

## Widersprüche zwischen Satellitendaten und bodennahen Temperaturmessungen sind weitgehend ausgeräumt

Auch die Erdatmosphäre erwärmt sich bis in ca. 10 km Höhe

**Eine der wichtigsten offenen Fragen in Bezug auf das Verständnis des Klimasystems scheint gelöst: Bisher zeigten die Auswertungen von Satelliten- und Radiosondenmessungen der letzten 25 Jahre nur einen geringen Temperaturanstieg in den untersten ca. 10 km der Erdatmosphäre. Dies stand im Widerspruch zu der starken Erwärmung in Bodennähe und zu den Berechnungen der Klimamodelle. Nun haben verschiedene kürzlich publizierte Arbeiten gezeigt, dass dieser Widerspruch weitgehend auf Probleme bei den Messungen bzw. deren Auswertung zurückgeführt werden kann. Nach der Berücksichtigung und der verbesserten Korrektur von Messfehlern zeigen nun die Messdaten ein mit den physikalischen Kenntnissen und den Klimamodellen weitgehend übereinstimmendes Bild: Die Temperaturen in den untersten ca. 10 km der Atmosphäre sind global in den letzten 25 Jahren ähnlich stark oder etwas stärker gestiegen als die in Bodennähe gemessenen, d.h. um knapp ein halbes Grad bzw. ca. 0.15 bis 0.2°C pro Jahrzehnt. Damit ist ein grosses Fragezeichen bezüglich der korrekten Wiedergabe von klimatischen Veränderungen durch die bestehenden Klimamodelle weitgehend verschwunden.**

Grundlegende physikalische Kenntnisse lassen erwarten, dass sich bei einer Erwärmung der Bodenoberfläche auch die unterste Atmosphärenschicht, d.h. die bis in ca. 10 km Höhe reichende sogenannte Troposphäre, erwärmt. Diese Erwärmung sollte sogar etwas grösser sein als in Bodennähe, insbesondere in den Tropen, wo ein starker vertikaler Luftaustausch stattfindet. Eine solche Erwärmung war auch in allen Berechnungen von Klimamodellen zu erkennen. Die Auswertung von Satelliten- und Radiosondenmessungen zeigten hingegen in der Zeit seit 1979 nur einen sehr geringen Temperaturanstieg in der unteren Troposphäre. Die Unterschiede zeigten sich vor allem in den Tropen, in den mittleren und hohen Breiten war die Übereinstimmung deutlich besser. Es stand also 2:2 : Physik und Klimamodelle gegen Satelliten und Radiosonden. Zugunsten der Messungen sprach vor allem die Übereinstimmung der unabhängigen Radiosonden- und Satellitendaten, Vorbehalte gegenüber diesen Daten gab es vor allem wegen der grossen Schwierigkeiten bei der

Auswertung. Gab es Fehler? Waren die Messdaten falsch? Oder stimmte etwas mit den Modellen nicht? Hatte man einen wichtigen physikalischen Prozess übersehen? Mit dieser Frage tat sich die Klimaforschung lange Zeit schwer. Kürzlich publizierte Forschungsarbeiten haben nun weitgehend Klarheit geschaffen: Die Auswertungen der Messdaten mussten korrigiert werden, der Erwartungswert der Modelle lag wohl richtig.

### Unsichere Messdaten

Die Berechnung der Temperaturentwicklung über Jahrzehnte aus Satellitenbeobachtungen und Radiosondenmessungen ist relativ schwierig. Dies hat mehrere Gründe:

- Die Satelliten-Messreihe muss aus Daten von verschiedenen Satelliten mit unterschiedlichen Messinstrumenten zusammengesetzt werden.
- Auch die Messinstrumente von Radiosonden sind sehr unterschiedlich, ebenso wie die Eichung der Instrumente und die Durchführung der Messungen über längere Zeit.
- Die Höhe der Satellitenflugbahn über der Erde nimmt langsam ab. Dadurch werden die Messdaten verändert.
- Der Zeitpunkt des täglichen Überflugs über einen bestimmten Messpunkt verändert sich langsam. Verschiebt sich die Überflugzeit beispielsweise langsam vom Tag gegen die Nacht, so werden in späteren Jahren kühlere Temperaturen gemessen, auch wenn sich die Temperaturverhältnisse gar nicht verändert haben.
- Der Temperaturfühler der Radiosonden wird tagsüber durch die Sonneneinstrahlung aufgeheizt.

Diese Probleme müssen bei der Datenauswertung so gut als möglich berücksichtigt werden. Dabei werden von den verschiedenen Forschungsgruppen unterschiedliche Methoden verwendet.

### Irrtum bei Auswertung der Satellitendaten entdeckt

Über längere Zeit waren die Auswertungen an der Universität von Alabama (UAH) durch Roy Spencer und John Christy die einzige Referenz. Sie zeigten für die Troposphäre praktisch keine Erwärmung. Dies führte dazu, dass diese Gruppe die globale Erwärmung in Frage

stellte. In den letzten Jahren haben dann mehrere andere Gruppen die Daten mit anderen Methoden ausgewertet und sind zu ganz anderen Resultaten gekommen: Zuerst die Gruppe von Remote Sensing Systems (RSS) um Carl Mears und Frank Wentz, später dann Qiang Fu und Kollegen von der U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Intensiv wurde in den letzten beiden Jahren nach Gründen für diese Unterschiede gesucht. Kürzlich wurde man nun mindestens teilweise fündig: Spencer und Christy hatten bei der Korrektur der Überflugszeiten die Temperatur irrtümlich statt nach oben nach unten korrigiert. Dieser Irrtum wirkte sich vor allem in den Tropen, dort wo die grössten Unterschiede bestanden, stark aus. Nach der richtigen Korrektur war nun auch in den Daten von Spencer und Christy eine Erwärmung der tropischen Troposphäre zu erkennen. Auch der globale Trend lag nun um rund die Hälfte höher als vorher. Immer noch bestehen jedoch Unterschiede der Spencer/Christy-Daten zu den anderen beiden Gruppen. Diese Unterschiede treten jedoch fast ausschliesslich in den ersten 4 Jahren der Messreihe (1979-1982) auf.

### **Nun viel bessere Übereinstimmung**

In den aktuellen Trendberechnungen zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung der Messdaten mit den Modellvorhersagen: Mit jeweils 0.19°C pro Dekade liegen die Trends der RSS- und NOAA-Gruppen leicht über dem Trend von 0.17°C in Bodennähe. Etwas tiefer liegt der allerdings immer noch mit Fragezeichen behaftete Trend von Spencer und Christy mit 0.12°C pro Dekade. In Anbetracht der immer noch beträchtlichen Unsicherheiten dieser Trends, die mit  $\pm 0.09^\circ$  angegeben werden, kann jedoch nicht mehr von einem Widerspruch zwischen Messungen und Modellrechnungen gesprochen werden. Auch ist nun einhellig eine signifikante Erwärmung der Troposphäre zu erkennen.

### **Auch Radiosonden-Daten enthalten unkorrigierte Messfehler**

Bleibt noch die Frage der Radiosondendaten, die ja eine recht gute Übereinstimmung mit den ursprünglichen Satellitendaten von Spencer und Christy zeigten. Eine ebenfalls kürzlich publizierte Arbeit präsentiert mehrere Hinweise darauf, dass auch die Radiosondendaten vor allem in den Tropen einen zu kleinen Trend anzeigen. Steven Sherwood und Kollegen zeigen auf, dass die über die Jahre zunehmende Korrektur der Aufheizung der Temperatursonde durch Sonneneinstrahlung wahrscheinlich zu einem imaginären Abkühlungstrend geführt haben. Das heisst, in früheren Jahren wurden zu warme Werte gemessen, während die heutigen Daten eher die korrekten Temperaturen anzeigen. Es gibt mehrere Gründe für diese Annahme:

- die während der Nacht gemessenen Temperaturen, die keine Sonnen-Aufheizung aufweisen, haben viel stärker zugenommen als die tagsüber gemessenen Werte. Dieser Unterschied kann physikalisch nicht erklärt werden.
- Die Unterschiede zwischen Tag und Nacht-Trends sind dort am grössten, wo auch die grössten Differenzen zu den Boden- und Modelldaten vorhanden sind, d.h. vor allem in den Tropen.

### **Kontakte aus der Forschung:**

#### Satellitenmessungen:

Prof. Eberhard Parlow, Inst. Für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung Universität Basel, Klingelbergstr. 27, 4056 Basel. Tel. 061 267 07 01, e-mail: eberhard.parlow@unibas.ch.

#### Radiosonden:

Pierre Jeannet, Station Aérologique Payerne, MeteoSchweiz, Les Invuardes, 1530 Payerne, Tel. 026 662 62 46, e-mail: pierre.jeannet@meteoswiss.ch

### **Weitere Informationen:**

Allgemeine Informationen, Daten, Grafiken (englisch): [http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_temperature\\_record](http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_temperature_record)

#### Detailliertere Erklärungen (englisch):

[www.realclimate.org/index.php?p=170](http://www.realclimate.org/index.php?p=170)  
[www.realclimate.org/index.php?p=179](http://www.realclimate.org/index.php?p=179)

#### Originalartikel (englisch, [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)):

Mears and Wentz, Science 309: 1548-1551 (Korrektur der täglichen Satelliten-Überflugszeit).  
Santer et al., Science 309: 1551-1556 (Temperaturen in der tropischen Troposphäre).  
Sherwood et al., Science 309: 1556-1559 (Korrektur der Radiosondendaten).

- In der nächsthöheren Atmosphärenschicht, der Stratosphäre, stimmen Satellitenmessungen und Modellrechnungen gut überein. Auch hier weisen jedoch die Radiosondendaten einen negativeren Trend im Vergleich zu den anderen Auswertungen auf.

Allein der aufgrund dieser Tag-/Nacht-Unterschiede abgeschätzte Fehler kann die Diskrepanz der Radiosonden-Trends zur Erwärmung in Bodennähe und in Modellen praktisch vollständig erklären. Der Schluss ist deshalb nahe liegend, dass die ursprünglichen Auswertungen sowohl von Satelliten- als auch der Radiosondendaten einen oder mehrere Fehler enthalten haben, die zufällig zu einem ähnlichen Resultat geführt haben. Das Problem der nötigen Korrekturen der Sondendaten, bevor diese für Trendanalysen benutzt werden können, ist grundsätzlich schon lange bekannt. Die Bearbeitung dieser Datenreihen ist jedoch sehr aufwendig, da sie für jeden der vielen Sondentypen separat erfolgen muss.

### **Abkühlung der Stratosphäre unbestritten**

Die nächsthöhere Atmosphärenschicht, die Stratosphäre oder auch Ozonschicht, hat sich hingegen in den letzten Jahrzehnten deutlich abgekühlt. Darin stimmen sowohl Satellitenmessungen, Klimamodelle als auch theoretische physikalische Überlegungen schon seit langem überein. Sowohl die nun mehr oder weniger übereinstimmend gefundene Erwärmung der Troposphäre als auch die Abkühlung der Stratosphäre entsprechen genau dem Bild, das aufgrund des erhöhten Treibhauseffektes und des Ozonlochs zu erwarten ist.