

---

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Einführung

Einer in Zukunft positiven Entwicklung der Menschheit stehen mindestens drei ernsthafte Probleme entgegen: eine rapide zunehmende Bevölkerung der Erde, eine Verknappung wichtiger Rohstoffe und schnelle Änderungen des terrestrischen Klimas. Um zu einem Urteil zu gelangen, ob diese »Probleme« tatsächlich echte Gefahren für die Menschheit darstellen, bedarf es aber einer Quantifizierung des gegenwärtigen und des für die Zukunft prognostizierten Zustands. Dabei ist der erste Teil dieser Aufgabe, den gegenwärtigen Zustand mit Zahlen zu belegen, wesentlich einfacher zu lösen als der zweite, nämlich die zukünftige Entwicklung in Zahlen gefasst vorherzusagen.

Wir möchten an dieser Stelle zur Diskussion über unser Klima beitragen, uns jedoch quantitativer Aussagen über die Zukunft enthalten. Vielmehr werden wir die Vergangenheit stark in unsere Betrachtungen einbeziehen, in der ja vielfältige Beobachtungen über den Zustand der terrestrischen Atmosphäre gemacht wurden. Es sind solche Beobachtungen, die uns recht direkt zeigen, dass es eine Reihe atmosphärischer Parameter gibt, die sich im Verlauf der letzten 100 Jahre und besonders der letzten 40 Jahre rapide (gemessen an geophysikalischen Zeitskalen) geändert haben. Die Ursachen dieser Änderungen können vielfältig und komplex sein. Sie lassen sich nicht erraten oder durch simple Analog-Schlüsse erschließen. Eine Identifikation der Ursachen dieser Änderungen ist nur durch das Simulieren dieser Beobachtungen in großen numerischen Modellen der Atmosphäre möglich, die auf Großrechnern laufen. Diese Modelle enthalten in bestmöglicher Form unsere gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisse über die vielen in der Atmosphäre gleichzeitig ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse. Wenn wir an dieser Stelle von Ursachen-Erforschung sprechen, so beschränken wir uns dabei im Wesentlichen auf eine Prüfung der internen Konsistenz der beobachteten Daten (mittels der Rechner-Simulationen). Eine solche Prüfung erlaubt uns z.B. die Aussage, dass einige der beobachteten Änderungen der Lufttemperatur quantitativ durch die beobachteten Änderungen der Häufigkeiten bestimmter Spurengase in unsere Atmosphäre erklärt werden können. Damit kommen wir, wegen der immensen Bedeutung der Lufttemperatur für das Klima und den gesamten Wasserhaushalt unserer Atmosphäre, schon einen wichtigen Schritt voran auf dem Wege zu einem vollständigeren Verständnis unserer Atmosphäre. Wir benutzen hier die numerischen Atmosphären-Modelle primär zur quantitativen Identifikation der ablaufenden Pro-

---

zesse, nicht zur Vorhersage des Trendverhaltens der Spurengase! Kein Wissenschaftler erhebt den Anspruch, dass die Ergebnisse dieser Simulations-Rechnungen »wahr« sind. Wir erheben aber den Anspruch darauf, dass sie der Wahrheit quantitativ viel, viel näher kommen als die Aussagen und Urteile von einer Unzahl von Laien, die wir fast täglich in unseren Zeitungen und Fernsehsendungen kolportiert finden.

Die öffentliche Diskussion über das Klima und seine zukünftige Entwicklung beschränkt sich weitgehend auf die Temperaturen und das Wetter in den *untersten* Kilometern unserer Atmosphäre. Für einen Physiker ist die dort bisher eingetretene mittlere globale Temperaturerhöhung jedoch klein – jedenfalls wenn man sie auf der Basis absoluter Temperaturen ausdrückt: wir reden von weniger als 1 K Erhöhung in 100 Jahren bei einer mittleren Temperatur von etwa 285 K, also weniger als 0,4% Erhöhung! Und weil so gesehen der Effekt doch recht klein ist, lässt sich über die Ursache für diesen Temperaturanstieg in der Öffentlichkeit trefflich streiten oder, was noch interessanter wirkt, ein Anstieg der Temperatur ganz leugnen. In dieser Situation kann ein Blick in die obere Atmosphäre erheblich helfen, unser Verständnis der ablaufenden Prozesse zu verbessern. Denn »dort oben« können wir sehr viel deutlicher als nahe der Erdoberfläche den großen Einfluss des Kohlendioxids und des Ozons auf die thermische Struktur der Atmosphäre beobachten und analysieren. Welcher Höhenbereich mit »oberer« Atmosphäre gemeint ist, ist bis heute in der Wissenschaft nicht eindeutig definiert. Viele Meteorologen verstehen darunter die Atmosphäre oberhalb der Tropopause (etwa 10 km Höhe), viele Geophysiker jedoch die Atmosphäre oberhalb der Mesopause (etwa 100 km Höhe). Wir wollen hier keine eigene, neue Definition für die obere Atmosphäre lancieren, sondern hauptsächlich über Beobachtungen aus dem Höhenbereich 50 bis 500 km berichten. Damit lehnen wir uns, aus praktischen Gründen, eher an den Sprachgebrauch der Meteorologen an.

Es kann nicht unser Ziel sein, hier die längerfristigen Änderungen aller sog. Klima-Elemente, wie z.B. Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Wind, Niederschlag, Verdunstung, oder Ein- und Ausstrahlung, zu diskutieren. Unter diesen ist eins der wichtigsten Elemente sicher die Lufttemperatur, auf deren Untersuchung wir uns im Folgenden konzentrieren werden. Allerdings sind in der oberen Atmosphäre Temperaturen meist schwierig direkt messbar. Alternativ können Lufttemperaturen jedoch gut aus einem gemessenen Profil (= vertikaler Verlauf) der Luftdichte berechnet werden. Wir werden daher vielfach auch Messungen von Luftdichteprofilen in unsere Analysen einbeziehen.