Akustische Tomographie in der Atmosphäre

Astrid Ziemann, Institut für Meteorologie, Universität Leipzig (ziemann@uni-leipzig.de)

1. Hintergrund

Atmosphärenmodelle werden in immer größerem Umfang für verschiedenste Fragestellungen der Grundlagenforschung und im anwenderorientierten Bereich eingesetzt. Die Resultate der numerischen Simulationen liegen bei zwei- oder dreidimensionalen Modellen entsprechend der notwendigen Diskretisierung des verwendeten Gleichungssystems in Form von räumlich gemittelten (Flächen- oder Volumenmittel) meteorologischen Feldgrößen vor. Um die Anwendungsgrenzen der Modelle und darin enthaltener Parametrisierungen abzuschätzen, sind Messdaten in einem zu Modelldaten konsistenten Format erforderlich.

Zur Lösung dieses Problems werden räumlich und zeitlich hoch aufgelöste meteorologische Daten benötigt. Einerseits können von konventionellen Punktmessungen zeitlich hoch aufgelöste Informationen gewonnen werden, eine fehlerfreie Informationsübertragung auf größere Gebiete ist jedoch aufgrund der Wechselwirkung von Prozessen unterschiedlicher raum-zeitlicher Skalen nicht möglich. Satellitengestützte Fernerkundungsverfahren liefern andererseits räumlich aufgelöste Daten, sind jedoch meist in ihrer zeitlichen Auflösung begrenzt (z.B. LANDSAT-Daten mit ca. 50 m Auflösung, aber wenigen Aufnahmen pro Jahr).

Ein neuer Weg, die gesuchten meteorologischen Größen in der benötigten räumlichen und zeitlichen Auflösung direkt zu erhalten, ist die Anwendung eines bodengebundenen akustischen Fernmessverfahrens.

2. Methode

Akustische Fernmessverfahren, z.B. das dem RADAR ähnliche SODAR (Sonic Detection And Ranging), wenden aktiv ausgesendete Schallwellen und ihre Wechselwirkung mit der Atmosphäre zur Sondierung an. Hierbei wird die bekannte Tatsache genutzt, dass sich die raum-zeitlich variablen meteorologischen Größen auf verschiedene Schallausbreitungsparameter auswirken.

Bisher wurden meist vertikale Sondierungsverfahren eingesetzt, um die höhenabhängige Atmosphärenstruktur zu untersuchen. Für die Bereitstellung der gesuchten Flächen- bzw. Volumenmittelwerte meteorologischer Größen wird jedoch ein eher horizontal sondierendes Fernmessverfahren benötigt. Dieses Verfahren wurde aus der Kombination einer tomographischen Aufzeichnung von Schallausbreitungsparametern mit einem speziellen Auswertungsalgorithmus in der Akustischen Laufzeittomographie gefunden.

Erste theoretische Arbeiten auf dem Gebiet der Tomographie wurden von dem Mathematiker Radon bereits 1917 publiziert (Ber. Sächs. Akad. Wiss. 69). Als Messschemata mit einem besonderen Analysealgorithmus werden tomographische Verfahren inzwischen seit über zwanzig Jahren in Medizin und Geophysik nahezu routinemäßig genutzt. Für verschiedene Untersuchungen der bodennahen Atmosphäre wird die Akustische Laufzeittomographie jedoch erst seit wenigen Jahren angewendet.

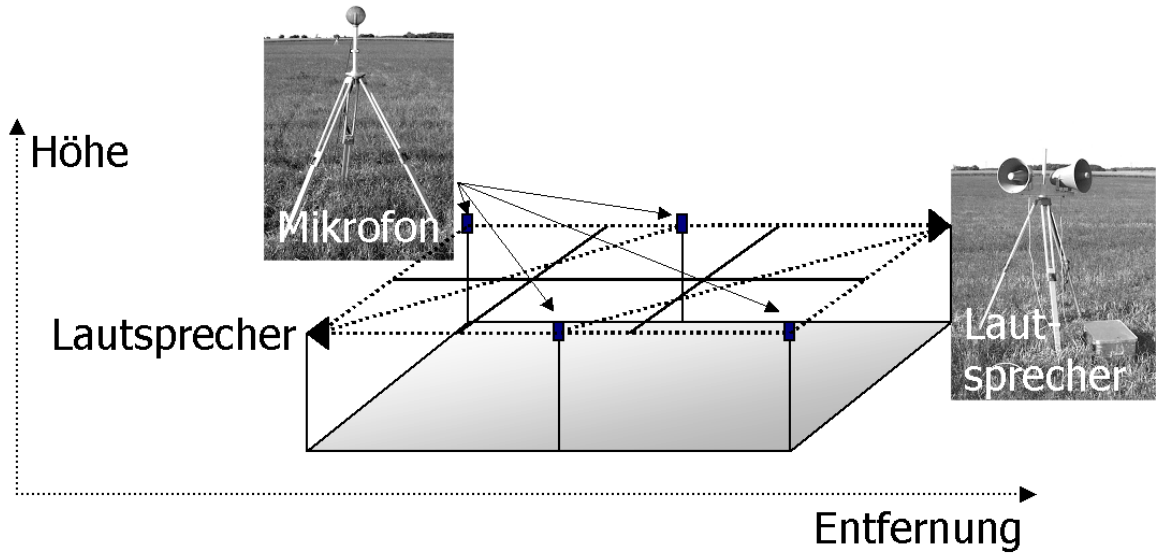

Abb. 1: *Schematische Darstellung des Verfahrens der Akustischen Laufzeittomographie. Über die Aufzeichnung der Laufzeit von Schallwellen entlang der Schallausbreitungswege (gestrichelte Linien) zwischen Druckkammerlautsprechern und Mikrofonen (mit Windschutz) kann auf die meteorologischen Größen Temperatur und Windvektor in räumlich aufgelöster Form (Gitterzellen, durchgezogene Linien) geschlossen werden. Fotos: Klaus Arnold (Leipzig) während der STINHO-2-Messkampagne 2002.*

Werden mehrere Schallausbreitungsstrecken in einem Gelände aufgebaut, dann können über die tomographische Auswertung aller aufgezeichneten Schallparameter zwischen verschiedenen Sende- und Empfangspunkten Informationen über den Zustand der sondierten Luftschicht abgeleitet werden. Die Schallgeschwindigkeit und somit die Schalllaufzeit sind sowohl von der Lufttemperatur als auch vom Windvektor abhängig. Demzufolge liefert die Methode der Akustischen Laufzeittomographie, ausgehend von Laufzeitmessungen akustischer Signale zwischen Sendern und Empfängern, ein Schnittbild des räumlich aufgelösten Temperatur- und Windfeldes in einer Atmosphärenschicht.

3. Anwendungen und Ergebnisse

Das Messsystem sowie der Auswertungsalgorithmus wurden in den vergangenen Jahren bei mehreren Feldexperimenten eingesetzt. Diese Sensitivitätsstudien haben gezeigt, dass mit dem Verfahren der Akustischen Laufzeittomographie meteorologische Größen, wie die Lufttemperatur oder die Windgeschwindigkeit, mit einer Genauigkeit bestimmt werden können, die mindestens der anderer Fernerkundungsverfahren entspricht.

Die akustische Laufzeittomographie bietet die Möglichkeit, eine natürliche Oberfläche mit einer horizontalen Ausdehnung von bis zu 500×500 m² in einer Auflösung bis zu einigen Dekametern hinsichtlich des Inhomogenitätsgrades der meteorologischen Felder zu charakterisieren. Inwieweit diese für mitteleuropäische Landschaften charakteristische Variabilität von Oberflächeneigenschaften (z.B. Vegetations- und Bodenarten) unterschiedlicher Skalenbereiche in den Energietransportgrößen festgestellt werden kann und damit für Wetter- und Klimamodelle parametrisiert werden muss, ist zur Zeit noch weitgehend ungeklärt.

Im Rahmen des AFO-2000-Verbundprojektes VERTIKO (Vertikaltransporte von Energie und Spurenstoffen an Ankerstationen und ihre räumliche/zeitliche Extrapolation unter komplexen natürlichen Bedingungen) wurde zur Untersuchung dieser Fragestellung die Messkampagne STINHO-2 (Struktur des turbulenten Transports über inhomogener Unterlage) auf dem Gelände des Grenzschichtmessfeldes Falkenberg (Meteorologisches Observatorium Lindenberg, DWD) durchgeführt. Das Messfeld der Akustischen Tomographie hatte eine Ausdehnung von 300×440 m² und erstreckte sich hauptsächlich über einer Grasfläche und nur zu einem geringen Teil über einer Ackerfläche. Die in der Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse zeigen die geringen Auswirkungen der kleinräumigen Oberflächenheterogenität auf das Temperatur- und Windregime in 2 m Höhe unter den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen bei gleichzeitig großen räumlichen Unterschieden in den thermischen Unterlageneigenschaften (Oberflächentemperatur).

Mit Hilfe der flächenhaften Informationen aus den Tomographiemessungen können Aussagen zur räumlichen Repräsentativität von Punktmessungen der Energietransportgrößen über heterogenen Oberflächen getroffen werden. Darüber hinaus liefert die tomographische Methode Vergleichsdaten zu den Ausgabewerten mikroskaliger numerischer Atmosphärenmodelle (z.B. Large-Eddy Simulationsmodelle).

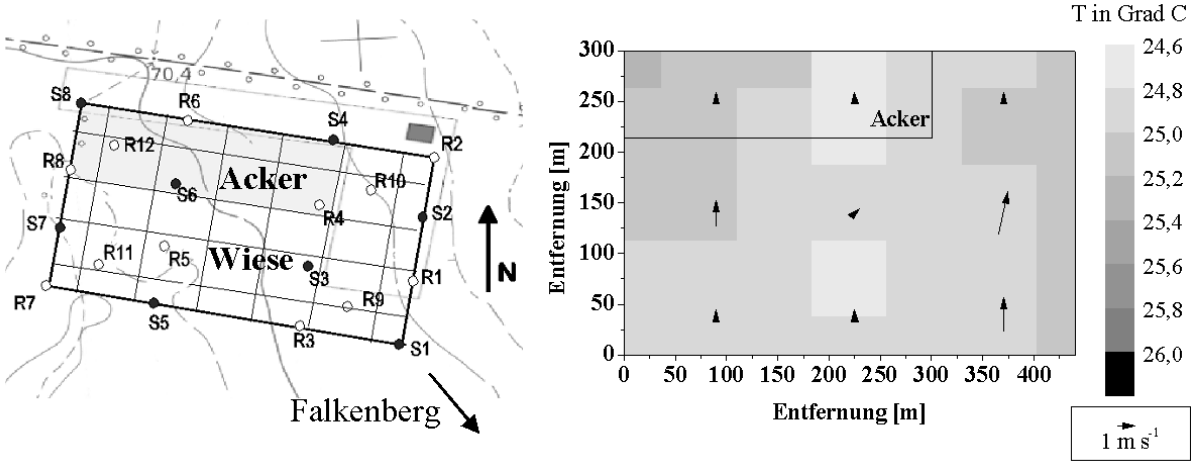

Abb. 2: *Messgebiet der Akustischen Tomographie mit 8 Sendern (S*) und 12 Empfängern (R*) während STINHO-2 und Horizontalschnittbild durch das Temperatur- und Windfeldfeld in 2 m Höhe über Grund am 06.07.2002, 10:30 UTC (10-min-Mittelwert). Kartengrundlage: Landesvermessungsamt Brandenburg.*

Weitere Informationen im Internet:
http://www.uni-leipzig.de/~meteo/FORSCHUNG/aku/akuindex.html