

Das Programm Atmosphäre und Klima im Forschungszentrum Karlsruhe

F. Fiedler, ATMO

Die Forschung, die sich mit der Atmosphäre und ihrem langzeitigen Klimaverhalten befasst, folgt im Wesentlichen seit ihren Anfängen relativ einfachen, dennoch unumgänglich notwendigen Vorgaben:

- Sie will erarbeiten, wie die physikalischen Größen, beispielsweise Temperatur, Feuchte, Niederschlag, Wind, Energie und Strahlung sowie die chemischen Größen, wie beispielsweise die Konzentration von Aerosolen, und Ozon zusammen mit einer fast nicht endenden Liste von Spurenstoffen, in regionalen Bereichen und im globalen Maßstab in der Atmosphäre verteilt sind.
- Sie will aufdecken und verstehen lernen, wie die Atmosphäre funktioniert, um die Frage beantworten zu können, wann und wo sich ein Tiefdruckgebiet eventuell sogar mit verheerenden Auswirkungen infolge von Sturm und Starkniederschlägen ausbildet. Sie will die Gesetzmäßigkeiten turbulenter Strömung, von hochreichender Konvektion, der Wolkenbildung, der Absorption von Strahlung an Aerosolen, Tröpfchen und Gasen erarbeiten.
- Sie will in quantitativer Weise mit Hilfe der physikalischen und chemischen Gesetze erklären, wie die beobachteten Verteilungen zustande kommen und welche der in großer Zahl gleichzeitig nebeneinander ablaufenden Prozesse unter stetig variablen Bedingungen dafür verantwortlich sind.
- Bei hinreichendem Verständnis über das natürlich ablaufende System ist die dringende Frage zu beantworten, wo und auf welche Weise die rasch anwachsende Weltbevölkerung bei der

Schaffung der Nahrungsgrundlagen und infolge der Inanspruchnahme von Ressourcen für Wohlstand und Mobilität bereits so stark in das System eingreift, dass Veränderungen lokal, regional und sogar global daraus resultieren. Diese Veränderungen wirken wiederum in besorgniserregender Weise auf die Bedingungen zur Schaffung der Nahrungsgrundlagen und auf die soziologischen Bereiche zurück.

Trotz aller enormen Erfolge, auf die die Atmosphärenforschung der letzten 50 Jahre mit Stolz zurückschauen kann, bestehen nach wie vor auf allen Feldern noch große Defizite. Es ist zu wenig und zu ungenau bekannt, wie die einzelnen Variablen in der Atmosphäre von bodennahen Schichten bis in die Stratosphäre hinein verteilt sind. Hierfür liegen weder für alle Substanzen hinreichend genaue und hinreichend die Vorgänge in Raum und Zeit auflösende Messgeräte vor, noch stehen Messungen von den gewünschten Größen über einen längeren Zeitraum zur Verfügung, anhand derer eine verlässliche Beurteilung des Geschehens in der Atmosphäre möglich wird. Die bisherigen Erkenntnisse stellen in weiten Bereichen nur einen groben Abklatsch des tatsächlichen Geschehens dar. Das bisherige Verständnis und damit vor allem die mathematisch-physikalische Beschreibung von zahlreichen Prozessen wie beispielsweise das Zusammenspiel von Aerosolen, Feuchte und chemischen gasförmigen Stoffen oder die Tröpfchenbildung in Wolken bis hin zur Entstehung von Niederschlägen, die Entstehung von hochreichender Konvektion über bergiger Landschaft und die Dynamik der

Atmosphäre im globalen Maßstab reicht nicht aus, um Antworten auf alle wichtigen Fragen mit der erforderlichen Verlässlichkeit zu geben.

Dies ist umso schwieriger zu erreichen, als die Atmosphäre eine extrem hohe Variabilität sowohl zeitlich wie auch räumlich besitzt. Daher sind Messungen nur an einem Ort oder nur in einem relativ kurzen Zeitintervall bei weitem nicht ausreichend, um allgemein gültige Zusammenhänge daraus ableiten zu können. Viele typische Strukturen, wie beispielsweise ein Tiefdruckgebiet, besitzen eine horizontale Ausdehnung von rund 1000 km. Um es in seinem Grundmuster und in seiner Wirkung für Energie-, Feuchte- und Stofftransporte erfassen zu können, sind weit ausgedehnte Messungen erforderlich. Zusätzlich gleichen sich kaum zwei aufeinanderfolgende Tiefdruckgebiete. Daher ergibt die Analyse über ein ganzes Ensemble von Tiefdruckgebieten erst ein deutliches Bild der mit ihnen verbundenen Energie- und Feuchtetransporte innerhalb des gesamten atmosphärischen Systems.

Innerhalb des Programms Atmosphäre und Klima (ATMO) werden große Anstrengungen unternommen, um die noch bestehenden Lücken im Verständnis der Prozesse und in der Kenntnis der globalen und regionalen Verteilung von Feldgrößen zu verkleinern. Hierzu gehören Geräteentwicklungen, um die Güte und Vollständigkeit der Messungen in Bezug auf Anzahl der bisher verfügbaren Variablen zu erhöhen und auch in Bezug auf die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit zu verbessern.

Wegen der großen Spannweite der auftretenden Prozesse, die vom kleinsten Tropfenwachstum bis zur

erdumspannenden Zirkulation reicht, sind Messplattformen aller Art notwendig, um ein hinreichend genaues und ein hinreichend vollständiges Bild von den Vorgängen zu erhalten.

Herausragend für die Schaffung eines klareren Bildes der globalen Verteilungen von solchen Substanzen, die mit dem schützenden Ozonschild der Atmosphäre im starken Zusammenhang stehen, sind die mit dem Michelson-Interferometer (MIPAS) von Flugzeugen, von hochfliegenden Ballons und vom Satelliten aus erfassten Verteilungen einer größeren Zahl von Substanzen. So ist MIPAS eines der zentralen Instrumente auf dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT. Der besondere Vorteil dieser Messungen vom Satelliten aus besteht darin, dass sie gleichzeitig und weltumspannend über eine längere Zeit durchgeführt werden können, um neben der räumlichen Variabilität auch Trends aufdecken zu können.

Neben den Langzeitbeobachtungen vom Satelliten aus sind Messungen in allen Höhenbereichen der Atmosphäre erforderlich, die den zeitlichen Ablauf von Prozessen, von ihrer Entstehung bis zu ihrer Dissipation, in den entsprechenden Zeitspannen auflösen. Hierzu werden aufwendige Geräteentwicklungen vorangetrieben, um Turbulenz, das Strömungsfeld innerhalb der einzelnen Strukturen, die damit verbundene Energie-, Feuchte- und Stofftransporte unter schwierigen Messbedingungen zu quantifizieren. Einen hohen Stellenwert besitzen indirekte Messverfahren wie Radarmessgeräte zur Erfassung wolkenphysikalischer Parameter und des Niederschlags und andere sehr aufwendige Fernerkundungsverfahren,

bei denen die Ausbreitung von Schallwellen und elektromagnetischen Wellen als Messsignal verwendet werden. Diese Messgeräte werden in Flugzeugen mit dem entsprechenden Flugpotential in verschiedenen Höhenschichten der Atmosphäre, von der atmosphärischen Grenzschicht bis in die untere Stratosphäre eingesetzt.

Die mit diesen Geräten, unter Ausnutzung relativ komplizierter Zusammenhänge zwischen dem gewünschten Parameter und der vom Gerät erfassten Größen, gewonnenen Messdaten erfordern die Erarbeitung angepasster Auswertelgorithmen, die von relativ einfachen Eichungen bis zu aufwendigen Computerberechnungen reichen.

Die umfassendste und konzentrierteste Integration des gesamten Wissens stellen Simulationsmodelle für die Atmosphäre dar. Hierbei ist es erforderlich wegen des großen Aufwands und der Vielzahl von Prozessen und Wechselwirkungen zwischen den Prozessen zunächst Module für Teilbereiche aufzubauen, die beispielsweise das physikalische und chemische Verhalten von Aerosolen, die chemischen Reaktionen zwischen einer großen Zahl von lediglich in Spuren in der Atmosphäre auftretenden Substanzen, das Tropfenwachstum und die Wolkenbildung, die turbulente Grenzschichtentwicklung bis hin zu den globalen Transporten in der Stratosphäre beschreiben können.

In ATMO werden nicht nur die mathematisch-physikalischen Beschreibungen für solche Modelle erweitert, sondern auch an zahlreichen Problemen der numerischen Verfahren zur Lösung dieser Gleichungen

gearbeitet. Schließlich wird nach dem jeweiligen Entwicklungsstand der Modelle, angepasst an die Situationen, die den großen Feldmessprogrammen zugrunde liegen, eine Gesamtschau in Form von Energie- Wasser- und Stoffhaushalten berechnet. Aus dem Wechselspiel zwischen Feldmessungen und zugehörigen Modellrechnungen wird der Wissensstand sukzessive erweitert. In dieser Richtung stehen die am Erdboden ablaufenden Prozesse wie die Speicherung von Wasser im Boden, die Energie-, Wasserdampf-(Verdunstung) und Stofftransporte zwischen Boden und Atmosphäre, die Ausbildung von hochreichender Konvektion, die Erfassung der Vertikalverteilung von Substanzen vom Boden bis in die Stratosphäre hinein, die Austauschvorgänge im Bereich zwischen Troposphäre und Stratosphäre sowie die Beobachtung von langzeitigen Trends im Vordergrund.

Somit dienen die Forschungsarbeiten der heute besonders wichtigen Aufgabe des nachhaltigen Klimaschutzes. Dringend geforderte Entscheidungen auf der politischen Ebene setzen eine sichere Basis der Kenntnisse über die Zusammenhänge im globalen Klimasystem wie auch im regionalen Bereich, besonders in den bevölkerungsdichten „Megacities“ voraus. Eine besondere Herausforderung stellt die Trennung zwischen den natürlichen Fluktuationen auf langzeitigen wie auch kurzzeitigen Zeitskalen von den vom Menschen verursachten Veränderungen dar. Hier steht die Forschung aufgrund der immensen inhärenten Variabilität der Atmosphäre und des gesamten Klimasystems großen Herausforderungen gegenüber.