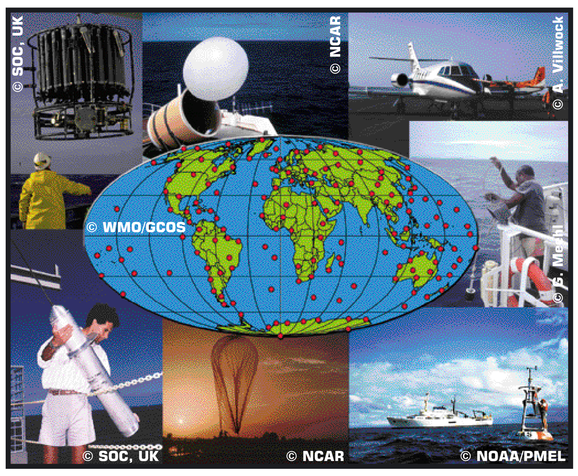
Die Werkzeuge der Klimaforschung

- Beobachtungsdaten und Modellierung -

Fernerkundung und 'klassische' Beobachtungsmethoden:

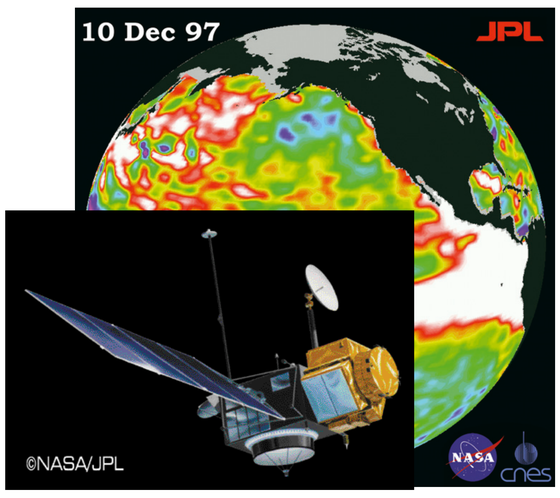
Daten für die Erforschung der Klimavariabilität, des Klimawandels und für Klimavorhersagen

Klassische "In situ" Messungen



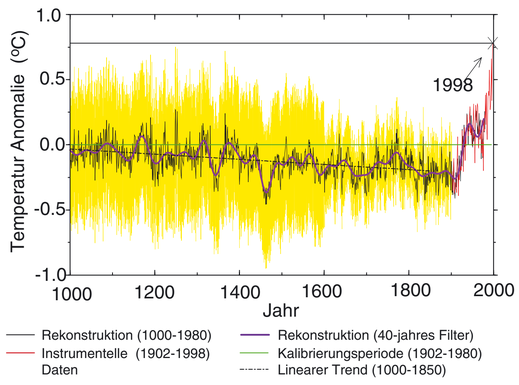
Klassische Meßmethoden in der Ozeanographie und Meteorologie stellen bis heute einen wesentlichen Teil der Beobachtungsdaten unseres Klimasystems bereit. **Oben links:** Gerät zur Wasserprobenentnahme, Temperatur- und Salzgehaltsmessung in verschiedenen Tiefen; **Oben Mitte:** automatischer Start einer Radiosonde; **Oben rechts:** Meßflugzeug zur Untersuchung von Wolkenstrukturen; **Mitte rechts:** "Klassische Messung der Wassertemperatur; **Unten links:** profilierende Meßsonde für Temperatur-, Salzgehalts- und Strömungsmessung im Ozean; **Unten Mitte:** Meßballon für Ozonmessungen in der Stratosphäre; **Unten rechts:** Ausbringen einer Verankerung im Zentralpazifik; **Mitte:** Globale Karte mit Klimastationen mit Radiosondenmessungen.

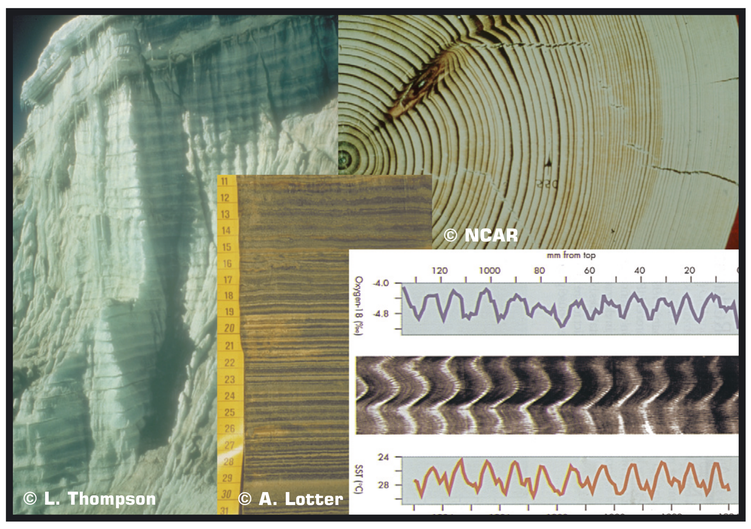
Fernerkundung mit Satelliten



In jüngerer Zeit ermöglichen Satellitenmessungen einen umfassenderen und detaillierteren Einblick in das Klimageschehen auf unserem Planeten. **Oben:** Anomalien Meeresspiegels im Pazifik gemessen vom TOPEX/POSEIDON Satelliten (**unten**) während des letzten El Niño am 10 Dezember 1997: **violett:** anomal niedriger Wasserstand, **rot** und **weiß:** anomal hoher Wasserstand, einhergehend mit anomal hohen Wassertemperaturen.

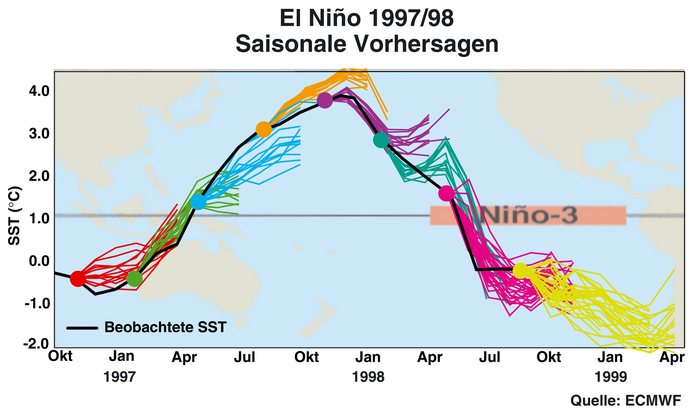
Paläoklimatologie: Was können wir aus der Klimageschichte lernen ?



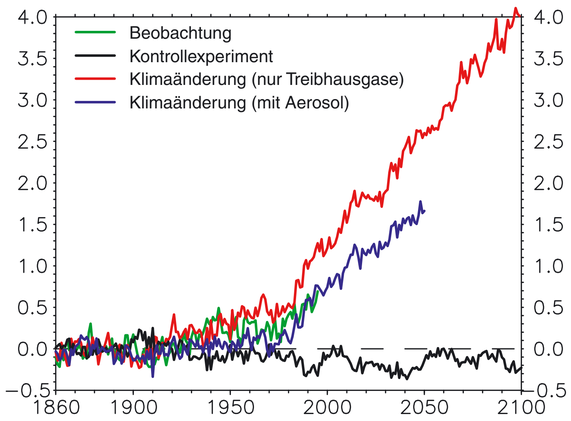


Beobachtete Abweichungen der Oberflächentemperaturen der Nordhemisphäre für die letzten 1000 Jahre. Die Daten vor 1900 (**schwarz** und **violett**) wurden aus verschiedenen Proxydaten abgeleitet, wie z.B. Eisbohrkernen, Baumringen, Korallen, etc. (siehe auch Fotos rechts). Instrumentelle Daten liegen erst seit etwa 100 Jahren mit hinreichender Genauigkeit vor. Die Zeitserie zeigt eine leichte Abkühlungstendenz für die ersten 900 Jahre, gefolgt von einer starken Erwärmung, die bis heute andauert und mit hoher Wahrscheinlichkeit den menschlichen Einfluß auf das Klima widerspiegelt. In **gelb** ist die Unsicherheit bei der Temperaturbestimmung angegeben.
Nach Mann et al., 1999, Geophys. Res. Lett., 26, 759.

Klimamodellierung - Synthese aus Beobachtungen und Simulationen



Ensemblevorhersagen der monatlich gemittelten Anomalien der Meeresoberflächentemperatur im tropischen Zentralpazifik (Niño-3 Gebiet). Die Vorhersagen wurden im Abstand von drei Monaten für einen Vorhersagezeitraum von 6 Monaten gestartet. Die **schwarze** Kurve zeigt die Beobachtung (vom ECMWF Seasonal Forecast Project).



Beobachtete (**grün**) und simulierte Entwicklung der Bodentemperaturanomalien aus drei Experimenten mit einem gekoppelten Klimamodell (ECHAM4/OPYC) (**schwarz**, **rot**, **blau**) für den Zeitraum 1860-2100 (soweit verfügbar). Die **schwarze** Kurve gibt das Modellergebnis ohne den Einfluß menschlicher Aktivitäten an (Kontroll-experiment), die **rote** Zeitserie berücksichtigt den Eintrag von Kohlendioxid und anderen Treib-hausgasen und die **grüne** zusätzlich den dämpfenden Einfluß atmosphärischen Aerosols.
Nach Roeckner, 2000.

Unsere Kenntnisse über das Klimasystem der Erde basieren auf Beobachtungen und Rechnungen mit Klimamodellen, die mit Beobachtungen getestet sind. Beide Werkzeuge sind das Grundgerüst der Klimaforschung.

Beobachtungsdaten werden benötigt, um:

a) natürliche Klimaschwankungen zu verstehen
b) Klimaschwankungen vorhersagen zu können
c) die vom Menschen verursachten Eingriffe in das Klimasystem zu verstehen und deren Folgen abzuschätzen
d) Modellstudien zu motivieren und
e) Eingangs- und Testdaten für Modellsimulationen bereitzustellen.

Dafür werden aktuelle Messungen wie auch historische Daten benötigt.

Ein globales **'in situ'** Meßnetz im Ozean, in der Atmosphäre und auf der Landoberfläche erfordert den Einsatz vielfältiger Messmethoden und Plattformen.
Vorteil: Sehr hohe Genauigkeit der Daten, lange Zeitserien.
Nachteil: Nur grobe räumliche Auflösung möglich, z.T. sehr aufwendige und teure Messungen.

Mit **Satelliten** sind wir heutzutage in der Lage, flächendekkend eine Vielzahl atmosphärischer Parameter, sowie wichtige Kenngrößen der Land- und Ozeanoberflächen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu ermitteln. Diese Messungen werden durch 'klassische' Beobachtungsverfahren (z.B. Wetterballone, Bodenbeobachtungen, ozeanographische Beobachtungen des oberen und tiefen Ozeans) ergänzt. Darüber hinaus erlauben diese eine Eichung der Satellitendaten.
Vorteil: Hohe räumliche und zeitliche Auflösung möglich.
Nachteil: "In situ" Vergleichsdaten sind notwendig, Messungen erst seit den 70er Jahren, z.T. sehr aufwendige und teure Instrumente mit begrenzter Lebensdauer.

Historische Daten können zum Beispiel aus Eisbohrkernen, Baumringen, Sedimenten und Korallen abgeleitet werden. Mit Hilfe dieser Daten ist es bereits gelungen, die Temperatur der letzten 1000 Jahre zu rekonstruieren.
Vorteil: Die natürliche Klimavariabilität in der Vergangenheit kann untersucht werden.
Nachteil: Die Daten können nicht so präzise wie instrumentelle Messungen sein.

Modellsimulationen

Da direkte Messungen von Klimaparametern erst seit etwa 100-150 Jahren zur Verfügung stehen (für die meisten physikalischen Größen erst seit einigen Jahrzehnten) und das Messnetz zeitlich wie räumlich sehr inhomogen ist, können **wissenschaftliche Untersuchungen** zur globalen Klimavariabilität nur mit Hilfe **globaler numerischer Modelle** durchgeführt werden. Vorhersagen des zukünftigen Klimas sind ohne diese numerischen Modelle überhaupt nicht möglich.

Für die Qualität und Aussagekraft der Modellergebnisse sind jedoch die Dichte und Güte der Beobachtungsdaten entscheidend.
Vorteil: Langzeitstudien mit homogenen und vollständigen Datensätzen möglich, Studium unterschiedlicher Klimaszenarien bei unterschiedlichen Randbedingungen, Vorhersagen des zukünftigen Klimas.
Nachteil: Hoher Rechenaufwand (Computerkapazitäten), Ungenauigkeiten in der Formulierung der Modelle schränken die Aussagen ein, wiederholter Vergleich mit Beobachtungsdaten ist notwendig.

Synthese (Daten + Modell)

Erst die Synthese aus Beobachtungsdaten und Modellsimulationen ermöglicht die Erforschung der komplexen Zusammenhänge in unserem Klimasystem und damit Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas.