



***IfT - Profil***







## Einleitung und Übersicht

Auf dem ehemaligen Akademiegelände in der Permoserstraße, in guter Nachbarschaft zum Umweltforschungszentrum, anderen Forschungseinrichtungen und verwandten Firmen befindet sich seit 1992 das Institut für Troposphärenforschung e.V. (Mitglied der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz). Gegründet wurde es zur Erforschung physikalischer und chemischer Prozesse der belasteten Troposphäre, also etwa der ersten zehn Höhenkilometer über dem Meeresspiegel.



**Abb. 1:** IFT Hauptgebäude.

Inzwischen hat sich ein klares und weltweit einzigartiges Forschungsprofil herausgebildet, in dessen Mittelpunkt Aerosole, also kleinste luftgetragene Partikel und Wolken, stehen. Trotz kleinster absoluter Mengen sind diese wesentliche Bestandteile der Atmosphäre, weil sie den Energie-, Wasser- und Spurenstoffhaushalt des Erdsystems mitbestimmen. Das Forschungsinteresse an diesen hochdispersen Systemen entzündet sich vor allem an deren möglicher Beeinflussung durch menschliche Aktivitäten. Diese Systemveränderungen wirken nicht nur über regionale und globale Klimaänderungen auf den Menschen zurück, sondern auch direkt über gesundheitliche Wirkungen eingeatmeter Dunstpartikel und Nebeltröpfchen.

Trotz dieser wichtigen Beziehungen zwischen Mensch, Aerosolen und Wolken sind die physikochemischen Prozesse von Aerosol- und Wolkenbildung und die Wechselwirkungen mit Gesundheit und Klima noch wenig verstanden. Dies liegt vor allem an analytischen Schwierigkeiten der beteiligten klein-



sten Stoffmengen und an dem komplexen Verhalten troposphärischer Mehrphasensysteme, deren Einzelprozesse in der Atmosphäre nicht klar getrennt beobachtet werden können. In der gegenwärtigen Klimadiskussion zum globalen Wandel spiegelt sich diese Kenntnislage in den sehr viel größeren Unsicherheiten in allen zu Aerosol- und Wolkenwirkung veröffentlichten Zahlen im Verhältnis zu Treibhausgaswirkungen wider.

Rasche Zuwächse beim Verständnis troposphärischer Mehrphasenprozesse und eine Anwendung dieses Prozessverständnisses auf die Vorhersage der Folgen menschlicher Eingriffe lassen sich nur durch ein konzertiertes Vorgehen in mehreren Richtungen erwarten. Das Institut für Troposphärenforschung betreibt daher neben Feldstudien in mehreren belasteten Regionen, auch die Entwicklung eigener analytischer Verfahren für Aerosole und Wolken. Diese Verfahren kommen aber nicht nur in Feldexperimenten zum Tragen, sondern auch in ausgedehnten Laboruntersuchungen, die die zweite Hauptarbeitsrichtung bestimmen. Ein dritter, gleichermaßen wichtiger Arbeitsansatz, ist die Formulierung und Anwendung numerischer Modelle von der Prozessbeschreibung bis zur Beschreibung der regionalen Bildung, Umwandlung und Wirkung troposphärischer Mehrphasensysteme.



**Abb. 2:** Partikelsammler während des Feldexperiments INTERCOMP 2000 auf der Forschungsstation Melpitz.

Nach Begutachtung durch den Wissenschaftsrat im Herbst 1999 wurde das Institut in seiner Stellungnahme aufgrund insgesamt guter Forschungsleistungen auf dem Gebiet der Troposphärenforschung positiv evaluiert. Die Forschungsleistungen sind von überregionaler Bedeutung und gesamtstaatlichem Interesse. Das Institut wurde zur Weiterförderung als Forschungseinrichtung der Blauen Liste empfohlen.



## Feldexperimente

Die Atmosphäre ist ein Aerosol, also ein Trägergas mit darin suspendierten festen und flüssigen Partikeln. Die Feldexperimente des Instituts dienen der Aufklärung des atmosphärischen Kreislaufs und der damit verbundenen Prozesse dieser Aerosol- und Wolkenpartikel. Diese Aufgabe ist unvergleichlich schwerer als entsprechende Spurengasuntersuchungen, bei denen für jeden Stoff an jedem Ort nur eine Zahl bestimmt werden muß. In Aerosolen und Wolken treten mehr als sechs Zehnerpotenzen von Partikelgrößen auf, die alle bei bestimmten Prozessen eine Rolle spielen. Alle kondensierfähigen Stoffe des Erdsystems sind im Aerosol zu finden und eine große Zahl davon ist bei Klima- und Biosphärenwirkungen beteiligt. Als Folge dieser Vielfalt und der mengenbedingten analytischen Schwierigkeiten sind wesentliche globale Aerosol- und Wolkeneigenschaften noch wenig festgelegt.

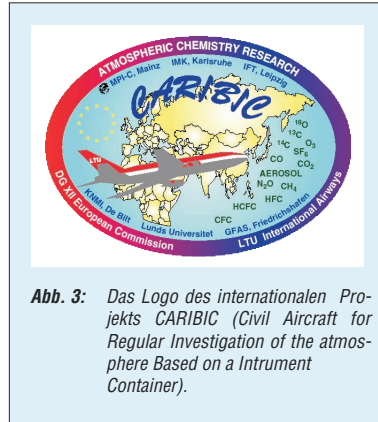
Diese Unsicherheit beginnt bei den Partikelquellen, und deshalb setzen schon hier die Forschungsarbeiten des Instituts für Troposphärenforschung ein. Die Verbrennung fossiler und erneuerbarer Brennstoffe bei der Energieerzeugung und im Verkehr gehören zu den wichtigsten Aerosolquellen, sind aber in Bezug auf klimarelevante Aerosolparameter noch wenig charakterisiert. In Zusammenarbeit mit Automobilherstellern erstellt das Institut daher am Prüfstand größenabhängige Partikelemissionsdaten von Kraftfahrzeugen, insbesondere in dem von konventionellen Verfahren nicht erfaßten Nanometerbereich. Wie sich aus Langzeitmessungen des Instituts in einer Straßenschlucht ergab, unterliegen diese Emissionen von Partikeln und deren Vorläufern, noch bevor sie den Straßenrand erreichen, enormen physikalischen und chemischen Umwandlungen. Diese werden in Zukunft mit einem speziellen mobilen Aerosollabor direkt hinter einem fahrenden Kraftfahrzeug bestimmt.

Die Kraftfahrzeugemissionsstudien werden ergänzt durch Untersuchungen an stationären Verbrennungsquellen an einem Kraftwerk und bei Testverbrennungen von Biomasse. Hier sind es vor allem die Partikeleigenschaften, die die Absorption von Sonnenstrahlung bestimmen, auf die sich das Institut für Troposphärenforschung konzentriert. Eigene Analyseverfahren zur Bestimmung von Rußkomponenten wurden entwickelt und sowohl bei Quell- als auch Immissionstudien eingesetzt. Mit Aerosolmessungen an Schweißarbeitsplätzen widmet sich das Institut schließlich wichtigen gesundheitsschädlichen Partikelemissionen der verarbeitenden Industrie. Gesundheitsbezogene Aerosolstudien werden in Zukunft in Zusammenarbeit mit dem Umweltforschungszentrum Leipzig/Halle verstärkt, speziell durch gekoppelte Innenraum- und Außenluftmessungen mit gleichzeitiger Bestimmung von Gesundheitseinwirkungen im urbanen Raum Leipzigs.

Selbst die größten hochverunreinigten Regionen, wie die Rauchfahnen



von Nordamerika, Europa, dem indischen Subkontinent und Ostasien sind noch bei weitem nicht hinreichend bezüglich ihrer Aerosolbelastungen und den daraus resultierenden Klimawirkungen charakterisiert. Auf diese Regionen konzentrieren sich daher in internationaler Zusammenarbeit die Feldexperimente des Instituts mit guten Erfolgen in der jüngsten Vergangenheit in Europa, über dem Indischen Ozean und in einem südhemisphärischen Reinluftreferenzgebiet bei Tasmanien. Durch Nutzung eines interkontinental arbeitenden kommerziellen Verkehrsflugzeuges werden dabei die örtlich und zeitlich begrenzten Einzelexperimente auf regelmäßig beflogenen Routen zwischen Deutschland, dem Indischen Ozean und Südafrika in der oberen Troposphäre verbunden.



**Abb. 3:** Das Logo des internationalen Projekts CARIBIC (Civil Aircraft for Regular Investigation of the atmosphere Based on a Inrument Container).

Neben Aerosol- und Wolkencharakterisierungsexperimenten werden an geeigneten Orten, wie Bergstationen, an Fesselballonen und über Kraftwerkskühltürmen Prozessstudien durchgeführt, die sich dem Verständnis von Einzelprozessen, wie der Partikelneubildung, der physikochemischen Veränderung des Aerosols beim Wolkendurchgang und dem Einfluß von Aerosolen auf die Reflektionseigenschaften von Wolken widmen.



**Abb. 4:** Fesselballonmessungen an der Nordseeküste.



## Modellierung

Zur Beschreibung der komplexen atmosphärischen Vorgänge werden Modellsysteme verschiedener Dimension und Komplexität für die Mikro- bis Mesoskala entwickelt, überprüft und angewendet. Ziel ist es letztlich, die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Aerosolpartikeln, Gasen und Wolken in einem gekoppelten dreidimensionalen Meteorologie-Chemie-Transport-Modell zu beschreiben, um zu einer Verbesserung des Systemverständnisses der Troposphäre zu gelangen. Mit einem solchen Modellsystem hat man ein Instrument zur Bearbeitung wissenschaftlicher Aufgaben und gleichermaßen zur Beantwortung von Fragen zur Luftqualität im legislativen Bereich.

Das Fünfte Umweltaktionsprogramm der EU legt als langfristiges Ziel fest, dass keine Überschreitungen kritischer Belastungen für die Versauerung und Eutrophierung von Böden und Gewässern und kritischer Werte für bodennahes Ozon vorkommen dürfen. Zur Verminderung dieser Belastungen werden deshalb in einem Multikomponentenprotokoll Richtlinien für nationale Emissionsobergrenzen für Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak und leichtflüchtige organische Substanzen gefordert.

Daneben definieren heutige EU-Richtlinien bereits Grenzwerte für Partikelmassenkonzentrationen mit einem Durchmesser kleiner als  $10\ \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>). Es ist zu erwarten, dass in Kürze wegen ihrer lufthygienischen Bedenklichkeit auch für die wesentlich feineren Partikeln (PM<sub>2,5</sub>) Grenzwerte festgelegt werden.

Zur Einhaltung dieser Obergrenzen werden zukünftig regional unterschiedlich erhebliche Anstrengungen zu weiteren Emissionsenkungen unternommen werden müssen.

Bei der Suche nach effektiven und kostensparenden Möglichkeiten zur Einhaltung bestehender und zukünftiger Grenzwerte für gasförmige Luftbeimengungen und Partikeln unterschiedlicher Größe ist der Einsatz von Modellen unverzichtbar. Nach bisheriger guter Zusammenarbeit mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft beabsichtigt das Institut, auch weiterhin das Land Sachsen bei dieser Aufgabenstellung beratend zu unterstützen.

Voraussetzung für die Entwicklung und Bewertung von Emissionsminderungsstrategien zur Verbesserung der Luftqualität ist die Kenntnis der gegenwärtigen Emissionsituation.

Zur Erarbeitung von Emissionsdaten für vergangene, gegenwärtige und zukünftige Episoden wurde deshalb am Institut ein dynamisiertes Emissionskataster für den Freistaat Sachsen entwickelt. Damit ist man in der Lage, anthropogene und natürliche Emissionsdaten für Luftschadstoffe (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, Nichtmethankohlenwasserstoffe, Staub, Schwermetalle, polychlo-



rierte Dibenz-Dioxine/-Furane; für weitergehende Betrachtungen auch die Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ ) zeitnah für numerische Simulationen der Ausbreitung und chemischen Transformation von Luftschadstoffen über Sachsen bereitzustellen. Mit dem Einsatz eines geographischen Informationssystems (GIS ArcInfo) wird die räumliche Auflösung der Emissionsdaten, der Übergang von geographischen zu politischen Flächeneinteilungen (und umgekehrt), die Einbindung möglichst kleiner Verwaltungseinheiten, die Einbeziehung eines räumlich hochaufgelösten digitalen Straßennetzes und die Verwendung genauer Landnutzungsdaten gesichert.



## Laborexperimente

In der Atmosphärenforschung werden kontinuierlich physikochemische Modelle zur Beschreibung der wesentlichen Prozesse entwickelt. Grundlage derartiger Modelle sind stets Prozessparameter, die in physikalischen und chemischen Laborexperimenten ermittelt werden.

In der Abteilung Physik des IFT werden im Bereich der Laborexperimente eine Vielzahl von Messmethoden entwickelt, die zur Partikelcharakterisierung in boden- und luftgestützten Feldmesskampagnen eingesetzt werden. Im Einzelnen betreffen diese Arbeiten die Weiterentwicklung von sog. „Differential Mobility Analysern (DMA)“ zur Messung von Partikelgrößenverteilungen sowie komplexe Messsysteme zur physikalischen und chemischen Charakterisierung von Wolkentröpfchen und dem interstitiellen Aerosol, also denjenigen Aerosolpartikeln, die innerhalb von Wolken neben den Wolkentröpfchen selbst in der Gasphase suspendiert sind.

Optische Messmethoden werden zur Bestimmung der Extinktion von Partikeln und der Absorption von Spurengasen und Radikalen mittels der differentiellen Absorptionsspektroskopie (DOAS) angewendet. Ein Vier-Wellenlängen-LIDAR wird zur Untersuchung der Rückstreuung von Laserstrahlung verschiedener Wellenlängen eingesetzt und im Labor weiterentwickelt. Weitere spektroskopische Methoden werden im Bereich der Ramanspektroskopie zur Spezifizierung graphitischen Kohlenstoffs in Aerosolproben entwickelt. Die Bestimmung schwarzen Kohlenstoffs in Aerosolproben durch spektrale Absorptionmessungen wird untersucht.

In zwei Bereichen werden direkt prozessorientierte Laboruntersuchungen gemeinsam von den Abtei-

lungen Physik und Chemie durchgeführt. Diese abteilungsübergreifenden Aktivitäten betreffen zunächst einen als Laminarströmungsrohr ausgeführten Reaktor, an dem die Bildung von Partikeln aus anorganischen ( $\text{SO}_2$ ) und organischen Vorläufersubstanzen (z.B. Terpenen) untersucht wird. Zum anderen



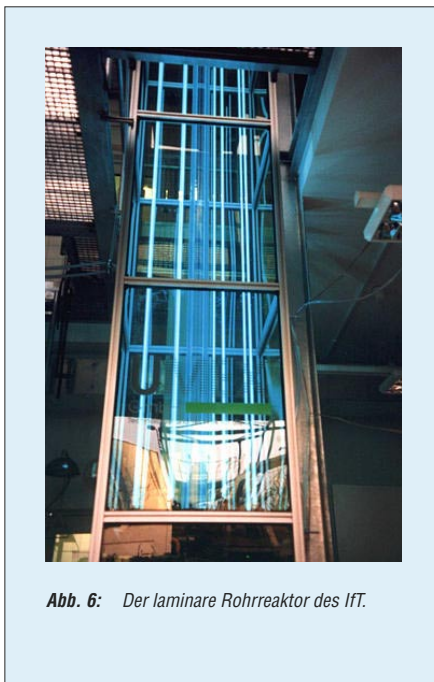
**Abb. 5:** Messung mit dem Mehrwellenlängen-Aerosol-LIDAR während einer Feldkampagne.



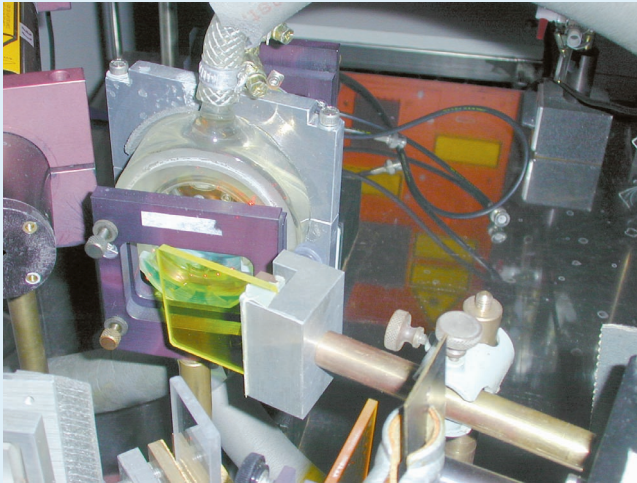
befindet sich ein Reaktor im Aufbau, in dem in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe die Aktivierung von Aerosolpartikeln zu Wolkentröpfchen sowie die chemische Wirkung von Wolken direkt im Labor untersucht werden soll.

Die in der Abteilung Chemie durchgeführten Laboruntersuchungen sind stärker direkt prozessorientiert. Es werden Gasphasenreaktionen der Radikale OH und  $\text{NO}_3$  in Strömungsreaktoren untersucht. Diese Reaktionen sind von Interesse für die Ozon- und Partikelbildung aufgrund anthropogen oder biogen emittierter flüchtiger Kohlenwasserstoffe. Die chemische Identität von Partikelinhaltsstoffen soll auch in Reaktionskammern studiert werden, die gegenwärtig aufgerüstet werden. In einem Einzeltropfenexperiment werden Phasentransferparameter für Spurengase und Radikale untersucht. Die Bestimmung von Phasentransferparametern und reaktiven Aufnahmekoeffizienten wird dabei auf bisher nicht betrachtete chemische Spezies und Oberflächen ausgeweitet.

Im Bereich von Flüssigphasenmechanismen werden Reaktionen von nichtradikalischen Oxidantien mittels der sog. Stopped-Flow-Technik mit optischer Detektion untersucht. Einen besonderen Schwerpunkt bilden schließlich die Experimente mit Radikalreaktionen in wässriger Lösung, die in der Umwelt in den Tröpfchen von Wolken, Regen und Nebel sowie im wässrigen Aerosol ablaufen. Hier werden zum Verständnis der Oxidation organischer Spurengase im troposphärischen Mehrphasensystem eine Vielzahl von Reaktionen der Radikale OH und  $\text{NO}_3$  sowie Reaktionen von halogenhaltigen Oxidantien untersucht. Letztere Spezies sind von Interesse bei der Freisetzung von Halogenverbindungen aus maritimen Seesalzpartikeln, der sog. Halogenaktivierung.



**Abb. 6:** Der laminare Rohrreaktor des IFT.



**Abb. 7:** Eine Laserphotolyse-Laserlangwegabsorptionsanordnung zur Untersuchung der Kinetik des Nitrat-Radikals in wässriger Lösung.

In der analytischen Messtechnik werden in Laborexperimenten Verfahren zur besseren chemischen Charakterisierung der organischen Bestandteile des troposphärischen Aerosols entwickelt und getestet. Diese Techniken beruhen zumeist auf massenspektrometrischen Verfahren, die in verschiedenen Koppelungstechniken eingesetzt werden. Im Bereich der Probenahmetechniken gibt es auch hier eine enge Kooperation mit der Abteilung Physik zur Entwicklung einer gezielten Abscheidung von Partikeln bestimmter Größe und deren kontinuierlicher chemischer Analyse.

