wert ist, desto feinere Details sind erkennbar.

Bodenbedeckung – Eigenschaften einer Landoberfläche, die ihre Spektralsignatur bestimmen, z.B. Vegetationszusammensetzung.

Bodenspur – Projektion einer Satelliten-

bahn auf den Erdboden senkrecht unter dem Satelliten.

Bruttonationalprodukt (BNP) – Geldwert der Gesamtheit von Produkten und Dienstleistungen eines Landes in einem bestimmten Zeitraum (z.B. Jahr). Maß für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit.

C
C-Band – Teil des elektromagnetischen Mikrowellenspektrums zwischen 500 MHz und 1000 MHz.

Chlorophyll – Molekül in grünen Pflanzen, durch das sie ihre Farbe erhalten und das ihnen ermöglicht, für die Photosynthese Sonnenenergie aufzunehmen.

Copernicus – Erdbeobachtungsprogramm der EU (früherer Name GMES, für *Global Monitoring for Environment and Security*).

CryoSat – ESA-Forschungssatellit, der die Kryosphäre der Erde kartiert und insbesondere Daten über das Volumen der Eisschilde in der Arktis und Antarktis sammelt (seit 2010).

D
Dämpfung – Abnahme der Signalleistung bei seiner Übertragung. Die Dämpfung kann in Dezibel ausgedrückt werden und wird durch Störungen wie Regen, Wolken oder Hochfrequenzsignale verursacht.

Degradation – Rückgang des Werts einer biophysikalischen Umgebung infolge von vom Menschen verursachten Vorgängen.

Deklination – Winkelabstand vom Äquator zum Satelliten.

Delta – Dreieckiges, aus mitgeführten Sedimenten gebildetes Mündungsgebiet eines Flusses.

Demografie – Statistische Erfassung der menschlichen Bevölkerung (Anzahl, Zusammensetzung nach Ethnien und Alter) und ihrer Entwicklung.

Digitales Höhenmodell (DEM) – Darstellung der Topografie der Erde in digitaler Form, d.h. durch Koordinaten und numerische Angabe der Meereshöhe.

diurnal – In einem Tageszyklus.

DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) – Wettersatellitenprogramm der US-Luftwaffe mit Satelliten in sonnensynchroner Umlaufbahn. Daten werden vom sichtbaren Bereich bis zum nahen Infrarot (0,4 bis 1,1 µm) und im thermalen Infrarot (etwa 8 bis 13 µm) bei einer Auflösung von etwa 3 km aufgenommen.

Dobson-Einheit (DU) – Standardinheit für die Ozonkonzentration in der Atmosphäre. Eine DU sind 2,7 x 1016 Ozonmoleküle pro cm² und entspricht einer

Ozonschicht, die unter Standardbedingungen (0°C) 0,001 cm dick wäre.

E
EAC – Europäisches Astronautenzentrum, Köln; zentrale ESA-Einrichtung für das Training von Astronauten.

Earth Explorer – Teil des Living-Planet-Programms der ESA. Reihe von Satellitenmissionen, die neue Beobachtungsdaten über die Erde liefern.

EarthCARE – Weltraummission zur Erforschung von Aerosolen und Wolken und deren Einfluss auf die Strahlung in der Erdatmosphäre im Rahmen des Living Planet Programms der ESA. Startdatum: 2024.

Elektromagnetische Strahlung – Energie, die sich als zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Licht und Radar sind Beispiele für elektromagnetische Strahlung, die sich nur in ihren Wellenlängen (oder Frequenzen) unterscheiden.

Elektromagnetisches Spektrum – Gesamter Bereich der Wellenfrequenzen elektromagnetischer Strahlung von den längsten bis zu den kürzesten Wellenlängen. Das Spektrum wird üblicherweise in sieben Abschnitte unterteilt: Radio-, Mikrowellen-, Infrarot-, Sichtbares Licht-, Ultraviolett-, Röntgen- und Gammastrahlung.

Elliptische Umlaufbahn – Körper im Weltraum umkreisen Zentralkörper in elliptischen Umlaufbahnen, so auch Satelliten die Erde. Der Punkt, an dem der umlaufende Satellit der Erde am nächsten ist, wird Perigäum genannt, der Punkt, an dem er am weitesten von der Erde entfernt ist, Apogäum.

Emissivität – Das Verhältnis der von einer Oberfläche emittierten zu der von einem schwarzen Körper bei gleicher Temperatur emittierten Strahlungsenergie.

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) – Ein Multispektral-Sensor an Bord des Landsat-7-Satelliten, der in 8 Spektralbändern hochauflösende Bildinformationen über die Erdoberfläche liefert.

Envisat – Umwelt-Satellitenmission der ESA (2002-2012); große Plattform zur Überwachung der Umweltveränderungen auf der Erde und in der Atmosphäre, wissenschaftliche Mission zur Untersuchung von Erdbeobachtungsanwendungen und Vorläufer der Sentinel-Reihe.

Erdbeobachtungssatellit – Satellit, der die Erde vom Weltraum aus beobachtet.

Erosion – Geologische Prozesse (Wasser, Wind), durch die Felsen und Erde abgetragen und an anderem Ort wieder abgelagert werden.

ERS (European Remote-Sensing Satellite) – zwei Radarsatelliten, die von der ESA betrieben wurden, 1991-2011, Vorläufer von Sentinel-1.

ESA – Europäische Weltraumorganisation.

ESOC – Europäisches Raumflugkontrollzentrum.

ESRIN – Europäisches Weltraumforschungsinstitut.

ESTEC – Europäisches Weltraumforschungs- und Technologiezentrum.

extensiv (Landwirtschaft) – Bewirtschaftungsform großer Flächen, die mit geringem Einsatz (Arbeit, Düngung, etc.) und Ertrag verbunden ist.

Exzentrizität e – Beschreibt die Form der elliptischen Umlaufbahn eines Satelliten. Bei e = 0 ist die Ellipse ein Kreis; liegt *e* nahe bei 1, ist die Ellipse lang und schmal.

F
Falschfarben – Visualisierungsverfahren, das ein Bild in einer Farbkombination erzeugt, die nicht der wahren oder natürlichen Farbe der Szene entspricht (wie sie unsere Augen sehen würden).

Fernerkundung – Technik zur Erfassung von Daten und Informationen über ein Objekt oder Phänomen ohne physischen Kontakt. Satellitenfernerkundung bezieht sich auf das Sammeln von Informationen über die Erde und ihre Umwelt aus der Ferne.

Fernes Infrarot (FIR) – Elektromagnetische Strahlung, langwelliger als das thermale Infrarot, mit Wellenlängen zwischen etwa 25 und 1000 Mikrometern.

fluvial – Im Zusammenhang mit einem Fluss.

FPAR (*fraction of photosynthetically active radiation*) – Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung, d.h. Strahlung zwischen 400 und 700 nm, die vom grünen Blätterdach in der Photosynthese umgesetzt werden kann.

Frequenz f – Anzahl der pro Sekunde durchlaufenen Zyklen oder Teilen von Zyklen; *f* = 1/*T*, wobei *T* die Dauer eines Zyklus in Sekunden ist.

G
Galileo – Europäisches Satellitennavigationssystem, bestehend aus 30 Satelliten in 3 Umlaufbahnen.

Gammastrahlung – Hochenergetische elektromagnetische Strahlung, die von Atomkernen beim Übergang zwischen zwei Energieniveaus emittiert wird.

Geografisches Informationssystem (GIS) – System zur Archivierung, Abfrage und Manipulation von Daten, die mit ihren geografischen Koordinaten abgespeichert sind. GIS können in der Regel eine Vielzahl von Datentypen verwenden, wie Bilder, Karten, Tabellen usw.

Geokodierung – Element der Georeferenzierung, bei dem Daten in das gewünschte Referenz- oder Koordinatensystem übersetzt werden.

Geomorphologie – Erfassung des Ursprungs und der Entwicklung von topographischen und bathymetrischen Merkmalen durch Prozesse an oder nahe der Erdoberfläche.

Geostationär – Umlaufbahn, in der sich ein Satellit immer in derselben Position relativ zur rotierenden Erde befindet. Der Satellit bewegt sich in derselben Richtung um die Erde in einer Höhe von etwa 35.790 km, da hier die Umlaufzeit der Rotationsperiode der Erde entspricht. Wird für Wettersatelliten und die meisten kommerziellen Telekommunikationssatelliten verwendet.

Geosynchron – Mit der Rotation der Erde mitlaufend.

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) – US-Wettersatelliten in einer Entfernung von 35.790 km über dem Äquator bei 75 Grad West bzw. 135 Grad West. GOES-Satelliten haben eine geostationäre Umlaufbahn mit einer Periode von 24 Stunden, einer sichtbaren Auflösung von 1 km und einer IR-Auflösung von 4 km.

GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) – Instrument an Bord von ERS zur Messung von Ozon.

GPS (Global Positioning System) – US-amerikanisches System, das aus 25 Satelliten in 6 Umlaufbahnen in einer Höhe von 20.000 km besteht und hochpräzise Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitinformationen liefert.

H
Hotspot – Bereich des Erdmantels, von dem aus heiße Magmablases aufsteigen, die in der darüber liegenden Erdkruste Vulkane verursachen können.

I
indigen – Ursprünglich in einem Gebiet beheimatete Bevölkerung.

Infrarotstrahlung (IR) – Infrarot ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von etwa 0,7 bis 1000 µm (zwischen sichtbarer und Mikrowellenstrahlung), unterteilt in sichtbares und nahes Infrarot, mittleres Infrarot und fernes Infrarot.

Inklination – Winkel zwischen der Umlaufbahn eines Satelliten und dem Äquator.

Interferometrie – Verfahren zur Datenanalyse, welches die Phasendifferenz zwischen zwei Wellenzügen nutzt; wird z.B. bei Radarsatelliten verwendet, um Höhenunterschiede oder Veränderungen abzuleiten.

ISS – Internationale Raumstation, ein gemeinsames Projekt von 16 Ländern, das als wissenschaftliches Labor im Weltraum konzipiert ist.

K
Kalibrierung – Vorgang, bei dem die Messgenauigkeit eines Instruments mit einem bekannten Standard verglichen wird.

Klima – Durchschnittliche Wetterbedingungen an einem Ort über einen längeren Zeitraum, z.B. 30 Jahre.

Klimamodell – Computermodell zur Berechnung und Prognose des Klimas für einen bestimmten Zeitraum.

Klimawandel – Langzeitveränderungen von Temperaturen und Wettermustern infolge natürlicher oder menschlicher Einflüsse.

Ku-Band – Radar- und Mikrowellenband mit Wellenlängen zwischen 1,67 und 2,4 cm.

Kurzweilige Strahlung – Die von der Sonne in den spektralen Wellenlängen unterhalb von 4 µm emittierte Strahlung.

L
Landnutzung – Die Nutzung einer Landoberfläche, z.B. landwirtschaftliche Flächen oder Siedlungen.

Landsat – Landsat-Fernerkundungssatellitenreihe (zuletzt 2021 gestartet: Landsat 9), betrieben von der U.S. Earth Observation Satellite Company (EOSAT). Kommerzialisiert unter dem Land Remote-Sensing Commercialisation Act von 1984, wurde Landsat entwickelt, um regelmäßig und systematisch Daten über die Ressourcen der Erde zu sammeln.

M
Meeresoberflächentemperatur (SST, sea surface temperature) – Temperatur der obersten Meerwasserschicht bis in ca. 0,5 m Tiefe.

MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) – Instrument an Bord von Envisat zur Beobachtung des Ozeans und der Vegetation.

METEOSAT (Meteorologischer Satellit) – Europas geostationärer Wettersatellit, gestartet von der Europäischen Weltraumorganisation und betrieben von Eumetsat. Mittlerweile ist mit MTG (Meteosat Third Generation) die dritte Satellitengeneration aktiv.

Mikrowelle – Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen etwa 1000 µm und 1 m.

Mittleres Infrarot (MIR) – Elektromagnetische Strahlung zwischen dem nahen Infrarot und dem thermalen Infrarot, etwa 2-5 µm.

MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) – Sensor an Bord von Terra/Aqua, der die gesamte Erdoberfläche alle 1-2 Tage aufnimmt und Beobachtungen in 36 Spektralbändern bei mittlerer Auflösung (0,25 – 1 km) durchführt, wie Land- und Meeresoberflächentemperatur, Primärproduktivität, Landoberflächenbedeckung, Wolken, Aerosole, Wasserdampf,

Temperaturprofile und Brände.

Multispektral – Bestehend aus Daten von mehreren Bändern des elektromagnetischen Spektrums.

Multispektralscanner (MSS) – Zeilenscannerinstrument, das auf Landsat-Satelliten fliegt und die Erde in einem 185 km breiten Streifen kontinuierlich scannt. Auf Landsat 1, 2, 4 und 5 hatte der MSS vier Spektralbänder im sichtbaren und nahen Infrarot mit einer Auflösung von 80 Metern.

Multitemporal – Bestehend aus Daten aus verschiedenen Zeitpunkten.

N
Nachhaltigkeit – Wirtschaftsweise, welche eine dauerhafte Nutzung ermöglicht.

Nachhaltigkeitsziele (*SDGs, Sustainable Development Goals*) – Von den Vereinten Nationen (UN) 2015 übernommene Handlungsziele, die den Planeten schützen und die Lebensqualität der Menschen fördern sollen.

Nahes Infrarot (NIR) – Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von knapp über dem sichtbaren Bereich (etwa 0,7 µm) bis etwa 2 µm.

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) – Die 1958 gegründete Behörde mit Hauptsitz in Washington D.C. ist für das öffentliche Raumfahrtprogramm der USA verantwortlich. Ihre Aufgabe ist es, Luft- und Raumfahrtaktivitäten zu planen, zu leiten und durchzuführen.

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) – Methode zur Ableitung der Vegetationsintensität aus Satellitenmessungen. Der NDVI nützt aus, dass die starke Reflexion infraroter Strahlung durch pflanzliches Chlorophyll im Verhältnis zwischen Reflexion im infraroten und roten Bereich des Spektrums deutlich wird.

Niederschlag – Wasser, das in flüssigem (Regen) oder festem (Schnee, Hagel) Zustand aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche fällt.

NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) – Die 1970 innerhalb des US-Handelsministeriums gegründete NOAA erhebt den Zustand der Ozeane und der Atmosphäre. NOAA umfasst zwei Hauptbereiche: den National Weather Service (NWS) und den National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS).

Nutzlast – Gesamtheit der Instrumente, die auf einem Raumfahrzeug untergebracht sind.

O
OLI (*Operational Land Imager*) – multispektraler Bildsensor an Bord von Landsat 8 und 9.

Orbitalebene – Eine imaginäre Ebene, in der die Umlaufbahn eines Erdsatelliten liegt. Die Orbitalebene verläuft durch das Zentrum der Erde.

Ozeanfarbe – Färbung der Ozeanoberfläche durch Phytoplankton, das aufgrund unterschiedlicher Chlorophyllkonzentrationen in unterschiedlichen Farben erscheint.

P

Panchromatisch – [Sensor] empfindlich für das gesamte sichtbare Spektrum.

Passives Mikrowellenradiometer – System, das nur die vom betrachteten Objekt emittierte Mikrowellenstrahlung oder die vom Objekt von einer anderen Quelle als dem System reflektierte Mikrowellenstrahlung erfasst.

Passives System – Aufnahmesystem, das nur die vom betrachteten Objekt emittierte oder reflektierte Strahlung erfasst.

Perigäum – Auf einer elliptischen Umlaufbahn der Punkt, an dem ein Satellit der Erde am nächsten ist.

Periode – Die Zeit, die ein Satellit für eine vollständige Umlaufbahn benötigt.

Phytoplankton – Pflanzliche Komponenten des Planktons, ein tragendes Element von marinen und Süßwasserökosystemen.

Pixel – „Bildelement“, kleinstes Element eines digitalen Bilddatensatzes, oder auch aufgenommene Bodenfläche, die diesem Element entspricht.

Plattform – Satellit, der Messinstrumente mitführt.

Polare Umlaufbahn – Umlaufbahn mit einer Bahnneigung von nahezu 90°, bei der der Satellite bei jedem Umlauf beide Polarregionen überquert.

PROBA (*Project for On-Board Autonomy*) – Kleiner Technologie-Demonstrationssatellit der ESA, der mehrere Erdbeobachtungsinstrumente mit Bodenauflösungen bis zu 20 m (CHRIS, multispektral) und 5 m (HRV, panchromatisch) trägt.

R

Radarinterferometrie – Auswertung von Interferenzmustern, die durch Radarsignale erzeugt werden; eine Technik, die es Wissenschaftlern ermöglicht, dreidimensionale Bilder der Erdoberfläche zu erzeugen.

Reflektivität – Anteil der einfallenden elektromagnetischen Strahlung, der von einer Oberfläche reflektiert wird.

Reflexion – Rückkehr von Licht- oder Schallwellen von einer Oberfläche. Wenn eine reflektierende Oberfläche eben ist, ist der Reflexionswinkel eines Lichtstrahls derselbe wie der Einfallswinkel.

Rückstreuung – Prozess, bei dem eingestrahlte Sonnenenergie von der Oberfläche reflektiert oder gestreut wird.

S

Salinität – Salzgehalt von (Meeres-) Wasser oder von Böden.

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) – Technik zur Kartierung des Bodens mit

hoher Auflösung, die effektiv eine große Empfangsantenne simuliert, indem die Phaseninformation der reflektierten Radarstrahlung ausgewertet wird.

Satellit – Frei fliegendes Objekt, das die Erde oder einen anderen Himmelskörper umkreist.

Satellitenbildkarte – Karte auf der Grundlage von Satellitenbilddaten.

Sättigung – Zustand eines Systems, in dem seine Aufnahmefähigkeit ausgeschöpft ist (z.B. Wasserdampf in der Atmosphäre)

S-Band – Frequenzbereich von 4 bis 2 GHz (7 bis 20 cm Wellenlänge) innerhalb des Mikrowellenbereichs des elektromagnetischen Spektrums. S-Band-Radare werden für meteorologische Anwendungen verwendet, z.B. für Niederschlagsmessungen.

Scatterometer – Hochfrequenz-Radarinstrument, das Energiepulse in Richtung Ozean aussendet und die Rückstreuung von der Ozeanoberfläche misst. Es erfasst Windgeschwindigkeit und -richtung über den Ozean, indem es die Rückstreuung durch die vom Wind verursachten Wellen auf der Wasseroberfläche analysiert.

Sedimentation – Ablagerung von Sedimenten (Sand, Schllick) durch Wasser, Wind oder Gletscher.

Sensor – Gerät, das einfallende Strahlung in ein Ausgangssignal umwandelt. Sensoren an Bord von Satelliten erfassen Informationen über Merkmale und Objekte auf der Erde, indem sie Strahlung in verschiedenen Bändern des elektromagnetischen Spektrums erkennen, die reflektiert oder emittiert werden.

Sentinel – Serie von Erdbeobachtungssatelliten unter der Verantwortung der ESA im Rahmen des Copernicus-Programms.

Sichtbares Licht – Teil des elektromagnetischen Spektrums, der für das menschliche Auge sichtbar ist (0,4 µm bis 0,7 µm).

Sichtfeld – Winkelbereich, der von einem System oder Instrument abgetastet oder erfasst wird.

SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity Mission*) – eine Earth-Explorer-Mission der ESA, nimmt globale Beobachtungsdaten für die Modellierung von Wetter, Klima und Meeresströmungen auf.

Solkonstante – Energie der Sonnenstrahlung, die auf die oberste Schicht der Erdatmosphäre trifft, etwa 1370 W/m².

Sonnenstrahlung – Energie, die von der Sonne abgestrahlt wird. Die Energie kommt in vielen Formen, wie sichtbares Licht, Radiowellen, Infrarot-, Ultraviolettstrahlen und Röntgenstrahlen.

sonnensynchron – Eine sonnensynchrone Umlaufbahn ist eine annähernd polare Umlaufbahn. Jede Überquerung des Äquators durch den Satelliten geschieht zur gleichen jeweiligen Ortszeit.

Spektralband – Ein begrenzter Ausschnitt eines Wellenlängenbereichs im elektromagnetischen Spektrum.

Spektralsignatur – Die besondere Form oder Gestalt des von einem Objekt reflektierten Spektrums, das Rückschlüsse auf dessen Zusammensetzung ermöglicht.

SPOT (*Systeme Pour l’Observation de la Terre*) – Französische, polarumlaufende Erdbeobachtungssatelliten mit einer Bodenauflösung von 5-10 m. SPOT-Bilder sind kommerziell erhältlich und sind für Zwecke wie Umweltforschung und -überwachung vorgesehen.

SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) – Eine Space-Shuttle-Mission im Februar 2000, die interferometrisches Synthetic Aperture Radar (IFSARs) im C-Band und X-Band verwendete, um topografische Daten für 80 % der Landmasse der Erde (zwischen 60°N und 56°S) zu erfassen.

Strahlung – Energietransfer in Form von elektromagnetischen Wellen oder Teilchen.

Strahlungshaushalt – Maß für die Bilanz von Ein- und Ausstrahlung von Energie eines Systems, etwa der Erde.

Streuung – Prozess, bei dem elektromagnetische Strahlung mit den Molekülen der Atmosphäre, des Ozeans oder der Landoberfläche wechselwirkt und umgelenkt wird.

Süßwasser – Flüssiges oder gefrorenes Wasser mit nur geringen Konzentrationen an Salzen und anderen gelösten Mineralien.

Swarm – Earth Explorer Mission der ESA, Satellit zur Messung des Magnetfelds der Erde.

Szene – Objektbereich, der von einem Sensor aufgenommen wird.

T

Tektonisch – Auf Vorgänge bezogen, welche die Struktur und Eigenschaften der Erdkruste sowie deren Veränderungen beeinflussen.

Terrestrische Strahlung – Gesamte Infrarotstrahlung, die von der Erde und ihrer Atmosphäre im Temperaturbereich von etwa 200-300 K emittiert wird.

Thematic Mapper (TM) – Multispektrales Bildaufnahmesystem mit 7 Spektralbändern an Bord von Landsat 4 und Landsat 5, das Daten im sichtbaren und infraroten Teil des Spektrums aufnimmt. Die Bodenauflösung der sichtbaren und kurzwelligen Infrarotbänder beträgt 30 m/Pixel, beim thermalen Band 120 m/Pixel.

Thermales Infrarot (TIR) – Wärmestrahlung; Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 3 und 25 µm.

Toxine – Natürlich vorkommende Giftstoffe, die von lebenden Organismen (z.B. Algen) produziert werden.

Treibhausgas – Gasförmige Substanzen in der Atmosphäre, die den Strahlungshaushalt der Erde beeinflussen und zur Erwärmung der Atmosphäre beitragen (Treibhauseffekt).

TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) – 1997 von der NASA und NASDA gestartetes Satellitenprogramm, erhebt Daten über Niederschläge in den Tropen.

U

Ultraviolette Strahlung (UV) – Teil des elektromagnetischen Spektrums mit Wellenlängen unterhalb des violetten Bereichs; es enthält etwa 5 % der von der Sonne abgestrahlten Energie, Hauptenergiequelle in der Stratosphäre und in der Mesosphäre.

Umlaufbahn – Der von einem Himmelskörper bei seinem periodischen Umlauf beschriebene Weg. Erdumlaufbahnen mit Inklinationen nahe 0° werden äquatoriale Umlaufbahnen genannt, da der Satellit fast über dem Äquator bleibt. Umlaufbahnen mit Inklinationen nahe 90° werden polare Umlaufbahnen genannt, da der Satellit fast über die Nord- und Südpole hinwegfliegt.

Urbanisierung – Zunahme des Anteils der in Städten lebenden Bevölkerung als Folge von Zuzug aus ländlichen Gebieten.

USGS (*United States Geological Survey*) – US-amerikanische Behörde, die für die Erfassung und Verteilung von Geoinformationen verantwortlich ist.

V

Versalzung – Zunahme der Salzkonzentration in Böden, meist verbunden mit einem Rückgang der Fruchtbarkeit.

VHR – Sehr hohe Auflösung, Erdbeobachtungsdaten mit einer Bodenauflösung von 1 m und besser.

VISSR (*Visible/Infrared Spin Scan Radiometer*) – Multispektrales Bildaufnahmesystem mit hoher Auflösung, das an Bord der Wettersatelliten der GOES-Serie (bis GOES-7) eingesetzt wurde.

W

Wasserdampf – Wasser in seinem gasförmigen Zustand; in der Atmosphäre der wichtigste Faktor des natürlichen Treibhauseffekts.

Welle – In Raum und Zeit periodische Änderungen eines Parameters, z.B. elektromagnetische Strahlung.

Wellenlänge – Abstand zwischen zwei Maxima einer Welle.

Wettersatellit – Erdbeobachtungssatellit, der meteorologische Prozesse beobachtet.

Wiederholungsrate – Zeit, die ein Satellit benötigt, um einen Erdumlauf zu vollenden.

X

X-Band – Radarfrequenzbereich zwischen 12,5 und 8 GHz (Wellenlänge 2,4-3,75 cm).

A

A23a, Tafeleisberg 45
Abéché 60
Addis Abeba 25
Afrikanische Platte 24, 25
Agulhasstrom 57
Aitik-Mine 30
Aletschgletscher 47
Alexandria 36
Al Fayyūm 36
Altamira 74
Amu Darya 38
Amur-Platte 25
Anchorage 46
Antarktis 44
Antarktische Platte 24
Antarktischer Zirkumpolarstrom 56, 57
Arabische Platte 24
Aralsee 38
Ariane 11
Arktisches Meer 42
Aschgabat 38
Assuan-Staudamm 36
Asyūf 36
Ätna 28
Australische Platte 25

B

Bangkok 55
Belchatów 32
Belo Monte Staudamm 74
Benguelastrom 56
Bevölkerungspyramide 69
Bissago-Archipel 67
Bodenbedeckung 61
Boende 61
Bohai-Bucht 66
Böhlen 75
Brasilstrom 56
Braunkohlebergbau 32
British Columbia 65
Brüssel 8
Buenos Aires 54, 68

C

Campo Novo de Rondônia 64
Cantanhez Forest, Nationalpark 67
Catania 28
Chengdu 55
Chicago 39, 54
Chlorophyll-a 58
Cocos-Platte 24
Colorado-Plateau 27
Colorado River 27
Columbia Bay 46
Columbia-Gletscher 46
Cumbre Vieja 29

D

Dallas 39
Danzig 58
Darmstadt 8, 9
Deepwater-Horizon 39
Delhi 24, 55, 69
Derudeb 68
Detroit 54
Dhaka 55
Dschibuti 25

E

El Ejido 62
El-Niño 34
El Niño-Southern Oscillation (ENSO) 35

F

ENSO 35
Entwaldung 64
Eurasische Platte 24, 25, 26

F

Fairbanks 46
Filchner-Ronne-Schelfeis 45
Fließgeschwindigkeit des Eises 43
Frascati 8, 9

G

Gällivare 30
Gizeh 36
Goldabbau 31
Golfstrom 35, 56
Golf von Mexiko 39
Grand Canyon 27
Grönland 43
Grönländischer Eisschild 43
Großglockner 67
Guangzhou 55
Guineastrom 56

H

Ha'il 63
Harwell 8, 9
Havalimanı, Flughafen Istanbul 72
Himalaja 25, 26
Hochland von Tibet 25, 26
Hohe Tauern, Nationalpark 67
Hong Kong 55, 69
Hotspot-Vulkanismus 29
Houston 39
Hubble Space Telescope 10
Humboldtstrom 56

I

Ilha de Orango 67
Indische Platte 24, 25, 26
Indochina-Platte 25
Innsbruck 51
In Salah 51
Internationale Raumstation (ISS) 11
Istanbul 72

J

Jakarta 55, 69
Jakobshavn Isbrae 43
James-Webb-Space-Teleskop 10
João Vieira, Meeres-Nationalpark 67
Johannesburg-Pretoria 54

K

Kabul 24
Kaibab-Plateau 27
Kairo 36, 69
Kalifornienstrom 56
Kanarische Inseln 29
Kanarischer Hotspot 29
Kapstadt 51
Karachi 55
Karibische Platte 24
Karolinen-Platte 25
Kiruna 8, 60
Kolkata 55
Köln 8, 9
Kontish Flats Windpark 75
Kopenhagen 15
Kourou 9, 11
Kupfermine 30
Kuro-Shio 57

L

M

Labradorstrom 56
Lagos 68
Lahore 24
Landnutzung 61
La-Niña 34
La Palma 29
Lithium 33
Liverpool 54
London 68, 75
London Array Windpark 75
Longhuazhen 68
Los Angeles 54, 68

M

Madras 69
Madre de Dios 31
Mailand 54
Malmö 15
Marchand 61
Mar de Plástico 62
Melbourne 55
Messina 28
Mexiko-Stadt 54, 68
Mississippi 39
Mississippi-Delta 39
Mogadischu 25
MOSE 41
Moskau 54, 69
Mumbai 54, 55, 69

N

Nairobi 25, 51, 69
Nasser-Stausee 37
Nationalpark 67
Nazca-Platte 24
New Orleans 39
New Valley 37
New York 54, 68
Niamey 70
Niger 70
Nil 36
Nildelta 36
Nordchina-Platte 25
Nordwijk 8
Nordamerikanische Platte 24, 25
Nordäquatorialstrom 56, 57
Nordatlantikstrom 35, 56
Nordpazifischer Strom 56
Nordwijk 9
Nukus 38

O

Ochotskische Platte 25
Ölindustrie 39
Ostafrikanische Grabenbruch 25
Ostsee 58
Oya-Shio 57
Ozonloch 55

P

Painted Desert 27
Palermo 28, 51
Paris 8, 9, 68
Pärnu 60
Pazifische Platte 24, 25
Peking 55
Philippinische Platte 25
Phoenix 39
Phytoplankton 58
Plattsmouth 40
Poilão, Meeres-Nationalpark 67
Port Said 36
Prince William Sound 46

R

Redu 8, 9
Rio de Janeiro 54, 68
Rio Xingu 74
Rondônia 64
Rosetta 37
Rotterdam 54
Ruhrgebiet 54

S

Salar de Atacama 33
Samarkand 38
Sandwich-Platte 24
Santiago 68
São Paulo 54
Schutzgebiet 67
Scotia-Platte 24
Seattle 54
Sentinel 15
Seoul 55
Shanghai 55, 69
Shenzhen 55
Sizilien 28
Somalia Platte 24, 25
Somalstrom 57
Spitzbergen 51
Südamerikanische Platte 24
Südäquatorialstrom 56, 57
Suez 36, 73
Suezkanal 73
Supraglaziale Seen 43
Suqian 71
Sydney 55, 69
Syrakus 28
Syr Darya 38

T

Tafeleisberg A23a 45
Tazirbu 60
Teheran 54
Temperaturanomalien 49
Thanet Windpark 75
Themse Mündungsgebiet 75
Thessaloniki 60
Tianjin 55
Tokio 55, 69
Toshka-Projekt 37
Toshka-Senke 37
Tripolis 28
Tunis 28
Türkmenabat 38

U

Uru-Eu-Uaw-Uaw-Territorium 64

V

Vastitas Borealis Krater 10
Vega 11
Venedig 41
Villafranca 8, 9

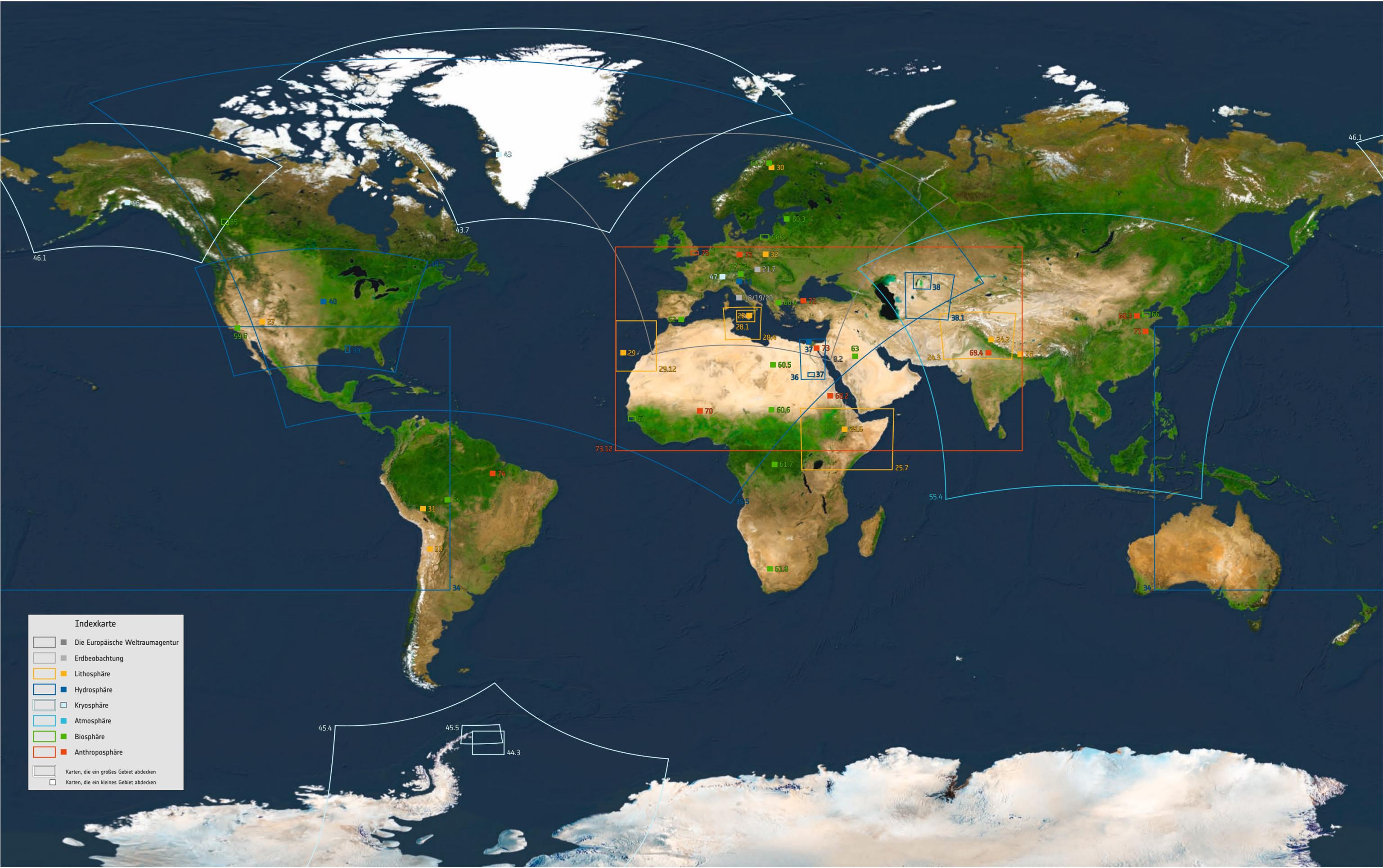
W

Waldbrände 65
Whitehorse 46
Wuhan 55
Wüstenlandwirtschaft 63

GEOGRAPHISCHER INDEX

BILD- UND DATENQUELLEN

- 8.1:** ESA • **8.2** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **8.3, 9.4:** ESA • **9.5:** ESA - Harwell Campus • **9.6:** ESA • **9.7:** ESA - A. Van Der Geest • **9.8:** ESA • **9.9:** ESA - Philippe Sebirot • **9.10:** ESA - Stephane Corvaja • **9.11, 9.12, 10.1:** ESA • **10.2:** ESA/D. Ducros • **10.3:** ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum) • **10.4:** NASA, ESA, CSA, STScI, J. Diego (Instituto de Física de Cantabria, Spain), J. D'Silva (U. Western Australia), A. Koekemoer (STScI), J. Summers & R. Windhorst (ASU), and H. Yan (U. Missouri) • **10.5:** ESA/ATG medialab • **11.6:** ESA/CNES/Arianespace • **11.7:** ESA/David Ducros, Jacky Huart • **11.8, 12.1** [GOCE | Mosaic]: ESA • **12.2** [Aeolus | 06.05.2020]: ESA/ViRES • **12.3** [SMOS | 01.09.2023]: ESA CCI/Climate from Space • **12.4, 13.5, 13.6, 13.7, 14.1, 14.1, 14.1:** ESA • **14.2:** Copernicus • **15.7:** ESA/P. Carril • **15.3a:** ESA/ATG medialab • **15.3b** [Sentinel-1 | 06.02.2024]: Copernicus • **15.4a:** ESA • **15.4b** [Sentinel-2 | 08.07.2023]: Copernicus • **15.5a:** ESA • **15.5b** [Sentinel-3 | 08.06.2023]: Copernicus • **15.6a:** ESA/P. Carril • **15.6b** [Sentinel-5P | 08.07.2023]: Copernicus • **16.1:** eoVision • **16.2:** Union of Concerned Scientists • **16.3:** ESA • **17.4, 17.5, 18.4:** eoVision/ESA • **18.1a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1c** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1d** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1e** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.2a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.2b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3c** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **19.5** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.6** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.7** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.8** [Sentinel-1 | 23.03.2022]: Copernicus • **19.9:** eoVision/ESA • **20.1** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.2** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.3** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.4** [Sentinel-2 | 21.03.2022]: Copernicus • **21.5** [Modis | Mosaic], **21.6a** [Modis | Mosaic], **21.6b** [Modis | Mosaic], **21.6c** [Modis | Mosaic], **21.6d** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **21.7a:** BEV • **21.7b** [Sentinel-2 | 19.06.2023]: Copernicus • **21.7c:** BEV • **22.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **22.2** [DMSP OLS | Mosaic]: NASA/NOAA/USGS • **22.3** [07.12.1972]: Ron Evans/Harrison Schmitt, NASA • **22.4** [Modis | Mosaic], **24.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **24.2** [Sentinel-2 | 02.08.2023]: Copernicus • **24.3** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **25.4:** eoVision, based on work of American Museum of Natural History • **25.5:** eoVision, based on work by Hannes Grobe • **25.6** [Sentinel-2 | 26.08.2023]: Copernicus • **25.7** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **26.1:** USGS • **26.2** [Sentinel-2 | 22.10.2023]: Copernicus • **26.3, 26.3, 26.4, 26.4, 27.5:** USGS • **27.5** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **27.6** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **27.7:** Copernicus • **27.8, 27.9** [Landsat 7 | 06.06.2000]: USGS • **28.1** [Sentinel-2 | June 2022], **28.2** [Sentinel-2 | 03.06.2022], **28.3** [Sentinel-2 | 21.06.2022], **28.4** [Sentinel-5P | 21.06.2022]: Copernicus • **28.5:** Branca, S., M. Coltelli, G. Gropelli and F. Lentini (2011). Geological map of Etna Volcano • **28.6:** gnuclx • **29.7** [Sentinel-2 | 21.08.2021], **29.8** [Sentinel-2 | 30.09.2021], **29.9** [Sentinel-2 | 03.01.2022], **29.10** [Sentinel-2 | 03.01.2022]: Copernicus • **29.11:** eoVision • **29.12** [Modis | Mosaic]: NASA; Carracedo et al. 1998 • **29.13** [Sentinel-2 | 21.08.2021], **30.1** [Sentinel-2 | 15.06.2023]: Copernicus • **30.2** [Landsat 5 | 05.06.1992]: USGS • **30.3:** Tzorn • **30.4** [2022]: Boliden Summary Report • **30.5** [2024]: USGS, Mineral Commodity Summaries 2024 • **31.6** [Landsat 5 | 03.09.2011]: USGS • **31.7** [Sentinel-2 | 03.06.2023], **31.8** [Sentinel-1 | 25.05.2023], **31.9** [Sentinel-2 | 03.06.2023]: Copernicus • **31.10:** Jason Houston (ILPC Redsecker Response Fund/CEES/CINCIA) • **32.1** [Sentinel-2 | 15.08.2023], **32.2** [Sentinel-2 | 01.07.2020]: Copernicus • **32.3** [Landsat 5 | 22.08.2010], **32.4** [Landsat 5 | 28.07.2001], **32.5** [Landsat 4 | 12.06.1990]: USGS • **32.6:** Copernicus • **32.7:** Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) • **33.8** [Landsat 4 | 25.01.1985], **33.9** [Landsat 5 | 03.01.2000]: USGS • **33.10** [Sentinel-2 | 18.01.2023]: Copernicus • **33.11:** Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) • **33.12** [Sentinel-2 | 18.01.2023]: Copernicus • **34.1** [Multisensor | January 2023]: Copernicus Marine Service/OSTIA • **34.3** [Multisensor | 25.12.2015], **34.4** [Multisensor | 25.12.2011]: Copernicus/ESA SST CCI • **35.2** [Multisensor | July 2023]: Copernicus Marine Service/OSTIA • **35.5** [Multisensor | 01.07.2014]: Copernicus/ESA SST CCI • **35.6:** NOAA • **36.1** [Sentinel-2 | July 2023]: Copernicus • **36.2:** Copernicus Land Monitoring Service • **37.3** [Landsat 5 | 10.06.1985]: USGS • **37.4** [Sentinel-2 | 25.06.2023]: Copernicus • **37.5:** Mohamed Eissa • **37.6** [Sentinel-2 | 05.11.2017], **37.7** [Sentinel-2 | 14.11.2022], **38.1** [Sentinel-2 | 2023], **38.2** [Sentinel-3 | 2023]: Copernicus • **38.3:** Kamshat Tusspova et al., Water 12/2020. • **38.4** [Sentinel-3 | 2023]: Copernicus • **38.5** [Landsat 4 | 1987], **38.6** [Argon | 1964]: USGS • **39.7** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **39.8** [Sentinel-2 | 22.04.2023]: Copernicus; U.S. Department of the Interior, BOEM (Bureau of Ocean Energy Management) • **39.9** [Landsat 4 | 04.05.1985], **39.10** [Landsat 5 | 19.07.1995]: USGS • **39.11** [Sentinel-2 | 08.05.2017], **39.12** [Sentinel-2 | 12.05.2023], **40.1** [Sentinel-2 | 21.03.2023], **40.2** [Sentinel-2 | 31.03.2019], **40.3** [Sentinel-2 | 31.03.2019]: Copernicus • **40.4:** US Army Corps of Engineers (Omaha) • **41.5:** Città di Venezia, Alte Maree • **41.6:** Fusi Sandro • **41.7** [Sentinel-2 | 04.11.2021], **41.8** [Sentinel-2 | 24.11.2022]: Copernicus • **42.1** [1980-2020], **42.2, 42.3:** NSIDC • **42.4** [CryoSat | January 2011], **42.5** [CryoSat | January 2024]: CPOM • **43.6:** Copernicus Climate Change Service • **43.7** [Sentinel-1 | 2020]: Copernicus/ENVEO • **43.8** [Sentinel-2 | 01.09.2023], **43.9** [Sentinel-2 | 01.09.2023]: Copernicus • **44.1** [2004]: NSIDC • **44.2** [CryoSat | 2012]: ESA/Helm et al., The Cryosphere, 2014 • **44.3.1** [Sentinel-1 | 06.08.2023], **44.3.2** [Sentinel-1 | 13.09.2023], **44.3.3** [Sentinel-1 | 19.10.2023], **45.4** [Sentinel-3 | 15.11.2023], **45.5** [Sentinel-3 | 15.11.2023]: Copernicus • **46.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **46.2** [Sentinel-2 | 30.07.2023]: Copernicus • **46.3** [2023]: WGMS Fluctuation of Glaciers database • **46.4** [Landsat 5 | 28.07.1986]: USGS • **46.5** [Sentinel-2 | 30.07.2023]: Copernicus • **47.6:** Dirk Beyer • **47.7** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **47.8** [Sentinel-2 | 13.07.2022]: Copernicus • **47.9** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **47.10** [Sentinel-2 | 13.07.2022]: Copernicus • **47.11** [2023]: WGMS Fluctuation of Glaciers database • **47.12** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **48.1** [Multisensor | 2022]: Copernicus/C3S/ECMWF • **48.2** [Multisensor | July 2023], **48.3** [Multisensor | January 2023]: Copernicus Atmosphere Monitoring Service • **49.4:** eoVision/ESA • **49.5:** NOAA/NCEI • **50.1** [Multisensor | 2000-2023]: NASA • **50.3** [NOAA AVHRR | January 2023]: EUMETSAT/CM SAF • **51.2, 51.2, 51.2, 51.2, 51.2, 51.2:** climat-echarts.net • **51.4** [NOAA AVHRR | 01.07.2023]: EUMETSAT/CM SAF • **52.1** [Meteosat MSG | 2004], **53.2** [Meteosat MSG | 2004]: EUMETSAT • **54.1** [Sentinel-5P | 2023], **54.2** [Multisensor | January 2020], **55.3** [Multisensor | July 2020], **55.4a** [Sentinel-5P | January 2020], **55.4b** [Sentinel-5P | July 2020]: Copernicus Atmosphere Monitoring Service information • **55.5a** [Multisensor | October 1970], **55.5b** [Multisensor | October 1980], **55.5c** [Multisensor | October 1990], **55.5d** [Multisensor | October 2000], **55.5e** [Multisensor | October 2010]: Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store • **56.1:** W. Lauer, P. Frankenberg; USGS • **56.1, 56.1: 0** • **58.1** [Sentinel-3 | June 2023], **58.2** [Sentinel-3 | December 2023]: Copernicus Marine Service Information, provided by OCTAC/PML production centre • **58.3** [Sentinel-2 | 20.07.2019], **59.4** [Sentinel-3 | July 2018], **59.5** [Sentinel-3 | January 2018], **59.6a** [Sentinel-2 | 08.04.2023], **59.6b** [Sentinel-2 | 13.04.2023]: Copernicus • **60.1** [2019]: Copernicus Land Monitoring Service • **60.2** [Sentinel-2 | 08.09.2023], **60.3** [Sentinel-2 | 26.09.2023], **60.4** [Sentinel-2 | 20.09.2023], **60.5** [Sentinel-2 | 27.09.2023], **60.6** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **61.7** [Sentinel-2 | 08.09.2023], **61.8** [Sentinel-2 | 31.03.2023]: Copernicus • **61.9** [2024]: Our World in Data • **62.1** [Sentinel-2 | 10.09.2022], **62.2** [Sentinel-2 | 10.09.2022]: Copernicus • **62.3** [Landsat 5 | 17.10.1985]: USGS • **62.4:** ANE • **63.5** [Landsat 5 | 15.04.1985], **63.6** [Landsat 5 | 27.04.1995], **63.7** [Landsat 5 | 18.04.2015]: USGS • **63.8** [Sentinel-2 | 26.04.2023], **63.9** [Sentinel-2 | 26.04.2023]: Copernicus • **63.10:** U.S. Dept. Agriculture • **64.1** [Landsat 5 | 28.06.1991]: USGS • **64.2:** Bruno Kelly/Amazônia Real • **64.3:** INPE • **64.4** [Landsat 5 | 24.06.1984], **64.5** [Landsat 5 | 15.05.2010]: USGS • **64.6** [Sentinel-2 | 07.10.2023]: Copernicus • **65.7:** National Forestry Database • **65.8** [Sentinel-2 | 18.05.2023], **65.9** [Sentinel-2 | 07.06.2003], **65.10** [Sentinel-2 | 07.06.2003], **65.11** [Sentinel-2 | 07.06.2003]: Copernicus • **65.12:** Cameron Strandberg • **66.1** [Sentinel-2 | 29.04.2023]: Copernicus • **66.2** [2022]: FAO, The state of world fisheries and aquaculture 2022 • **66.3** [Sentinel-1 | 26.04.2023]: Copernicus • **66.4** [Landsat 5 | 05.05.2007], **66.5** [Landsat 5 | 17.05.1989]: USGS • **67.6** [Sentinel-2 | 24.04.2023], **67.7** [Sentinel-2 | 14.04.2023], **67.8** [Sentinel-2 | 24.04.2023], **67.9** [Sentinel-2 | 24.04.2023]: Copernicus • **67.10:** Powell.Ramsar • **67.11:** Bsmuc64ger • **67.12** [Sentinel-2 | July 2023]: Copernicus • **68.1:** Gridded Population of the World (GPW) v4; NASA/SEDAC • **68.2** [Sentinel-2 | 13.04.2024], **68.3** [Sentinel-2 | 18.04.2024], **69.4** [Sentinel-2 | 19.03.2024]: Copernicus • **69.6:** UNDESA, 2013 • **69.5a, 69.5b, 69.5c:** LivePopulation.com • **70.1** [Landsat 4 | 13.10.1984]: USGS • **70.2** [Sentinel-2 | 27.02.2023]: Copernicus • **70.3:** worldpopulationreview.com • **70.4** [2018]: UNDESA, World Urbanization Prospects 2018 • **70.5:** Noah Maxwell • **71.6:** Sinopitt Xu • **71.7** [2015]: UNDESA • **71.8** [Landsat 4 | 21.04.1987]: USGS • **71.9** [Sentinel-2 | 05.07.2023], **72.1** [Sentinel-2 | 23.07.2023]: Copernicus • **72.2:** ICAO, ACI/Moodie-Davitt-Report • **72.3:** Kulttuurinavigaattori • **72.4** [Landsat 5 | 18.09.2010]: USGS • **72.5** [Sentinel-2 | 24.07.2017], **72.6** [Sentinel-2 | 23.07.2023], **73.7** [Sentinel-2 | 29.03.2021], **73.8** [Sentinel-1 | 21.03.2021], **73.9** [Sentinel-1 | 27.03.2021]: Copernicus • **73.10:** Suez Canal Authority • **73.11:** Wolfgang Fricke • **73.12** [Sentinel-5P | 2023]: Copernicus (SSP-PAL; STAC?) • **74.1** [Landsat 5 | 15.07.2015], **74.2** [Landsat 5 | 27.07.2011]: USGS • **74.3** [Sentinel-2 | 26.07.2017], **74.4** [Sentinel-2 | 26.07.2017]: Copernicus • **74.5:** Fernanda Brandt • **75.6** [Sentinel-1 | 02.03.2024], **75.7** [Sentinel-2 | 07.07.2023], **75.8** [Sentinel-2 | 07.07.2023], **75.9** [Sentinel-2 | 27.05.2017], **75.10** [Sentinel-2 | 28.01.2024]: Copernicus • **75.11** [2024]: IRENA - International Renewable Energy Agency •
- Erläuterungen zu Bild- und Datenquellen:**
- 19.8** [Sentinel-1 | 23.03.2022]: Copernicus
- 19.8** Seitenzahl . fortlaufende Nummer der Abbildung [Satellit | Aufnahmedatum] .. falls es sich bei der Abbildung um ein Satellitenbild handelt, werden Satellit und Aufnahmedatum angegeben Copernicus Datenquelle/Bildnachweis Trennzeichen



Indekskarte

- Die Europäische Weltraumagentur
- Erdbeobachtung
- Lithosphäre
- Hydrosphäre
- Kryosphäre
- Atmosphäre
- Biosphäre
- Anthroposphäre

Karten, die ein großes Gebiet abdecken
 Karten, die ein kleines Gebiet abdecken

46.1

46

65

43.7

43

46.1

61.2

60.3

58.3

75

75

32

47

67.12

21.7

18/19/20

28

28.1

66.4

72

67

29

29.12

60.5

36

37

73

8.2

63

24.3

69.4

24.2

26

38

38.1

68.3

166

71

73.12

60.6

61.7

25.7

61.8

74

31

33

34

64

45.4

45.5

44.3

34