

**Bericht Virtuelles Institut: Atmosphärenforschung zu HALO  
Zwischenbericht für das Jahr 2008 (1.1.08 - 31.12.08)**

Förderprogramm: Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft -  
Vernetzung mit Hochschulen  
Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Programmatische Zuordnung: „Weltraum und Verkehr“ und „Erde und Umwelt“  
Förderkennzeichen: VH – VI - 156  
Vorhabensbezeichnung: Virtuelles Institut „Atmosphärenforschung zu HALO“  
Koordinator: Prof. Dr. Ulrich Schumann und Dr. Helmut Ziereis  
Laufzeit des Vorhabens: 1.11.2005 bis 30.6.2009  
Berichtszeitraum: 1.01.2008 bis 31.12.2008  
DLR-interner Kostenträger: 3 400 265

Partner

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Oberpfaffenhofen  
Alfred – Wegener - Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) - Bremerhaven  
Forschungszentrum Jülich (FZJ)  
Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

Institut für Umweltphysik der Universität Bremen (UB, IUP)  
J. W. Goethe Universität Frankfurt, Institut für Meteorologie und Geophysik (JWG-IMG)  
Meteorologisches Institut der Universität Hamburg  
Institut für Umweltphysik der Ruprecht – Karls - Universität Heidelberg (IUP-HD)  
Institut für Physik der Atmosphäre, Universität Mainz (IPA - MZ)  
Meteorologisches Institut der Universität München (MIM)  
Fachbereich Physik der Bergischen Universität Wuppertal

## 1 Einführung

In 2008 wurden die Arbeiten am HALO-Flugzeug bei Gulfstream in Savannah im Wesentlichen fertig gestellt. Das modifizierte Flugzeug wurde flugerprobt. Anschließend wurde HALO mit seiner Innenausrüstung ausgestattet und lackiert. HALO wurde zunächst durch die FAA zugelassen, die Zulassung wurde durch das LBA validiert.

Am 20. Januar 2009 wurde HALO an das DLR übergeben. Nach der Überführung landete das Flugzeug am 24. Januar in Oberpfaffenhofen. Hier wird nun die operationelle Nutzung durch den Flugbetrieb des DLR vorbereitet. Dazu gehört unter anderem die Durchführung eines umfangreichen Bodenschwingungsversuches für die Außenbauten an HALO. Unterflügel- und Unterrumpfbehälter werden von den VI-Partnern bereits während der ersten Missionen genutzt.

In Absprache mit Partnern aus dem VI wurde auch das Design des Standardspurengaseinlasses festgelegt.

Die ersten wissenschaftlichen Missionen mit HALO rücken näher. Die Vorbereitung der Instrumentierung und die Missionsplanung durch die VI - Partner wurden daher intensiviert.

Partner aus dem HALO VI sind an nahezu allen Missionen beteiligt, die mit HALO geplant sind. Zurzeit liegen 13 konkrete Missionsvorschläge für die HALO – Nutzung bis einschließlich 2011 vor.

Die erste Mission mit HALO soll im Sommer 2009 von Oberpfaffenhofen aus durchgeführt werden. OMO – Oxidation Mechanism Observations soll die Oxidationsfähigkeit in der freien Troposphäre untersuchen. Bei dieser Kampagne werden mehrere Partner aus dem Virtuellen Institut zusammenarbeiten. Weitere Missionen, die durch den Wissenschaftlichen Lenkungsausschuss bereits bestätigt wurden sind: ML-CIRRUS, POLSTRACC und TACTS. An all diesen Missionen sind Partner aus dem VI zu HALO beteiligt.

Es wurde auch begonnen HALO in europäische Forschungsvorhaben einzubetten wie z. B. RECONCILE und SHIVA.

Im Herbst 2008 tagten Finanzausschuss und Kuratorium zu HALO. Die Missionsplanung für 2009 durch den Wissenschaftlichen Lenkungsausschuss wurde bestätigt, die Mittel entsprechend freigegeben.

Im Berichtszeitraum fanden mehrere Arbeitstreffen in Zusammenarbeit mit dem HALO-Projektteam statt, um Fragen der Instrumentadaption an HALO, der Zulassung und der Missionsplanung zu erörtern

Das Virtuelle Institut dient als Plattform der Zusammenarbeit bei der technischen Entwicklung von Instrumenten und bei der konkreten wissenschaftlichen Planung der Missionen. Darüber hinaus werden innerhalb des VI auch Informationen über technische und zulassungsrelevante Fragen ausgetauscht.

Wie in den Vorjahren findet die Zusammenarbeit nicht nur innerhalb des Virtuellen Instituts statt. Auch über die Grenzen des VI hinaus wird mit Partnern insbesondere aus der Max-Planck-Gesellschaft und der Leibnizgemeinschaft zusammen gearbeitet.

## Vorläufiger HALO Missionsplan

	Mission	Ziel	VI-Partner aus der HGF	VI-Partner aus den Hochschulen
3. Q 2009	OMO	Oxidationsfähigkeit der extratropischen Troposphäre	FZJ, DLR, FZK	Mainz, Heidelberg, Bremen
3. Q 2009	ML-CIRRUS	Bildung, Lebenszeit und Eigenschaften von Zirruswolken in mittleren Breiten	FZK, DLR, FZJ	Mainz, Heidelberg, Bremen, Frankfurt, Wuppertal
1. Q 2010	POLSTRACC	Polare Stratosphäre in einem sich ändernden Klima	FZK, DLR, FZJ	Wuppertal, Frankfurt, Bremen, Mainz, Heidelberg
1./2. Q 2010	TACTS	Transport und Zusammensetzung der UTLS - Region	FZJ, DLR, FZK	Heidelberg, Frankfurt, Wuppertal
2./3. Q 2010	EO-HALO	Hydrodynamische Modelle, CO <sub>2</sub> , Luftverschmutzung, Desertifikation etc.	DLR	München
2./3. Q 2010	ACRIDICON	Aerosol, Wolken, Niederschlag und Strahlung: Dynamik von konvektiven Wolken.	DLR	Mainz, Heidelberg, Frankfurt, München
2./3. Q 2010	GEOHALO	Geophysikalische Untersuchungen der Europäisch-Afrikanische Kollisionszone und der Antarktis	AWI	
3./4. Q 2010	NEPTUN	HIW-Zyklogese im Mittelmeerraum, eingebettete Konvektion	DLR, FZK	
1./2. Q 2011	SHIVA	Stratospheric Ozone: Halogen Impacts in a varying atmosphere	DLR	Heidelberg, Frankfurt
1./2. Q 2011	NARVAL	Starkniederschlag über dem Nordatlantik	DLR	Hamburg
3. Q 2011	CIRRUS - RS		FZK, DLR, FZJ	Mainz, Heidelberg, Bremen, Frankfurt, Wuppertal
4. Q 2011	T-NWADEX	Vorhersage von Extremwetterereignissen	DLR	Hamburg

## **2 Berichte der VI – Partner**

### **2.1 Partner aus der Helmholtzgemeinschaft**

#### **2.1.1 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Physik der Atmosphäre**

*Prof. Dr. U. Schumann, Dr. H. Ziereis, Dr. H. Schlager, Dr. G. Ehret, Dr. A. Petzold, Dr. A. Minikin, Dr. A. Fix, Dr. O. Reitebuch, Dr. M. Wirth, Dr. M. Hagen*

#### **Geräteentwicklung**

Die Vorbereitungen für die ersten HALO – Missionen wurden fortgesetzt und intensiviert. Das Institut für Physik der Atmosphäre des DLR bereitet mehrere Instrumente für den Einsatz auf HALO vor. Dabei handelt es sich zum Teil um Neuentwicklungen, zum Teil um Adaptionen bestehender Fluggeräte. Die Instrumente umfassen in-situ Spurengas- und Aerosolmessgeräte und Fernerkundungsmessgeräte wie LIDAR. In 2008 wurden mehrere dieser für HALO vorgesehenen Instrumente auf der Falcon eingesetzt und erfolgreich erprobt.

Die Validierung der ersten Satellitenmission der europäischen Raumfahrtagentur ESA für die globale Messung von Windprofilen mit einem Wind-Lidar (ADM-Aeolus) soll mittels HALO in den Jahren 2011/2012 erfolgen. Ein flugzeuggetragener Prototyp des Satelliteninstruments - der ALADIN airborne demonstrator A2D - , der bislang erfolgreich auf der DLR Falcon geflogen wurde, soll für den Einsatz auf HALO modifiziert werden. Die Beschaffung eines neuen, leistungsfähigeren Laser-Transmitters für den Einsatz des A2D auf HALO wurde begonnen.

Die Validation des Airborne WALES Demonstrator zur flugzeuggestützten Fernerkundung des Wasserdampfprofils wurde in 2008 erfolgreich abgeschlossen. In 2009 sind die Portierung des Systems auf HALO und der Einsatz bei der Demo-Mission ML-Cirrus geplant. In Rahmen des Projekts AMALFI wird der WALES Demonstrator für die gleichzeitige Sondierung von Wasserdampf und Ozon auf der HALO-Plattform weiterentwickelt. AMALFI soll 2010 bei der Demo-Mission POLSTRAC eingesetzt werden.

Im Berichtszeitraum wurde an der Konzeption und Umsetzung von Beschaffungsmaßnahmen zur Aerosol-Instrumentierung gearbeitet. Von übergeordneter Bedeutung ist dabei insbesondere die mit dem Flugbetrieb des DLR gemeinsame Konzeption des HALO-Submikrometer-Aerosol-Einlasses (HASI), der eine gleichzeitige Nutzung durch verschiedene Aerosolinstrumente in HALO vorsieht. Weiterhin wurden Planungs- und Koordinierungsarbeiten zur Nutzung der Unterflügel-Behälter für Instrumente, die dem "PMS-Standard" entsprechen, durchgeführt.

Das Massenspektrometersystem FASTPEX für die Messung von PAN, PPN und MPAN wurde aufgebaut und im Labor getestet. Im Sommer 2009 wurde es zum ersten Mal auf der Falcon im Rahmen der POLARCAT Messkampagne eingesetzt. Ziel dieser Kampagne war die Untersuchung des Einflusses von Biomassenverbrennung auf die arktische Troposphäre. Während dieses Einsatzes wurde FASTPEX erfolgreich mit PAN-Messungen von Bord der NASA DC-8 verglichen.

Während der POLARCAT Messkampagne wurde ebenfalls zum ersten Mal das PERTRAS (Perfluorkarbon Tracer System) Messsystem auf der Falcon eingesetzt. Dieses Messsystem dient der Markierung von Luftmassen für Lagrangsche Experimente. Während eines Fluges wurde ein künstlicher Tracer ausgesetzt, der bei der Sondierung der Luftmassen während eines nachfolgenden Fluges nachgewiesen werden konnte. Beim PERTRAS-Messsystem existiert eine Zusammenarbeit mit der Universität Wuppertal.

Gemeinsam mit den Partnern wurden die Planung des Standardspurengaseinlasses unterstützt und begleitet.

Die für HALO vorgesehenen Messinstrumente müssen nicht nur für den Einbau in HALO umgerüstet und angepasst werden. Ein wesentliches Arbeitspaket stellt die Erstellung der umfangreichen Dokumentation für die Zulassung dieser Instrumente dar. Diese Arbeiten sind sehr zeitintensiv und werden in Zusammenarbeit mit einer externen Firma vorgenommen.

### **Wissenschaftliche Missionen mit HALO**

HALO bedeutet auf dem Gebiet der Atmosphärenforschung mit Flugzeugen einen wesentlichen Schritt vorwärts. Die größere Nutzlastkapazität und die erweiterten Ein- und Anbaumöglichkeiten erlauben umfangreichere Instrumentierungen. Das bedeutet aber auch, dass die Koordinierung der Nutzlast aufwändiger geworden ist. Hinzu kommt, dass es bei der Einführung eines neuen Messträgers aufwändiger Anpassungen der Schnittstellen zwischen Flugzeug und Instrumenten bedarf.

Das Institut für Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen ist mit seinen Messinstrumenten bei nahezu allen Missionen vertreten, die bis 2011 für HALO geplant sind.

Die HALO-Missionen ML-CIRRUS und T-NAWDEX werden federführend vom DLR betreut.

ML-CIRRUS soll im Herbst 2009 durchgeführt werden. Ziel dieser Mission ist es, die Bildung, Lebenszeit und die Eigenschaften von Zirruswolken in mittleren Breiten zu untersuchen.

T-NAWDEX ist für den Herbst 2011 geplant und soll die Vorhersage von Extremwetterereignissen durch gezielte Messungen verbessern. Im Berichtszeitraum wurde die Planung in Bezug auf die Demonstrationsmissionen weiterentwickelt und konkretisiert.

### **Mehrgewinn durch das HALO – VI**

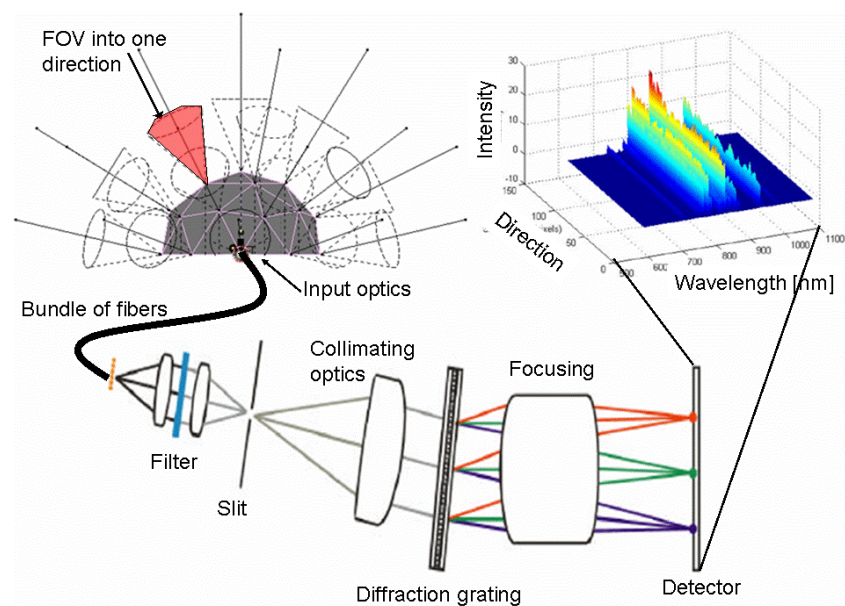
Das virtuelle Institut zu HALO bietet die Möglichkeit mit den Partnern über die Institutsgrenzen hinaus zusammenzuarbeiten. Zum einen werden mit VI-Partnern gemeinsame Messsysteme aufgebaut (siehe PERTRAS). Zum anderen werden innerhalb des VI auch technische und zulassungsrelevante Informationen ausgetauscht. Die Plattform des VI unterstützt auch die Planung der HALO-Missionen, die gemeinsam von den VI – Partnern durchgeführt werden (s. Tabelle).

## 2.1.2 Alfred-Wegener-Institut - Fachbereich Klimawissenschaften

Prof. Dr. O. Schrems, Dr. S. Wuttke

### SPERAD Spektroradiometer

Ziel des AWI ist es im Rahmen des HALO VI gemeinsam mit der Universität Hannover ein Spektroradiometer (SPERAD = SPECTroradiometer for the characterization of RAdiance distribution) zu entwickeln, das neben dem Einsatz auf HALO auch auf anderen Forschungsflugzeugen und zukünftigen unbemannten Kleinflugzeugen routinemäßig eingesetzt werden kann. Mit diesem Nutzungskonzept sollen die Einsatzmöglichkeiten dieses neuen Meßsystems wesentlich erhöht werden.



**Abb.:** Schematische Anordnung der optischen Komponenten des geplanten SPERAD Spektroradiometers mit der Einkoppel-Optik (oben links). Im unteren Teil ist der Polychromator mit verschiedenen optischen Komponenten und dem 2D-Detektor dargestellt.

Das ursprüngliche technische Konzept wurde in 2008 weiter überarbeitet und neue Marktanalysen für die benötigten Komponenten durchgeführt um eine möglichst kostengünstige Realisierung des Vorhabens zu ermöglichen. Hierfür sollen zusammen mit der Universität Hannover (Prof. Dr. G. Seckmeyer) weitere Drittmittel eingeworben werden. SPERAD soll die Strahldichte im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 1000 nm und bei ca. 140 verschiedenen Richtungen gleichzeitig messen. Die ursprünglichen wissenschaftlichen Ziele bleiben auch in dem überarbeiteten SPERAD Design bestehen, nämlich die Erfassung der aerosoloptischen Eigenschaften mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung, besseres Verständnis von photochemischen Prozessen in der Atmosphäre, Bestimmung von 3D Wolkeneffekten und Verbesserung des Verständnisses des Strahlungstransfers in einem sich ändernden Klima. Die Validierung des Meßsystems soll am Boden durch Vergleichsmessungen mit dem von uns neuentwickelten und aus Institutsmitteln finanzierten NDACC Spektroradiometer ( s. unten) erfolgen.

### NDACC UV-Spektroradiometer

Neben einem für Flugzeugmessungen geeigneten Spektroradiometer haben wir in den vergangenen 2 Jahren auch ein UV Spektroradiometer entwickelt, dessen Spezifikationen den Anforderungen des „Network for the Detection of Atmospheric Composition Change“ (NDACC) entsprechen. Dieses Spektroradiometer soll neben dem Einsatz an der NDACC Station Ny-Alesund (Spitzbergen) auch für ground-truthing von flugzeuggetragenen UV-Spektoralradiometern eingesetzt werden. Die Eingangsoptik dieses neuen UV Spektroradiometers besteht aus einem Teflondiffuser, der durch einen Quarz-Dom geschützt wird. Die Strahlung wird über einen Lichtleiter in den Eintrittsspalt eines Monochromators geleitet. Das zentrale Element des Spektroradiometers ist ein Doppelmonochromator der Fa. Bentham Instruments, Ltd. mit einer Brennweite von 150 mm. Der Doppelmonochromator besteht aus zwei identischen Czerny-Turner Monochromatoren. Der Eintritts- und Ausgangsspalt haben eine festgelegte Breite von 0,56 mm. Der mittlere Spalt ist auf eine Breite von 1,48 mm gesetzt. Der Ausgangsstrom des Detektors (PMT) wird durch einen dekadischen Verstärker prozessiert und in ein digitales Signal umgewandelt.

Nach einer umfangreichen Charakterisierung des neuen Gerätes im Labor haben erste Messungen und eine Vergleichskampagne mit dem UV Spektroradiometer der Universität Innsbruck im Herbst 2008 gezeigt, dass es im vollen Umfang die von NDACC geforderten Spezifikationen erfüllt. Ende Februar / Anfang März 2009 wurde eine Messkampagne in Ny-Alesund durchgeführt und für Mai und Juni 2009 ist ein Gerätevergleich in Ny-Alesund mit dem europäischen Referenzinstrument geplant.

Die Entwicklung des NDACC Spektroradiometers ist erfolgreich abgeschlossen. Das technische Konzept für das SPERAD Spektoralradiometers ist überarbeitet und wird bei Verfügbarkeit der benötigten finanziellen Mittel realisiert. Mittel aus dem HALO VI wurden 2008 im wesentlichen für Reisen zur Vergleichskampagne an der Universität Innsbruck verwendet. Die Nutzung der Restmittel wurden wegen der Erziehungszeit von Frau Dr. Sigrid Wuttke verschoben.

Konferenzbeitrag

S. Wuttke and O. Schrems, 2009, A new spectroradiometer for high quality solar spectral UV irradiance measurements, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU 2009

### **2.1.3 Forschungszentrum Jülich - Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre**

*Prof. Dr. A. Wahner, Prof. Dr. M. Riese, Dr. M. von Hobe, Dr. A. Hofzumahaus, Dr. F. Holland, Dr. P. Preusse, Dr. C. Schiller*

#### **1. Vorbereitung von Demomissionen**

In Zusammenarbeit mit den Partnern für die HALO-Demomissionen, die für die Jahre 2009/10 geplant sind, wurden die wissenschaftliche Zielsetzung und technische Umsetzung (Instrumentierung, Belegung und Gewichtsverteilung, Zulassung) weiter ausgearbeitet und wiederholt dem WLA vorgelegt. Für das FZJ sind dies die OMO Demomission, die FZJ (Prof. Wahner) gemeinsam mit MPI Mainz koordiniert, sowie die TACTS, Cirrus-ML und POLSTRACC Missionen.

POLSTRACC: Durch das erfolgreiche Einwerben des EU-Projektes RECONCILE mit einer Flugzeugkampagne mit dem Höhenforschungsflugzeug Geophysica konnte das wissenschaftliche Programm der POLSTRACC-Mission ausgebaut werden. Die vorläufige Flugplanung wurde mit dem Koordinator (FZ Karlsruhe) vorbereitet und die Instrumentierung in kleineren Details (u.a. Jülicher Halogenradikalmessungen) aufeinander abgestimmt.

#### **2. Entwicklung / Modifikation der Instrumente**

Die Hardware der FZJ-Instrumente für HALO wird wesentlich über die HGF-Ausbauinvestition und interne Mittel bereitgestellt. Die Abstimmung und bestimmte Entwicklungsschritte in Kooperation mit anderen Partnern (sowie die Einbindung in gemeinsame Missionen) erfolgt über das VI.

Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum waren zulassungsrelevante Fragen, insbesondere hinsichtlich Vogelschlag der Einlassteile, die nahezu alle Instrumente des VI betreffen. Hierzu fanden spezifische Arbeitstreffen zwischen Wissenschaftlern und Ingenieuren des FZJ und Partnern, dem Flugbetrieb (FB) in Oberpfaffenhofen, der MPL Braunschweig und den Firmen enviscope und Optimare statt. Von der Zentralabteilung Technologie (ZAT) des FZJ wurden umfangreiche Simulationsrechnungen zur Belastung von Lufteinlässen durch Vogelschlag durchgeführt, deren Ergebnisse in die Konstruktion von Lufteinlasssystemen eingeflossen sind. Konkret für die FZJ-Instrumente ergibt sich:

##### **Hygrometerrack für HALO (ICG-1)**

Es konnte eine Konfiguration für die Unterbringung der drei Hygrometer FISH (FZJ), TDL-Hygrometer (FZJ/FZK/Heidelberg) und ISOWAT (FZK) in einem HALO-Rack erarbeitet werden. Diese drei Geräte, die wissenschaftliche ergänzende Messungen liefern und daher in entsprechenden Missionen (u.a. Cirrus-ML, POLSTRACC, TRACTS) gemeinsam eingesetzt werden sollen, können so platz- und gewichtsoptimiert mit relativ geringem Zulassungsaufwand als Modul für die einzelnen Missionen bereitgestellt werden.

##### **GLORIA-AB (ICG-1)**

Die Unterbringung dieses Instrumentes im belly pod von HALO erforderte strömungstechnische Untersuchungen, damit durch das offene Sichtfenster die Druckverteilung im belly pod und die Flugeigenschaften von HALO nicht nachteilig beeinflusst werden. Diese Optimierungsarbeiten wurden in Abstimmung zwischen FZJ (ICG-1 und Hauptwerkstatt), DLR (FB Oberpfaffenhofen und Braunschweig) und der Firma enviscope durchgeführt.

### **TDL-Hygrometer (ICG-1)**

Für die offene Messzelle des TDL, an aperture plate 4 von HALO anzubringen, wurde ein Konzept entwickelt, das speziell für die Vogelschlagproblematik ausgelegt ist. Dieses basiert auf dem Konzept des Standardgaseinlass, der von der Firma enviscope für HALO entwickelt wird. Durch eine Ähnlichkeitsbetrachtung soll der Zulassungsaufwand minimiert werden. Die Firma enviscope wurde beauftragt, die Messzelle in Abstimmung mit FZJ und der Universität Heidelberg unter Berücksichtigung der optischen Anforderungen zu entwickeln und zu erstellen.

### **AIRLIF (ICG-2)**

Für das HO<sub>x</sub>-Messinstrument wurde das Konzept des Radikaleinlasssystems bezüglich möglicher Belastungen durch Vogelschlag überarbeitet. Ein Prototyp des Einlasssystems, welches in einem Viewport installiert wird, wird zur Zeit im FZJ gefertigt und Teile werden aktuell getestet. Das Lasersystem zur Erzeugung wellenlängenabstimmbarer UV-Strahlung wurde für die auf HALO zu erwartenden Flugbedingungen angepaßt. Die Modifikation wurde an Bord des Luftschiffs Zeppelin NT im Herbst 2008 erfolgreich getestet. In Kooperation mit dem MPI Mainz wurde ein Konzept für den Kabineneinbau zweier unabhängiger Radikalmesssysteme entworfen, welches neben den Gaseinlässen die Messzellen, Lasersysteme, Gasversorgungen, Pumpensysteme und Messelektroniken umfaßt.

### **CARLO (ICG-2)**

Das Strahlungsmesssystem zur gleichzeitigen Erfassung von Strahldichten aus der Nadir-Richtung und spektraler aktinischer Flüsse in der oberen und der unteren Hemisphäre wird in Zusammenarbeit der Universität Mainz mit DLR und FZJ entwickelt. Zur spektralen Strahlungsmessung mit hoher Zeitauflösung wurden vom ICG-2 zwei CCD Spektralradiometer angeschafft und charakterisiert. Für die Empfangsoptiken werden zurzeit flugzeugtaugliche Gehäuse entwickelt und zertifiziert. Außerdem wird ein mobiles Kalibriersystem zur Überprüfung der Messgeräte während der Flugpausen aufgebaut.

### **FACTS-HALO (ICG-2)**

Im Rahmen des Projektes FACTS (Fast Analysis with Chromatographic Techniques) wurde ein Online-GC/MS (Gaschromatograph-Massenspektrometer) in Zusammenarbeit mit der Firma Gerstel konzipiert und aufgebaut. Der Gaschromatograph basiert auf zwei kompakten, schnell beheizbaren Säulenmodulen, die alternierend betrieben werden und eine schnelle Trennung ermöglichen. Als Detektor dient ein Quadrupolmassenspektrometer. Die Komponenten sind im Rack montiert, das GC/MS-System wird derzeit getestet und die Dokumentation erstellt. Die Arbeiten sind eingebunden in ein gemeinsames DFG-Projekt mit dem MPI in Mainz und den Universitäten Wuppertal und Frankfurt.

### **MIRA-HALO (ICG-2)**

Das ICG-2 ist im Projekt MIRA-HALO zusammen mit der Universität Wuppertal an der Entwicklung und am Aufbau eines Sammlers für die Untersuchung stabiler Isotope in flüchtigen Kohlenwasserstoffen beteiligt. Die Probenluft wird in inerte Druckbehälter gesammelt und offline mittels Gaschromatographie-Isotopenmassenspektrometrie (GC-IRMS) analysiert. Die erforderlichen Probenbehälter wurden erworben und passiviert. Der GC-IRMS wurde im Rahmen einer Messkampagne an Bord eines Zeppelin NT getestet.

## **2.1.4 Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) - Institut für Meteorologie und Klimaforschung**

### **A) Troposphäre (IMK-TRO):**

*Dr. A. Wieser, Prof. Dr. Ch. Kottmeier und Dr. U. Corsmeier*

#### **Entwicklung eines Multi-Sensor Dropsondensystems für den Einsatz auf HALO**

Die Schwerpunkte der Arbeiten des IMK-TRO liegen bei Prozessstudien als auch bei der numerischen Simulation auf den Gebieten

- Konvektion über komplexem Gelände,
- Massentransporte durch Konvektion,
- Auslösung und Quantifizierung konvektiven Niederschlags.

Dazu wurden und werden im Rahmen der HGF (HALO-Demomission NEPTUN, 2010; TRACKS, 2007 und 2010; HyMeX, 2011) und der DFG (COPS, 2007) umfangreiche Feldexperimente mit internationaler Beteiligung durchgeführt.

Zur Realisierung von Messprogrammen mit HALO zu den o. g. Themengebieten sind Neuentwicklungen von Messsystemen bzw. Anpassungen von bereits existierender Messtechnik an die Messaufgabe und an die Plattform HALO notwendig.

#### **Konzept des Dropsondensystems**

Im Rahmen des VI wird durch IMK-TRO in Zusammenarbeit mit externen Partnern ein innovatives Dropsondensystem vorwiegend für den Einsatz auf HALO konzipiert. Bau und Test des Systems auf HALO werden durch die HALO-Erweiterungsinvestitionen finanziert. Der erste Einsatz der neuen Dropsonde erfolgt im Rahmen der HALO-Demo-Mission NEPTUN, 2010. Das neue System eröffnet im Vergleich zu herkömmlichen Dropsonden die Möglichkeit zur Messung zusätzlicher meteorologischer, optischer, luftchemischer und wolkenphysikalischer Parameter. Das System wird so konfiguriert, dass Messungen mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung innerhalb von konvektiven Systemen möglich sind. Es ist das Ziel der Neuentwicklung, eine Dropsonde zu bauen, die aus einer „Muttersonde“ und mindestens vier „Tochtersonden“ besteht. Dabei entlässt die Muttersonde direkt nach dem Abwurf die Tochtersonden und bietet in einer späteren Ausbauphase die Möglichkeit zusätzliche Messfühler z. B. zur Messung des Wolkenwassergehalts, der Tropfengrößenverteilung oder der Konzentration von Spurengasen über standardisierte Schnittstellen anzuschließen. Die autarken Tochtersonden verfügen über GPS und/oder über Galileo-Navigation und übertragen ihre Daten zum Empfänger an Bord von HALO. Optional ist es möglich die Daten direkt an einen Satelliten und von dort ins Internet und ins GTS zu verschicken. Die Tochtersonden entfernen sich nach der Freisetzung aus der Muttersonde durch unterschiedliche Flugeigenschaften (Fallschirmgrößen) verschieden weit von der Muttersonde und messen während ihres Falls zum Erdboden, z. B. innerhalb von konvektiven Systemen die Temperatur und Feuchte der Luft sowie die Windgeschwindigkeit. Es ist vorgesehen, für die Sonde die gleiche Abwurfmimik zu nutzen (NCAR/Vaisala-System), die bereits jetzt auf der D-CMET installiert ist und auf HALO übertragen werden soll. Damit besteht die Möglichkeit das neue Dropsondensystem auch über HALO hinaus auf allen Flugzeugen einzusetzen, die über die NCAR/Vaisala-Abwurftechnik verfügen. Neue Dropsondenauslässe sind damit nicht nötig.

#### **Stand der Entwicklung**

Entwicklung, Bau und Test der Multi-Sensor Dropsonde wird zusammen mit der Fa. enviscope, Frankfurt a. M., der Fa. Dr. Graw, Nürnberg, den Universitäten Karlsruhe und Braunschweig, der Hochschule Mannheim und dem DLR-Flugbetrieb, Oberpfaffenhofen, als

dem Betreiber des Forschungsflugzeugs HALO und des NCAR/Vaisala-Systems durchgeführt. Im Jahr 2008 wurden die Arbeiten an der Dropsonde mit dem Bau von 5 mechanischen Prototypen der Muttersonde, dem Design und der elektronischen Spezifikation der Tochtersonden und der Konzeption des Datenmanagements fortgeführt.

Um die Muttersonde wie auch die Tochtersonden gegen die große mechanische Beanspruchung beim Abwurf aus dem Flugzeug zu schützen und die Relativgeschwindigkeit zwischen Sonde und Umgebungsluft abzubauen, ist das Gehäuse der Muttersonde mit Bremsklappen ausgerüstet, die sich sofort nach Auslass der Sonde aus dem Abwurfschacht öffnen. Erst danach entfaltet sich der Hauptfallschirm der Sonde, der gleichzeitig den Behälter mit den Tochtersonden öffnet. Diese fallen dann heraus und schweben an eigenen Fallschirmen zu Boden während sie ihre Messwerte an Empfangsstationen im Flugzeug oder am Boden senden. Aus den Mitteln des Projekts wurden Testflüge mit dem Forschungsflugzeug DO 128 der TU Braunschweig durchgeführt, bei denen der Ablauf von Abwurf, Verzögerung und Freisetzung der Tochtersonden aus geringer Höhe erprobt wurde (siehe Abbildung). Dabei erwies sich das Konzept grundsätzlich als tragfähig, es zeigte sich jedoch, dass die Spezifikationen für die Bauteile und die Einstellungen für Bremsklappen-, Fallschirm- und Behälteröffnung in Abhängigkeit von der Fluggeschwindigkeit und der Flughöhe sorgfältig gewählt werden müssen. Hierzu werden mittels Modellrechnungen und Windkanalversuchen gerade die notwendigen Messwerte ermittelt.

Für die Tochtersonden muss die Elektronikeinheit einer modernen Graw-Radiosonde bezüglich der Batteriekapazität und der Stabilität der Sendefrequenz angepasst werden. Gleichzeitig ist der Platzbedarf für die Platine entscheidend zu minimieren. Diese Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit dem Radiosondenhersteller durchgeführt und stehen kurz vor dem Abschluss. Da geplant ist, mit bis zu 30 Tochtersonden gleichzeitig zu sondieren, ist ein geeigneter 30-kanaliger Empfänger notwendig. Zusammen mit der Hochschule Mannheim wurde ein solcher Empfänger entworfen. Gleichzeitig wurden in einer Studie die Möglichkeiten der weltweit sicheren und preisgünstigen Datenübertragung von den Sonden über Satelliten zu einer Bodenstation und von dort ins Internet und das GTS der WMO zusammengestellt.

### **Verwendung der zugewiesenen Mittel**

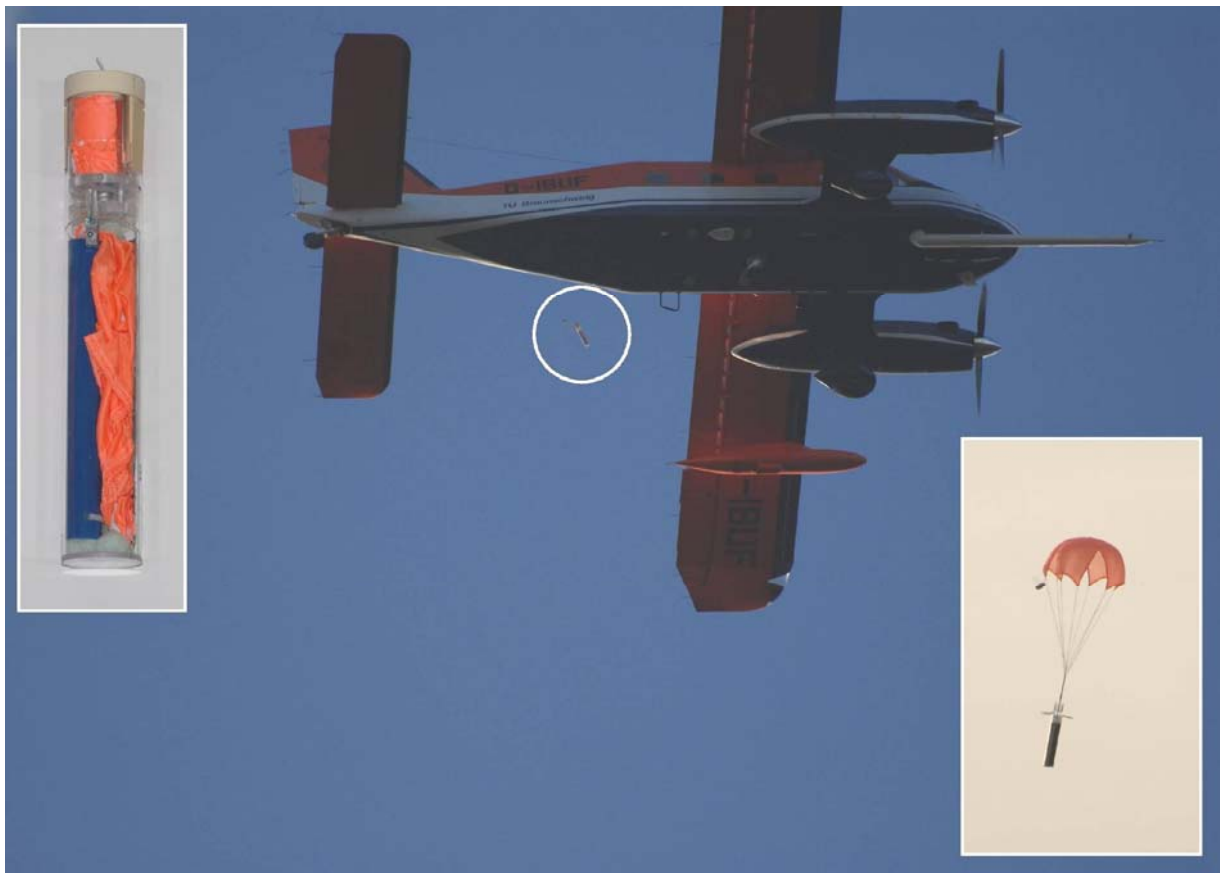
Die dem IMK-TRO aus dem VI im Jahr 2008 zugeflossenen Mittel in Höhe von 6000 EUR wurden zur Erprobung der Abwurfmechanik der neuen Dropsonde eingesetzt. Beim Abwurf der Muttersonde aus HALO ist die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Flugzeug und Umgebungsluft auf die Höhe der Windgeschwindigkeit in Flugniveau abzubauen. Erst dann können die vier Tochtersonden ohne Gefahr für deren mechanischen Aufbau und die Sensorik freigesetzt werden. Die Verzögerung der Muttersonde und die anschließende Freisetzung der Tochtersonden geschieht rein mechanisch. Zum Test dieser Mechanik wurden im Berichtsjahr 3 Versuchreihen mit Testabwürfen von Prototypen aus geringer Höhe von Bord des Forschungsflugzeugs DO 128 der TU Braunschweig durchgeführt. Während der Versuchsreihen im August, November und Dezember wurden dabei insgesamt 14 Sondenkörper mit unterschiedlichen Verzögerungs- und Auslösemechanismen getestet. Dabei hat sich eindeutig ein Konzept mit Bremsklappen und durch den Hauptfallschirm verzögerter Freisetzung der Tochtersonden als einfach, preiswert und betriebssicher erwiesen. Die endgültigen mechanischen Einstellungen für den Betrieb der Dropsonde auf HALO müssen durch Testabwürfe von Bord der FALCON (2009) und letztlich von HALO selbst noch bestimmt werden.

### **Mehrwert durch das VI**

Der überwiegende Teil der Dropsondenentwicklung des IMK-TRO wird durch das DFG-Schwerpunktprogramm (SPP) 1294 „Atmospheric and earth system research with the **High Altitude and Long Range Research Aircraft HALO**“ und durch die Investitionsmaßnahme „**HALO-Missionsinstrumentierung**“ des BMBF finanziert. Da die Mittel aus dem SPP aber erst ab 01.01.2008 abgerufen werden konnten, war es möglich Vorarbeiten der

Dropsondenentwicklung aus dem VI zu finanzieren. Damit ist es gewährleistet, dass die Dropsonde pünktlich für die HALO Demomission NEPTUN im Herbst 2010 und für die danach folgenden Demomissionen und Missionen zur Verfügung steht.

Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Mehrwert der durch das VI geförderten Sondenentwicklung besteht in der Mitnutzung der bereits auf mehreren anderen Forschungsflugzeugen installierten Abwurfmechanik für Dropsonden eines anderen Herstellers. Dies reduziert die Kosten für den Einsatz und die Zulassung des neuen Systems entscheidend. Davon profitieren wiederum mögliche externe Nutzer des neuen Systems.



**Abbildung:** Abwurf des mechanischen Prototyps der Dropsonde von Bord des Forschungsflugzeugs DO 128 (D-IBUF) der TU Braunschweig. Links Dropsonde mit Tochtersonden – Dummies im gepackten Zustand vor dem Abwurf; rechts Dropsonde mit geöffneten Bremsklappen und Hauptfallschirm vor der Freisetzung der Tochtersonden.

## B) IMK-AAF

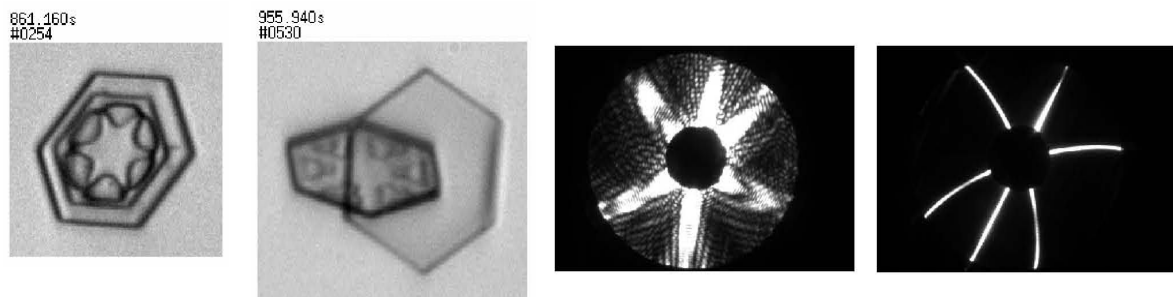
Dr. M. Schnaiter, Dr. O. Möhler, Prof. Dr. T. Leisner

Das Wolkenpartikelmessgerät PHIPS wurde um eine weitere Mikroskopeinheit zur Stereo-Abbildung einzelner Partikel erweitert. Die Messdatenerfassung des Instruments wurde erweitert und beinhaltet nun neben der Stereo-Abbildung auch das Auslesen der 30 Kanäle der polaren Streulichtmesseinheit. Damit stehen alle Messfunktionen des Instruments zur Verfügung.

Im Dezember 2008 wurde die mehrwöchige Messkampagne HALO-02 durchgeführt, in der verschiedene *in situ* Wolkenpartikelmessgeräte unter definierten Bedingungen an der Wolkensimulationskammer AIDA erprobt wurden. Ein Teil dieser Instrumente wird zurzeit für den Einsatz auf HALO entwickelt bzw. angepasst. An der Kampagne nahmen auch das Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre des Forschungszentrums Jülich sowie das Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg teil, die Partner des virtuellen Instituts HALO sind.

Für die Erprobung der Instrumente wurden reine Eiswolken in der Kammer im Temperaturbereich von 0 bis  $-70^{\circ}\text{C}$  erzeugt und über Zeiträume von bis zu 30 Minuten aufrechterhalten. Dabei standen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- Funktion und Detektionseigenschaften der Wolkenpartikelmessgeräte im Falle sehr kalter Eiswolken bestehend aus kleinen, nur wenige Mikrometer großen Eispartikeln
- Vergleich der morphologischen Detailinformationen in den Eiskristallaufnahmen der abbildenden Partikelmessgeräte
- Zusammenhang zwischen der Eiskristallmorphologie und den polaren Streulicht- und Depolarisationseigenschaften der Partikel bzw. der Eiswolken



**Abbildung 1: Links: Wolkenpartikelfotos, die mit dem Instrument PHIPS (IMK-AAF) während einer reinen Eiswolke bei  $-10^{\circ}\text{C}$  in AIDA aufgenommen wurden. Rechts: Beugungsmuster von Eiskristallplättchen, die mit dem Instrument SID3 (IMK-AAF, Uni Hertfordshire) in derselben Wolke detektiert wurden.**

### Verwendung der bewilligten Mittel

- Adaption der Partnergeräte an AIDA  
Beteiligte nationale und internationale Institutionen: FZJ, Uni Heidelberg, ETH Zürich, NCAR (Boulder, USA), DMT (Boulder, USA), University of Hertfordshire (Hatfield, UK)

## **C) IMK-ASF - Spurengase in der Stratosphäre und Tropopausenregion**

*Prof. H. Fischer, Dr. C. Blom, Dr. A. Zahn, Dr. F. Friedl-Vallon, Dr. H. Oelhaf*

### **GLORIA-AB (IMK-ASF)**

Die Entwicklung des ersten Flugmodells von GLORIA-AB ist im Jahr 2008 weiter vorangetrieben worden:

\* Die kardanische Aufhängung (incl. Anbindung ans Flugzeug) befindet sich in der Fertigungsphase. Erste funktionale Einheiten (z.B. Elevationsantrieb) wurden integriert und befinden sich bereits in der Erprobungsphase.

\* Die Flugversion des Lagemess- und

Kontrollsystem befindet sich in Fertigung. Erste Schnittstellentests zu den Aktuatoren wurden vorgenommen.

\* Das Interferometer existiert in einer flugnahen Prototypversion und befindet sich momentan in der Erprobungsphase. Die Resultate der Erprobungen werden gegenwärtig in ein überarbeitetes Design eingearbeitet. Thermal-Tests sind für die nächste Zukunft geplant.

Generell sind die Konstruktionsaufgaben weitgehend abgeschlossen. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt inzwischen auf Fertigung, Integration und Testarbeiten auf Subsystem-Ebene.

### **PTRMS (IMK-ASF)**

Für HALO wurde ein extrem genaues und leichtes Protonen-Transfer-Reaktions-Massenspektrometers entwickelt. Alle Bauteile zwischen Ionenquelle und Detektion im Quadrupol-Massenspektrometer wurden optimiert. Das Instrument wurde zum grossen Teil aufgebaut. Erste Tests haben im Dezember 2008 begonnen.

### **ISOWAT (IMK-ASF)**

Ein TDL Absorptions-Spektrometers zur Messung der isotopischen Zusammensetzung von Wasserdampf wurde aufgebaut, getestet und im Jahr 2008 weiter verbessert sowie das

Gewicht weiter reduziert. Erste Tests mit neuen Lasern bei einer etwas anderen Wellenlänge (wo die Absorptionsquerschnitte höher sind) wurden begonnen. Der Aufbau einer Kalibrationseinheit ist in Arbeit.

### **FAIRO (IMK-ASF)**

Ein schnelles und leichtes UV Photometer für Ozon wurde entwickelt und die meisten Komponenten im Jahr 2008 getestet. Die als Lichtquelle verwendeten UV-LED wurden charakterisiert und ein Optiksystem zum Einkoppeln des Lichtes in die Messzellen aufgebaut. Der Tests für den Aufbau einer schnellen und leichten Elektronik wurden abgeschlossen. Erste Testmessungen haben begonnen

### **POLSTRACC (IMK-ASF)**

\* Vorbereitung der POLSTRACC Demomission (2010)

\* Detaillierung der Payload, W&B, met. Support etc.

\* Treffen mit POLSTRACC Wissenschaftler

\* Berichterstattung für den HALO-WLA

## **2.2 Partner aus den Hochschulen**

### **2.2.1 Universität Bremen – Institut für Umweltphysik**

*Dr. A. Richter, Dr. H. Bovensmann, Prof. Dr. J. P. Burrows, Dr. K. Gerilowski, Dr. L. Andrés-Hernández, Dr. H. Küllmann*

#### **Einleitung**

Das Institut für Umweltphysik an der Universität Bremen bereitet im Rahmen des Virtuellen Institutes HALO eine Reihe von Experimenten für den Einsatz auf der neuen Forschungsplattform HALO vor. Dabei liegt der Schwerpunkt je nach Experiment auf der Weiterentwicklung des Gerätes, der Anpassung an die HALO oder der Vorbereitung der Flugzulassung. Für einige der Geräte wurden auch im SPP HALO bei der DFG Anträge auf Förderung gestellt, wobei zurzeit nur REVOLVER gefördert wird. Die Entwicklung der drei anderen Geräte (AMAXDOAS, MAMAP und ASUR) wird deshalb aus Mitteln der Universität Bremen betrieben.

Ein wichtiger Teil der Aktivitäten im HALO VI ist die Koordination der Bremer Entwicklungen mit dem DLR Flugbetrieb und anderen Nutzern, sowohl im Rahmen des HALO Lenkungsausschusses als auch bei den geplanten Demonstrations-Missionen und bei Fragen der technischen Einbindung in das HALO Flugzeug. Dazu gab es eine Reihe von Treffen an denen Vertreter der Universität Bremen teilnahmen.

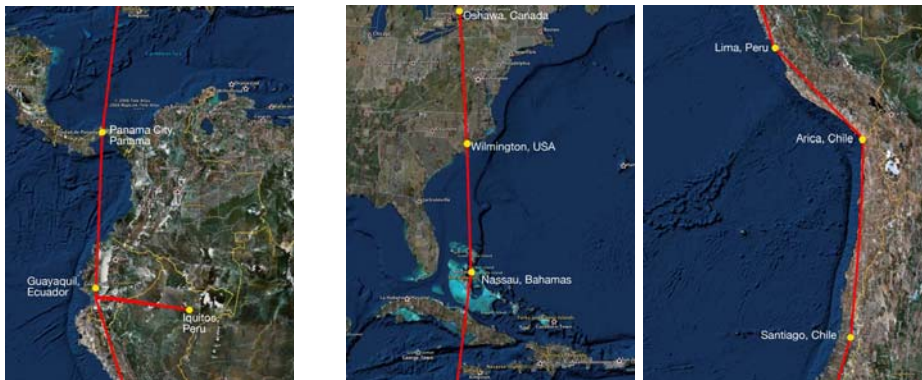
#### **Aktivitäten**

##### **1. MAMAP**

Das MAMap (MethaneAirborneMapper) Instrument wurde im Rahmen einer Kooperation mit dem GeoForschungsZentrum Potsdam für den Einsatz auf verschiedenen Flugzeugplattformen entwickelt, getestet und im Dezember 2006 erstmals auf einer Cessna CARAVAN geflogen. Ziel von MAMap ist die Quantifizierung von Gradienten in Methan- und Kohlenstoffdioxid-Konzentrationen über verschiedenen Bodentypen (Permafrost, tropischer Regenwald, Moore, Mülldeponien, landwirtschaftlich genutzte Flächen usw.). Ziel der Vorarbeiten ist die Erprobung der Mess- und Auswertetechniken für den späteren Einsatz von MAMap auf HALO. Nach erfolgreichem technischem Flug im Dezember 2006 wurden zunächst einige Erweiterungen und Modifikationen an Hard- und Software vorgenommen. Im August und September 2007 wurden 2 Messkampagnen durchgeführt, bei denen das Gerät in eine Cessna 207 der FU- Berlin eingebaut und verschiedene CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> Quellen wie Kohlekraftwerke, Feuchtgebiete und Mülldeponien befliegen wurden.

In 2008 wurde das Gerät für eine Messkampagne mit dem Forschungsflugzeug Polar-5 des Alfred Wegener Institutes für polare Meeresforschung (AWI) vorbereitet. Dazu mussten nach Auflage von Transport Canada zunächst geringere Umbauten am Gerät vorgenommen werden, um das Gerät gemäß der JAR/FAR-25 Norm für die Polar-5 zu zertifizieren. Im Rahmen dieser Zertifizierung wurde ein Dokumentensatz von Zulassungsunterlagen gemäß der Vorgaben der Firma OPTIMARE angefertigt. Da die Geräte für den Einbau auf HALO ebenfalls der JAR/FAR-25 Norm entsprechen müssen ist somit der Großteil der benötigten Dokumentation für die Zulassung auf HALO bereits vorhanden und bedarf nur geringfügiger Veränderungen bezüglich der Bodenbefestigungen des Racks. In Sommer 2008 wurde zunächst eine kleine Messkampagne über Mooregebiete durchgeführt, um die Funktionalität des Gerätes vor der Polar-5 Kampagne zu überprüfen. Bei diesem Flug wurden letzte Modifizierungen der Software getestet sowie eine Reihe von Bodenvergleichsmessungen durchgeführt. Im Rahmen dieses Vergleichs wurden verschiedene Bodentypen überfliegen wobei während der Überflüge auch In-Situ-Messungen am Boden vorgenommen wurden. Außerdem wurde ein stationäres Eddy-Kovarianz-System mehrmals überfliegen. Ende

Oktober wurde das MAMap Instrument in die Polar-5 integriert und durch Transport-Canada für den bevorstehenden Messflug zertifiziert. Anschließend wurde das Gerät mit der Polar-5 nach Oshawa (Kanada) überführt. Der anschließende reguläre Überflugsflug der Polar-5 von Oshawa nach Novo wurde dann dazu benutzt mit MAMap CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> unter verschiedenen klimatischen und topografischen Bedingungen in der Nord- und Südhemisphäre zu messen. Damit konnte die Funktionalität des Gerätes unter verschärften Kampagnenbedingungen demonstriert werden. Die aus diesem Transect gewonnenen Daten werden vor allem für die Verbesserung der Datenauswertungsalgorithmen und die Feinabstimmung der MAMap Operations- und Datenaufnahmen-Modi benötigt. Da das Gerät auf dem Überflugsflug nur als zusätzliches Instrument am Bord der Polar-5 integriert war und keine Wartezeiten für optimale Messbedingungen eingeplant werden konnten, mussten wegen eines Hurrikans über Kuba und den damit verbundenen Wetterstörungen größere Datenlücken in Kauf genommen werden. Das Gerät wurde nach erfolgreicher Beendigung der Messungen in Santiago de Chile ausgebaut und nach Deutschland verschifft.

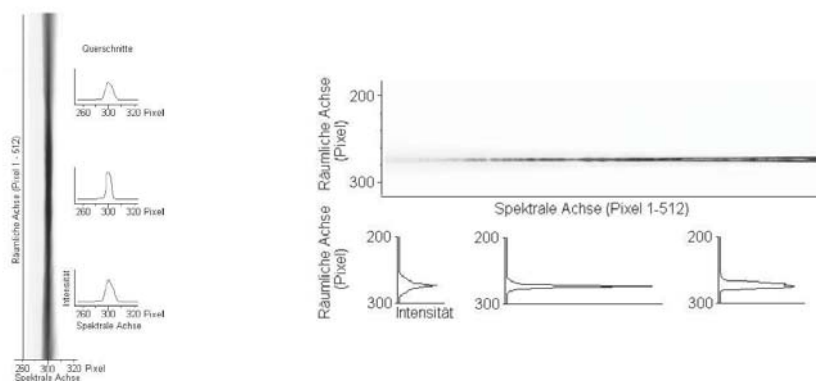


**Abb. 1:** MAMap Transect von Oshawa (Canada) nach Santiago de Chile

## 2. AMAXDOAS

Der gemeinsame DFG-SPP Antrag der Universitäten Bremen und Heidelberg zur Förderung des AMAXDOAS Instrumentes auf HALO wurde leider abgelehnt. Da ein funktionierendes AMAXDOAS Gerät noch von der SCIAMACHY-Validation zur Verfügung steht, wird an der Entwicklung eines für HALO geeigneten Aufbaus mit universitären Mitteln weitergearbeitet. Die Einhaltung des Zeitplans erweist sich aber als schwierig.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten war die Charakterisierung der Abbildungseigenschaften des verwendeten Spektrographen. Diese sind konstruktionsbedingt weder über den Spektralbereich, noch in räumlicher Richtung konstant. Ein Beispiel für gemessene Spaltfunktionen (in beide Richtungen) ist in Abb. 2 gegeben.



**Abb. 2:** Veränderung der Linienfunktion des AMAXDOAS in Abbildungsrichtung (links) und in spektraler Richtung (rechts)

Darüber hinaus wurde auch die verwendete CCD charakterisiert und auf Konstanz des Dunkelsignals, Linearität und dynamischen Bereich vermessen. Die Ergebnisse bestätigen die Herstellerangaben und ermöglichen den Einsatz im Flugbetrieb.

Im Herbst 2008 wurde das Instrument für einige Tage parallel zu einem MAX-DOAS Instrument auf dem Dach des Institutes für Umweltphysik betrieben um einen Test unter realistischen Bedingungen zu ermöglichen. Die Ergebnisse werden zurzeit noch ausgewertet.

Der für 2008 geplante Testflug auf einem kleineren Flugzeug konnte aus organisatorischen Gründen nicht wie geplant durchgeführt werden (das gewählte Flugzeug war kurzfristig bei EUFAR nicht mehr verfügbar) und musste auf die erste Hälfte von 2009 verschoben werden.

### 3. REVOLVER / DUALER (Dual-PeRoxy Radical Chemical Amplifier)

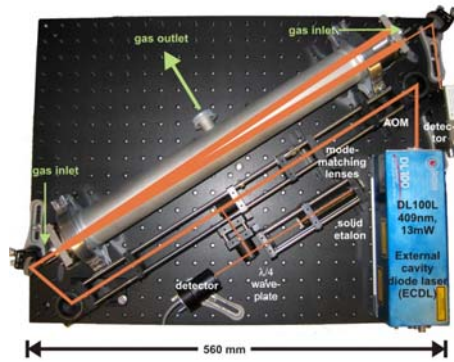
Im Rahmen des HALO-VIs sind die für das REVOLVER-Projekt (SPP/1294\_ BU 688/16-1) geplanten Aktivitäten ergänzt worden. Diese lagen im Jahre 2008 schwerpunktmäßig bei den folgenden Punkten:

1. Bau und erste Charakterisierung des **PerCEAS- NO<sub>2</sub> Detektors (Peroxy Radical Cavity Enhanced Absorption Spectrometer)** im Labor sowie ein Aufbau für das Fluginstrument, dessen Konzept bei der IGAC- Tagung (Annecy, September 2008) präsentiert wurde (s. Abb. 3). Der Effekt des optischen Feedbacks konnte im Labor bereits untersucht werden und bei zwei verschiedenen Spiegelherstellern (Fa. Los Gatos, USA, und Fa. Layertec, Deutschland) beobachtet werden. Ebenso wurde der Etalon-Messbereich eingerichtet, so dass die Frequenzverstimmung des Lasers beobachtet werden kann. Ein erstes OF-CEAS (**optical feedback cavity enhanced absorption spectroscopy**) Messsignal von NO<sub>2</sub> ist in Abb. 4 wiedergegeben.
2. Entwicklung eines neuen Konzeptes für die Anpassung der REVOLVER-Reaktionskammern an das von der Firma Enviscope herzustellende HALO- Standard Spurengaseinlasssystem. Dies ist nötig, da aufgrund der Vogelschlagproblematik nur Aufbauten, die einen Festigkeitsnachweis einer diesbezüglich zertifizierten Firma besitzen, zugelassen werden.  
Der Entwurf eines Pylonen mit aerodynamischer Haube wurde mit der Firma Enviscope diskutiert und iteriert. Die durch das DLR vorläufig definierten Maße des Pylonen definieren die Maße und die Zahl an Reaktionskammern (zwei) im Inneren.
3. Zertifizierung des REVOLVER Instrumentes für die Sommer 2009 geplante Messkampagne der OMO Mission. Dafür wurden schrittweise die benötigten Unterlagen vorbereitet und geliefert. Der Zulassungsverfahren ist noch nicht abgeschlossen.

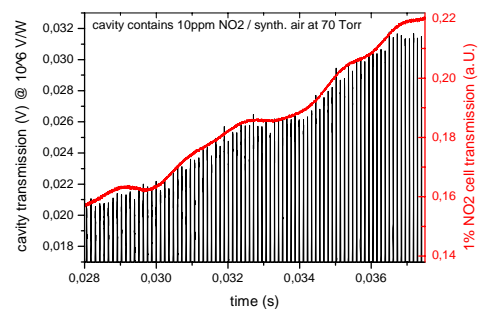
Im Jahre 2008 haben wir bei den Vorbereitungstreffen zwischen dem DLR Flugbetrieb und den weiteren Wissenschaftspartnern für die Vorbereitung des OMO Demomission teilgenommen.

### 4. ASUR

Für die notwendigen Platz- und Gewichtseinsparungen, die ein Einsatz des ASUR Radiometers auf HALO erfordern, wurde ein digitales Fast-Fourier-Transform-Spektrometer (FFTS) der Firma Acqiris mit hoher Bandbreite und Auflösung beschafft. Dieses befindet sich auf einer kleinen CompactPCI-Platine, und ersetzt gleichzeitig das veraltete Akusto-Optische Spektrometer (AOS) und das Chirp-Transform Spektrometer (CTS), die beide in 19“-Einschüben von 4 bzw. 8 Höheneinheiten untergebracht waren und erheblich zum Gewicht des Instrumentes beitrugen. Aufgrund der neuartigen Technologie, die bei den erforderlichen hohen Samplingraten des FFTS zum Einsatz kommt, wurde das Spektrometer zunächst



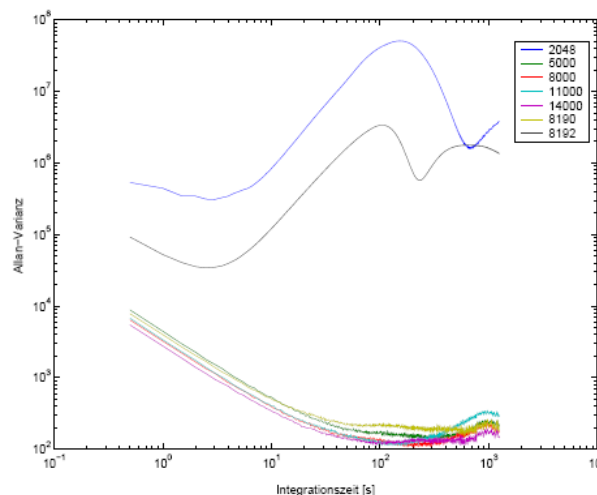
**Abb. 3** Aufbau des NO<sub>2</sub>-Detektors für den Einbau in das HALO-Rack



**Abb. 4:** OF-CEAS Signal (schwarz) und Absorptionssignal von 1% NO<sub>2</sub> / Ar (rot)

intensiv getestet. Dabei wurden, wie im vorigen Bericht erwähnt, periodisch wiederkehrende Spikes über das Spektrum verteilt gefunden. Jeder 512-te Kanal war von besonders hohen Spikes betroffen, dies entspricht Vielfachen der Frequenz 31,25 MHz. Wahrscheinlichste Ursache ist ein Taktgeber des Analyzers, der bei der doppelten Frequenz arbeitet. Um „saubere“ Messungen zu erhalten (ein triftiger Grund hierfür wird im folgenden Absatz beschrieben), werden die entsprechenden 290 Kanäle von den über 16.000 Kanälen des FFTS aussortiert, wobei nur wenig an spektraler Information (etwa 1,8 %) verloren geht.

Es wurden weiterhin Allan-Varianz-Messungen mit dem Spektrometer mit und ohne Radiometern durchgeführt, die eine Verbesserung der Stabilität gegenüber AOS bzw. CTS anzeigen, und längere Kalibrationszyklen und damit auch Integrationszeiten erlauben. In Abbildung 5 werden für ausgesuchte Kanäle die Allan-Varianzen über der Integrationszeit dargestellt. Für die „normalen“ Kanäle (im Plot unten) wurden Integrationszeiten von über 100 Sekunden gemessen (Minima). Die beiden oberen Kurven zeigen Kanäle mit „Spikes“, die einen völlig unüblichen Verlauf aufzeigen und daher softwaremäßig unterdrückt werden. So präpariert lässt sich das FFTS für die Flugzeug-Messungen einsetzen. Zurzeit werden Langzeittests durchgeführt um einen stabilen Betrieb gewährleisten zu können.



**Abb. 5:** Allan-Varianz-Plots einiger Kanäle des FFTS ohne angeschlossenes Radiometer. Die oberen zwei Kanäle (2048 und 8192) mit sehr hohen Varianzen gehören zu den defekten.

## **2.2.2 J. W. Goethe-Universität Frankfurt – Institut für Atmosphäre und Umwelt**

*Prof. Dr. U. Schmidt, Dr. A. Engel, Dr. H. Bingemer, Dr. U. Bundke, Dr. M. Volk*

### **1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse**

Das Institut für Atmosphäre und Umwelt der J.W. Goethe Universität hat im Jahr 2008 mit der Konstruktion der Messinstrumente für HALO begonnen und im Rahmen eines Nachantrages zum Schwerpunktprogramms (SPP1294) der DFG für HALO die Mittel beantragt um die in Entwicklung befindlichen Instrumente für HALO zu zertifizieren. Zurzeit sind drei Instrumente konkret im Bau, die im Rahmen des SPP gefördert werden. Dies sind zwei Gaschromatographen und ein Eiskernzähler. Der Entwicklungsstand der einzelnen Geräte wird im Folgenden beschrieben. Diese Instrumente, und auch die wissenschaftlichen Fragestellungen konzentrieren sich auf zwei Aspekte. Dies sind zum einen die Erforschung der troposphärischen Eisphase im Rahmen des auslaufenden Sonderforschungsbereiches 641 z.B. Demomission ML-Cirrus, sowie der Untersuchung von Transportprozessen im Tropopausenbereich, z.B. im Rahmen der Demomission TACTS und POLSTRACC.

Aus diesem virtuellen Institut wurden im Jahr 2008 vor allem teilweise die Personalstellen von Dr. Michael Volk und Dr. Thomas Wetter finanziert.

Dr. Volk hat wurde zum 1.9.2008 nach Wuppertal als Professor berufen. Als Teilprojektleiter des SPP Projektes zur Entwicklung des in-situ GC PERTRAS finanzierte er teilweise seine eigene Stelle aus Mitteln des VI-Halo. Zudem finanzierte er eine Reise ans Brookhaven National Laboratory zu einem Kooperationstreffen zur Halo Instrumentenentwicklung.

Dr. Wetter hat die Planung und Vorbereitung der Zertifizierung unserer Geräte ab dem 1.7.2009 bis 31.12.2009 vorangetrieben Seine Hauptaufgaben war die Einhaltung der Rahmenbedingungen laut den Technical Notes für HALO im Bereich Geräteintegration, EMV Konformität der Elektronik. Seine Aufgabe war ebenfalls die konkrete Umsetzung in enger Zusammenarbeit mit den Elektronik- und Feinmechanik Werkstätten zu koordinieren.

### ***In-situ GC/MS GhOST-MS***

Ebenso wie für das Gerät FINCH Halo, wurde für den GhOST-MS mit der Universität Mainz sowie mit dem MPI-C in Mainz eine Kooperation zur gemeinschaftlichen Anschaffung wichtiger elektronischer Komponenten, sowie zum Aufbau der erforderlichen Rack-Powerdistribution-Box getroffen.

Die Planungen für GhOST-MS sind nunmehr weitestgehend abgeschlossen. Im Gegensatz zu früheren Geräteentwicklungen wurde für dieses Gerät die Planung weitestgehend am Computer durchgeführt, was wegen des für ein solches Gerät sehr geringen Platzangebotes nötig war. Es wurden an den vorhandenen Labormessgeräten Test für einzelne Komponenten durchgeführt. Somit ist nunmehr die Entscheidung getroffen. die für den Massenspektrometerkanal nötige Probenanreicherung unter Verwendung von CO<sub>2</sub> als Kühlmittel (bisher geplant: flüssiger Stickstoff) auf einer mit einem Adsorbens (HayeSep D) gefüllten Probenschleife durchzuführen. Als Trennsäule wurde eine GasPro Säule als beste Säule identifiziert und die Probentrocknung wird auf chemischen Wege durch Verwendung von Magnesiumperchlorat erfolgen. Die schnelle Heizungsregelung für die Probenschleife und die Trennsäule wurde unter Labview mit einem CompactRio System realisiert. In Abb. 1 sind die Schemazeichnungen einiger wichtiger Komponenten gezeigt, Abbildung 2 zeigt den Gesamtzusammenbau. In den kommenden Monat wird parallel mit dem der Bau und der Zulassung des Gerätes begonnen werden.

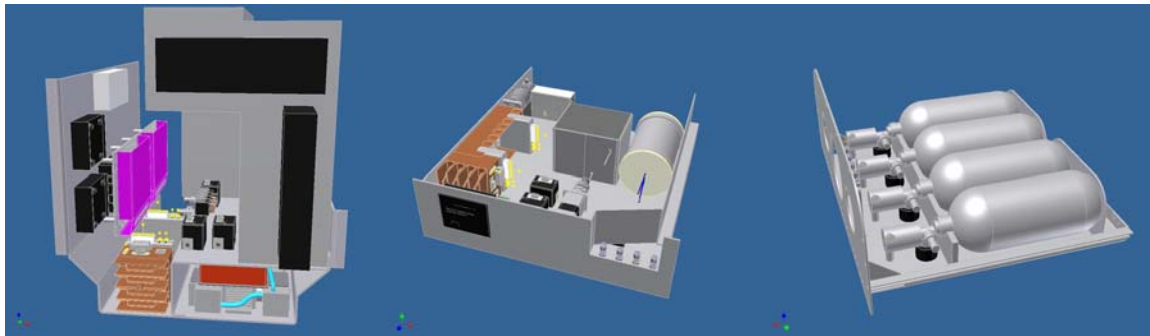


Abbildung 1: wichtige Gerätekomponenten von GhOST-MS: von links: Massenspektrometerkanal, ECD Kanal und Gaseinschub (Schublade).

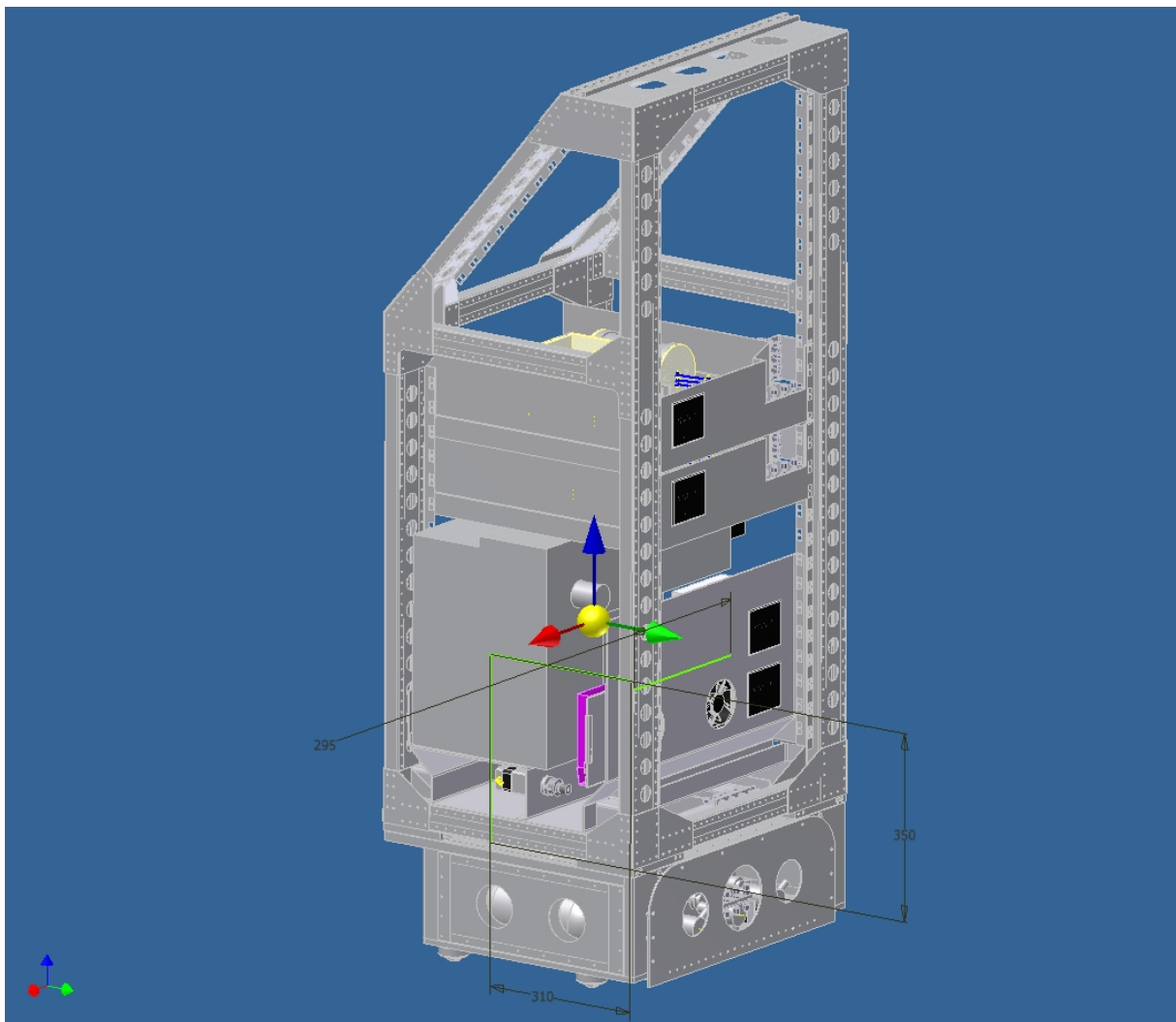


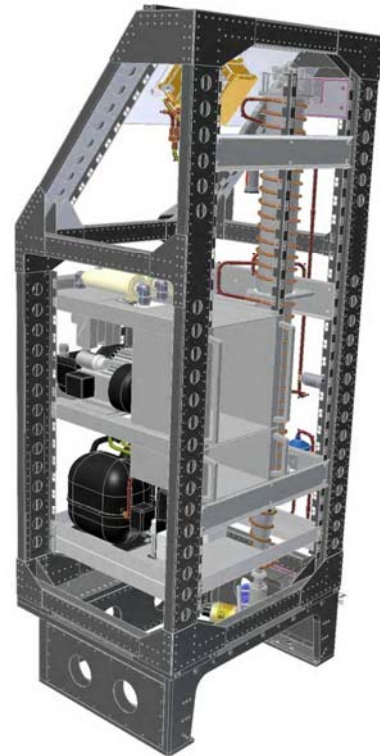
Abbildung 2: Geplanter Gesamtaufbau des GhOST-MS. Der Massenspektromterkanal wird aufgrund seines hohen Gewichts unten eingebaut. Darüber werden die ECD Kanäle eingebaut und die Gasflaschen werden in der Rackschublade untergebracht.

### FINCH HALO (Fast Ice Nuclei Chamber auf HALO)

Mit der Universität Mainz sowie mit dem MPI-C in Mainz wurde eine Kooperation vereinbart zur gemeinschaftlichen Anschaffung wichtiger elektronischer Komponenten, sowie zum Aufbau der erforderlichen Rack-Powerdistribution-Box.

Die Aufbauarbeiten am FINCH HALO Instrument wurden 2008 beinahe abgeschlossen und der Zertifizierungsprozess in Kooperation mit der Firma ENVISCOPE eingeleitet. Ziel ist es alle Zulassungsunterlagen für eine Modulzulassung im April einzureichen. Die Missionszulassung für ML-Cirrus wird dann unter Führung des DLR in Kooperation mit der Firma Optimare ab Juli 2009 durchgeführt. Alle Zeiten sind für die Demomission ML-Cirrus unter den beteiligten Partnern (DLR, Optimare und ENVISCOPE) koordiniert und abgesprochen.

Ein Test unter Flugbedingungen ist Ende September an der AIDA Kammer in Karlsruhe im Rahmen eines IN Vergleichsworkshops (ICIS09) vorgesehen



### **In-situ GC PERTRAS**

Die detaillierte Planung und Projektierung der Detektionseinheit des „Perfluorocarbon Tracer System“ (PERTRAS) wurde fortgesetzt. Eine enge Kooperation mit der Tracer Technology Group am Brookhaven National Laboratory (New York, USA), der weltweit führenden Gruppe hinsichtlich der Entwicklung und des Einsatzes von PFT-Detektionssystemen, wurde angestrebt. Diese ließ sich schließlich jedoch nicht realisieren, da BNL zwar ein Angebot für die komplette Entwicklung eines in-situ GC unterbreitete (das das Projektbudget sprengen würde), jedoch kein Interesse am Verkauf von einzelnen Modulen oder von Know-How hatte. Daraufhin wurde auf eine komplette Eigenentwicklung gesetzt, wobei aber Recherchen über kommerziell erhältliche Systeme angestellt wurden und momentan die Nutzung einzelner Module der Firma Gerstel in Erwägung gezogen wird.

Mit dem Wechsel von Dr. Michael Volk an die Universität Wuppertal endeten die Arbeiten zu PERTRAS an der Universität Frankfurt im August. Das entsprechende DFG-Projekt wurde an die Universität Wuppertal transferiert, wo nun die eigentliche Entwicklung des GCs stattfinden wird. Ende des Jahres wurde dort ein kommerzielles GC-MS System mit Anreicherungsmodul angeschafft, mit dem nun die analytische Meßmethode zur Detektion von PFTs im Bereich fmol/mol ( $10^{-15}$ ) entwickelt wird. Dieses System wird sich auch dazu nutzen lassen, Probenröhrchen des vom DLR entwickelten PFT-Sammlers im Labor zu analysieren. Parallel dazu wird derzeit mit dem mechanischen und elektrischen Design des Flugzeug-GC begonnen.

## 2.2.3 Universität Hamburg – Meteorologisches Institut

*Dr. G. Peters*

### **Zusammenfassung**

Das für HAMP beschaffte Wolkenradar wurde im Frühjahr 2008 einer gründlichen Felderprobung unterzogen. Hierfür wurde das System im Rahmen des europäischen Projekts EUCAARI am "Mace Head" betrieben, dem Observatorium des irischen Centre for Climate & Air Pollution Studies, wo - ähnlich wie später in HALO - simultane Radiometer- und Lidar-Messungen durchgeführt wurden. Das Wolkenradar lief ohne Störungen und hat die in den neuen digitalen Empfänger gestellten Erwartungen voll erfüllt.

Die Lieferung des aus drei Modulen bestehenden Mehrkanalradiometers hat sich wegen notwendiger Nachentwicklungen bis zum Ende des Jahres 2008 hingezogen, so dass die für 2008 geplante Erprobung des Gesamtsystems HAMP in das Jahr 2009 verschoben werden muss. Hierfür wurde ein mobiler Geräteträger vorbereitet, auf dem die Komponenten unter ähnlichen räumlichen Bedingungen wie auf HALO installiert und erprobt werden können.

Die für den Einbau und die Zulassung für HALO notwendigen Prüfungen und Modifikationen aller HAMP-Komponenten wurden in Kooperation mit dem IPA (DLR) einer hierauf spezialisierten Firma in Auftrag gegeben.

Eine große Aufgabe, die mit der effektiven Nutzung von HAMP verbunden ist, ist die Entwicklung von Retrievalverfahren, die explizit von der Synergie der aktiven und passiven Sensoren Gebrauch machen. Die bekannten Verfahren können nur als Ausgangspunkt dienen, da die hier realisierte Kombination von Frequenzbändern neuartig ist. Sie verspricht insbesondere eine effektivere Separation von Eis und Wasser in gemischtphasigen Wolken und eine verbesserte passive Niederschlagsableitung. Als erster Schritt auf dem Wege zur Lösung dieser Aufgabe wurden in Kooperation mit der Universität Köln (Crewell, Mech) Vorwärtssimulationen mit Modelldaten und Retrieval-Erprobungen mit vielversprechenden Ergebnissen durchgeführt.

Quantitative Radar-Messungen der Regenrate  $R$  von HALO werden weitgehend auf die Interpretation der Reflektivität  $Z$  angewiesen sein. Dagegen wird die vom Boden mögliche Gewinnung von Tropfengrößenverteilungen (DSDs) aus Dopplerspektren wegen der hohen Fluggeschwindigkeit und der damit verbundenen Dopplerverbreiterung nicht oder nur eingeschränkt möglich sein. Eine besondere Eigenschaft des HALO-Wolkenradars ist der Empfang auch des kreuzpolarisierten Streusignals. Das Verhältnis zum kopolarisierten Streusignal (LDR) liefert Informationen über die Symmetrie der streuenden Teilchen. Die hierin enthaltene Information wird jedoch bis auf die Erkennung atmosphärischen Planktons bislang kaum genutzt (siehe Zwischenbericht 2007). Mit Hilfe von VI-Mitteln wurde im Jahr 2008 anhand bodengebundener Radarmessungen eine empirische Studie über den Zusammenhang zwischen dem LDR in der Eisphase und den DSDs durchgeführt. Hierbei wurde ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen dem LDR in der Schmelzschicht und der Tropfengrößenverteilung gefunden. Wir erwarten daher, dass der in der Schmelzschicht gemessene LDR-Wert zur Anpassung der aktuellen  $Z(R)$ -Beziehung verwendet werden kann und zu einer deutlich verbesserten Genauigkeit der abgeleiteten Regenrate führen wird. Die LDR-Werte in der Schmelzschicht sind üblicherweise relativ hoch, so dass das Verfahren robust sein sollte und auch im Flugzeug (mit einer wahrscheinlich angehobenen Detektionsgrenze für LDR) einsetzbar sein sollte. Der Nachweis, in welchem Maße die Regenratenbestimmung damit verbessert werden kann, soll in einer weiteren Studie im kommenden Jahr geführt werden.

### **1. Arbeits- und Ergebnisbericht**

#### **a) Ausgangslage:**

HALO soll mit einem kombinierten aktiven, passiven Mikrowellen-Fernerkundungssystem ausgerüstet werden (HAMP = HALO Microwave Package). Wenn auch der generelle Nutzen eines solchen Systems zur Charakterisierung von Wolken und Niederschlag außer Frage

steht, sind für die detaillierte Definition und vor allem die effektive Nutzung des Systems einer Reihe technischer und wissenschaftlicher Fragen zu klären. Die Eckdaten des Systems wurden bereits vor Beginn bzw. in der Anfangsphase des VI-Projekts festgelegt. Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit im Jahr 2008 war dagegen die Entwicklung von effektiven Retrieval Algorithmen für wolkenphysikalische Parameter.

#### **b) Fortschritt der durchgeführten Arbeiten:**

Es war geplant, in der zweiten Jahreshälfte 2008 erste bodengebundene Daten mit dem kompletten HAMP-System zu gewinnen, die dann zur Erprobung der in der Entwicklung befindlichen Retrievalalgorithmen dienen sollten. Dieser Schritt muss auf 2009 verschoben werden, da die Fertigstellung der Radiometer mehr Zeit als veranschlagt in Anspruch nahm. Dadurch konnten auch die für die Feldmessungen vorgesehenen Mittel aus dem VI nicht wie geplant ausgegeben werden. Die Vorbereitung der Integration des Systems in HALO ist dagegen planmäßig vorangeschritten. Wesentliche Arbeitsschritte wie z.B. die Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit – vor allem des Radars – mit dem Flugzeug können naturgemäß erst im nächsten Jahr, wenn HALO für solche Tests zur Verfügung steht, durchgeführt werden. Die Retrievalentwicklung ist ebenfalls planmäßig vorangegangen und hat zu ermutigenden Ergebnissen geführt. Hierzu haben im Wesentlichen drei Aktivitäten beigetragen:

1. Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, *S. Kowalewski*: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen LDR in der Schmelzschicht und Tropfenspektren unterhalb der Schmelzschicht. Diese Studie wurde aus Mitteln des VI ermöglicht und hat gezeigt, dass ein hoch-signifikanter Zusammenhang zwischen LDR und der typischen Tropfengröße besteht. Dieser bisher unbekannte Zusammenhang dürfte von großem Nutzen für die quantitative Bestimmung von Regenraten aus HALO-Radarmessungen sein.
2. Universität Köln, *M. Mech, S. Crewell*: Vorwärtssimulationen von Radarreflektivitäten und Helligkeitstemperaturen bei allen HAMP-Frequenzen aus Modelldaten und Erprobung von Retrievalalgorithmen durch Vergleich der rückgewonnenen Wolken- und Niederschlagsparameter mit den Modell-Ausgangsdaten.
3. Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg, *S. Melchionna*: Untersuchung des Zusammenhangs von Radar-Dopplergeschwindigkeitsprofilen in Wolken und mit Wachstumsprozessen von Hydrometeoren sowie von multimodalen Dopplerspektren mit gemischtphasigen Hydrometeoren.

#### **c) Darstellung der erzielten Ergebnisse:**

Wir beschränken uns hier auf die Darstellung der Ergebnisse aus der ersten der oben genannten Aktivitäten, da diese mit VI-Mitteln ermöglicht wurde.

Eine spezielle Schwierigkeit bei flugzeuggestützten (und in noch stärkerem Maße bei satellitengestützten) Radarmessungen von Wolken und Niederschlag ist die Verbreiterung von Dopplerspektren, die durch die hohe Fluggeschwindigkeit und endliche Strahlbreite des Radars bedingt ist. Die Doppler-Geschwindigkeitsspektren werden bei einer gaußförmigen Antennenkeule mit der Funktion  $\exp\left(-v^2/(2v_a^2 \sin^2 \varphi_r)\right)$  gefaltet, wobei  $v$  die Dopplergeschwindigkeit,  $v_a$  die Fluggeschwindigkeit und  $\varphi_r$  die (halbe) Breite der Antennenkeule ist. Die Breite  $2v_a \sin \varphi_r$  dieser Faltungsfunktion beträgt bei der Reisegeschwindigkeit 200 m/s und bei einer Keulenbreite von  $0,8^\circ$  etwa 3 m/s. Spektrale Strukturen mit geringerer Geschwindigkeitsbreite werden durch die Faltung weitgehend unterdrückt. Daher sind Retrievalverfahren, die die detaillierte Struktur von Dopplerspektren auswerten, nur bedingt anwendbar. Davon ist insbesondere die (bodengebunden sehr gut funktionierende) Ableitung von Regenraten aus Dopplerspektren betroffen. Daher wurde von Kowalewski eine Studie zur Suche nach einem robusteren Retrievalalgorithmus für die Regenrate durchgeführt, der auch im Flugzeug einsetzbar ist, der aber möglichst eine

bessere Qualität liefert als die traditionelle Verwendung einer festen Beziehung zwischen Radarreflektivität  $Z$  und Regenrate  $R$ . Diese Studie ist noch nicht vollständig abgeschlossen, sie hat jedoch bereits zu einem sehr nützlichen Ergebnis geführt:

Ausgangspunkt war die bekannte Beobachtung, dass "konvektiver" Regen kleinere mittlere Tropfengrößen aufweist als "stratiformer" Regen gleicher Intensität. Hierbei sind in der Terminologie der Radarmeteorologie die Begriffe "konvektiv" und "stratiform" Synonyme für "Schmelzschicht ist im Reflektivitätsprofil nicht detektierbar" und "Schmelzschicht ist im Reflektivitätsprofil detektierbar". Es wurde zunächst versucht, diese grobe binäre Einteilung zu verfeinern, indem die Intensität des mit der Schmelzschicht verbundenen Reflektivitätsmaximums zur Tropfengrößen in Beziehung gesetzt wurden. Dieser Ansatz erwies sich allerdings als nicht erfolgreich. Zwischen dem Wert des Reflektivitätsmaximums in der Schmelzschicht und der typischen Tropfengröße unterhalb der Schmelzschicht konnte keine signifikante Korrelation gefunden werden. Lediglich bei binärer Klassifikation "konvektiv", "stratiform" konnte ein Zusammenhang mit Parametern der  $Z(R)$ -Beziehung gefunden werden, der in qualitativer Übereinstimmung mit Literaturangaben steht.

Daraufhin wurde ein von dem HALO-Wolkenradar messbarer jedoch bisher kaum genutzter Parameter, nämlich das lineare Depolarisationsverhältnis LDR, auf einen möglichen Zusammenhang mit der Tropfengröße untersucht. LDR ist das Verhältnis zwischen der kreuz- und kopolarisierten Rückstreuleistung. Bei sphärischen Teilchen, wie kleinen Wassertröpfchen, ist dies Verhältnis Null. Mit zunehmender Abweichung von der Kugelsymmetrie und zunehmender Teilchengröße wird LDR jedoch größer. In der Schmelzschicht weist LDR ein deutliches Maximum auf, was darauf zurückzuführen ist, dass einerseits die oberflächlich geschmolzenen Eiskristalle noch keine Kugelform angenommen haben und dass andererseits wegen der Wasserhaut der Streuquerschnitt gegenüber den vollständig gefrorenen Eiskristallen schon stark zugenommen hat. Die Hypothese ist, dass größere Eiskristalle sowohl zu einem erhöhten Wert des LDR-Maximums in der Schmelzschicht als auch zu größeren Tropfen unterhalb der Schmelzschicht führen sollten. Grundsätzlich sollten zwar auch LDR-Messungen oberhalb der Schmelzschicht Aussagen über die Kristallgröße zulassen. Die Zuordnung zwischen den Tropfenspektren unterhalb der Schmelzschicht und LDR-Messungen über der Schmelzschicht dürfte wegen der starken Inhomogenität und Instationarität von Niederschlagsfeldern mit zunehmender Höhe über der Schmelzschicht schwieriger werden. Erschwerend kommt bei Messungen oberhalb der Schmelzschicht die geringe Fallgeschwindigkeit von Eiskristallen und damit die große Zeitverschiebung hinzu, die zwischen den unterschiedlichen Messniveaus anzubringen ist. Da die Schmelzschicht die tiefste Höhe ist, in der LDR mit den Hydrometeoreigenschaften verknüpft ist, wurde diese als Referenzhöhe für LDR-Messungen gewählt.

Der Vergleich der LDR-Maxima in der Schmelzschicht mit den aus Dopplerspektren abgeleiteten DSDs unterhalb der Schmelzschicht zeigt in der Tat einen klaren Zusammenhang. Hierzu wurden Messdaten in LDR-Klassen mit je 1 dB Klassenbreite sortiert. Die Höhenauflösung der Messungen beträgt 100 m, die zeitliche Auflösung 1 min und der Datenumfang (mit detektiertem Regen und nach Durchlaufen diverser Plausibilitätsprüfungen) ca.  $10^4$  Samples. In jeweils 500 m dicken Schichten unterhalb der Schmelzschicht wurden dann für jede LDR-Klasse die mittleren DSDs bestimmt. In Bild 1 sind die Ergebnisse für zwei LDR-Klassen gezeigt. Als Beispiel wurde ein relativ hoher (zentriert um -6,6 dB) und relativ niedriger (zentriert um -12,5 dB) Wert gewählt. Der vertikale Abstand der 500 m Schicht zur Schmelzschicht ist farbig kodiert. Man erkennt, dass die DSD bei dem kleineren LDR-Wert (rechts) deutlich steiler mit zunehmender Tropfengröße abfällt.

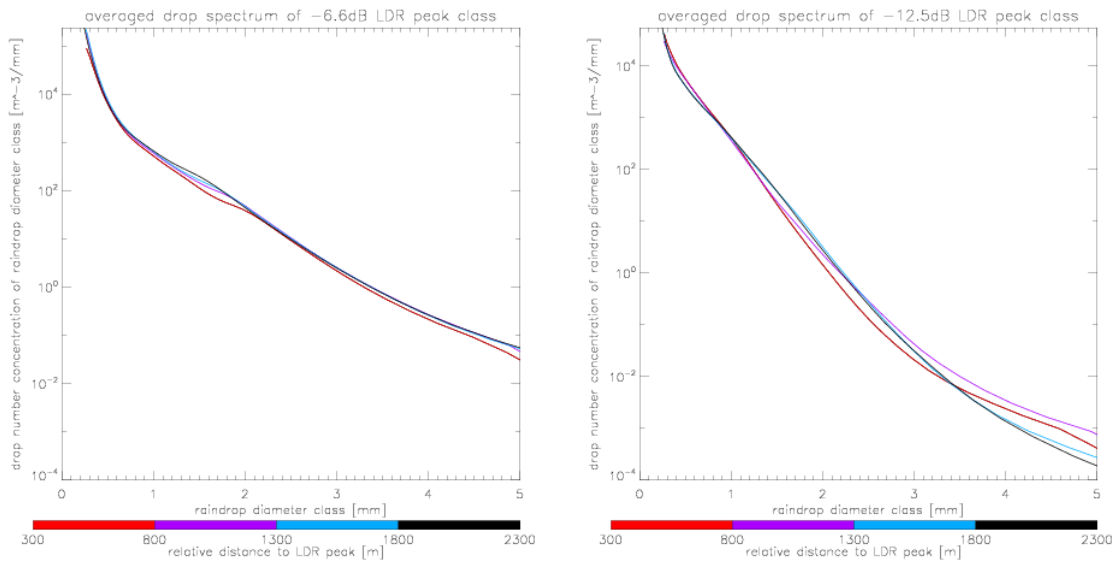


Bild 1: DSDs für zwei LDR-Klassen in mehreren 500 m dicken Schichten unterhalb der Schmelzschicht. LDR-Klasse links: - 6 bis -7 dB, LDR-Klasse rechts: -12 bis -13 dB.

Die Form der DSD kann durch den massengewichteten mittleren Durchmesser  $D_m$  parametrisiert werden. Bild 2 zeigt  $D_m$  als Funktion von LDR, wiederum in 500 m dicken Schichten unterhalb der Schmelzschicht. Man erkennt, wie nach den Spektren zu erwarten, eine Zunahme von  $D_m$  mit zunehmendem LDR, wobei diese Abhängigkeit auf den Bereich  $-12 \text{ dB} < \text{LDR} < -5 \text{ dB}$  konzentriert ist.

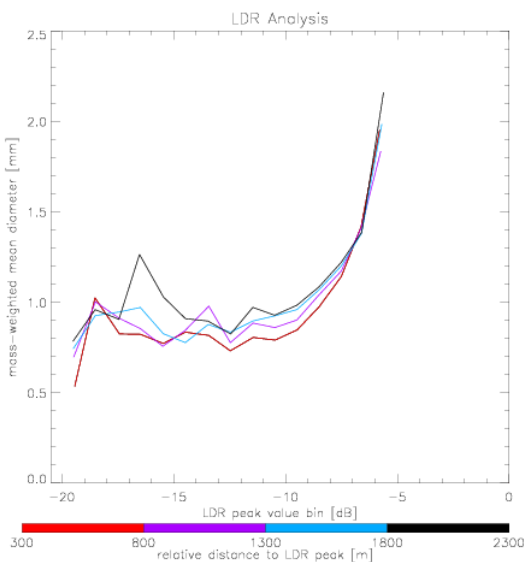


Bild 2:  $D_m$  als Funktion von LDR in der Schmelzschicht. Zwischen LDR = - 12 dB bis - 5 dB nimmt  $D_m$  von 0,9 mm auf 2,2 mm zu. Bei LDR-Werten unterhalb - 12 dB bleibt der Wert von  $D_m$  etwa konstant bei 0,9 mm.

Hieraus ergibt sich die Möglichkeit die  $Z(R)$ -Beziehung mit dem aktuell gemessenen LDR zu modulieren. Wird für die  $Z(R)$ -Beziehung das übliche Potenzgesetz angesetzt mit  $Z = aR^b$ , so kann aus diesen Daten  $a$  und  $b$  als Funktionen von LDR bestimmt werden. Interessanterweise ergibt sich bei dieser Klassifizierung für den Nichtlinearitätsparameter  $b$  nahezu der Wert 1. D.h. durch das Festhalten von LDR wird die Form des Tropfenspektrums

offenbar weitgehend definiert. Ist nämlich nur die Gesamtteilchenzahl variabel nicht aber die Form der DSD, so muss der Zusammenhang zwischen  $Z$  und  $R$  linear sein. Die Abhängigkeiten von  $a$  und  $b$  von LDR sind in Bild 3 beispielhaft für eine 100 m dicke Schicht 300 m unterhalb der Schmelzschicht dargestellt. Man erkennt auch hier, dass im Wesentlichen der LDR-Bereich zwischen  $-12$  und  $-5$  dB für die Variabilität von  $a$  verantwortlich ist. In diesem Bereich variiert  $a$  um eine Größenordnung(!). Dies ist gleichzeitig der Korrekturbereich der Regenratenbestimmung im Vergleich zu einer festen  $Z(R)$ -Beziehung.

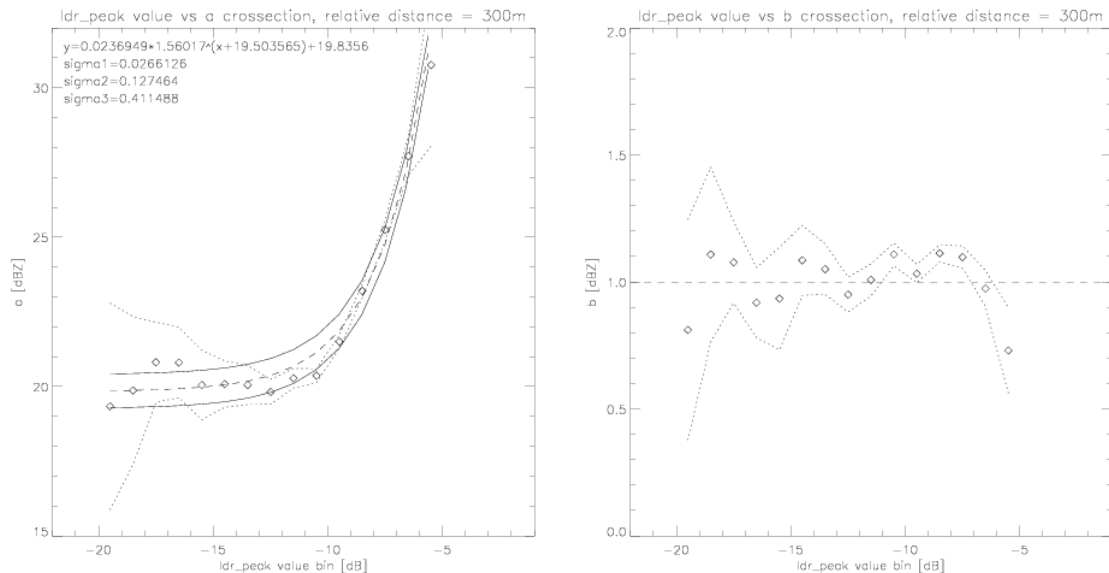


Bild 3:  $a$  (links) und  $b$  (rechts) als Funktion von LDR. Rauten: Messergebnisse, Gestrichelt: Regressionsfunktionen, Durchgezogen: Standardabweichung des Fits, Gepunktet: 95% Konfidenzintervalle.

#### d) Ausblick auf zukünftige Arbeiten, Nachhaltigkeit:

Alle Arbeiten im Rahmen dieses VI-HALO-Projekts betreffen die technische und wissenschaftliche Vorbereitung des aktiv/passiven Mikrowellensystems HAMP für den Einsatz auf HALO. Die eigentliche Erprobung des Systems auf HALO steht naturgemäß noch aus. Hierbei stehen zunächst gerätetechnische Aspekte im Vordergrund. Es gibt noch keine Erfahrungen über den Betrieb des Wolkenradars und der Mikrowellenradiometer unter Flugbedingungen. Im zweiten Schritt ist zu untersuchen, inwieweit die Retrievalkonzepte den Praxistest bestehen werden und welche Modifikationen gegebenenfalls noch zu entwickeln sind. Die Erprobungen zum Nachweis der Flugtauglichkeit werden im kommenden Jahr in enger Kooperation mit dem DLR durchgeführt werden.

#### e) Verwertungspotenzial:

Einige Komponenten der entwickelten Retrievalkonzepte sind über den Einsatz auf HALO hinaus auch für künftige satellitengestützte Anwendungen sowie für existierende bodengebundene integrierte Systeme an meteorologischen Observatorien von Interesse. So bieten die in HAMP realisierten passiven Mikrowellenkanäle die Möglichkeit ein von Bauer und Mugnai (2003) vorgeschlagenes satellitengestütztes Verfahren zum Niederschlagsretrieval zu validieren, das besonders im Fall gemischter Phasen und möglicherweise auch über Land ein großes Verbesserungspotential gegenüber bestehenden Verfahren aufweist. (Referenz: Bauer, P. and A. Mugnai (2003), Precipitation profile retrievals using temperature sounding microwave observations. J. Geophys. Res., 108(D23), 4730.)

Ferner sind die oben beschriebenen LDR-Messungen in der Schmelzschicht möglicherweise geeignet, in den künftigen bodengebundenen polarimetrischen Radarnetzen der Wetterdienste zur Verbesserung flächendeckenden Niederschlagsmessung beizutragen.

## **2. Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses:**

Der wissenschaftliche Teil der LDR-Studie wurde im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt, die voraussichtlich im März 2009 abgeschlossen wird.

## **3. Publikationen**

Melchionna, S., M. Bauer, G. Peters, 2008: A new algorithm for the extraction of cloud parameters using multipeak analysis of cloud radar data - First application and preliminary results, Meteorologische Zeitschrift, Volume 17, No. 5, pp. 613-620.

M. Mech: The microwave Package on the new research aircraft of the German atmospheric science community HALO, 4<sup>th</sup> International Precipitation Working Group (IPWG) 2008, 13-17 Oct. 2008, Beijing, China.

Kowalewski, S. 2009: Zusammenhang zwischen Tropfen-Größenverteilung und Wolken-Vertikalstrukturen, Diplomarbeit Universität Hamburg, Fertigstellung voraussichtlich 3/2009.

## 2.2.4 Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg – Institut für Physik der Atmosphäre

*Prof. Dr. Klaus Pfeilsticker, Prof. Dr. U. Platt, Prof. Dr. T. Wagner, Dr. Klaus-Peter Heue, Cristina Prados, Sabrina Ludmann, Markus Woyde, Tim Deutschmann, Krishna O'Brian, David Walter*

### I. Aktivitäten zu VH-VI-156 im Jahr 2008

Die Arbeiten des Partners Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg konzentrierten sich in dem Berichtszeitraum auf folgende Tätigkeiten:

- a. Planung, Entwicklung und Bau neuer Instrumente für den Einsatz auf dem Forschungsflugzeug HALO:
  1. Eines Limb-scanning Spektrometers (mini-DOAS) mit dessen Hilfe man räumlich und zeitlich aufgelöste Spurenstoffprofile gemessen werden, die für die Photochemie der klimatisch wichtigen oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre von Bedeutung sind. Eine Gerätebeschreibung zu dem Gerät findet sich im Anhang und das Gerät befindet sich derzeit im Bau
  2. Eines Instrument für die Spektroskopie im nahen infraroten Spektralbereich, bestehend aus einem hochauflösenden Spektrometer (1,5 – 1,7  $\mu\text{m}$ ) zur Messung der Säulendichten der wichtigen atmosphärischen Treibhausgase Methan ( $\text{CH}_4$ ), Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ) unterhalb der Flughöhe. Zu diesem Gerät werden derzeit im Labor Voruntersuchungen unternommen.
  3. Ein bildgebendes 2-D Spektrometer mit dem räumlich aufgelöste Bilder diverser atmosphärischer Spurenstoffe ( $\text{BrO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_4$ , ...) erstellen werden können. Solche Untersuchungen sind wichtig um Quellgebiete und die photochemische Transformation natürlicher und anthropogener Spurenstoffe zu untersuchen.
- b. Durchführung von Test- bzw. Feldmessungen:
  1. Das bestehende Flugzeug-getragene mini-DOAS Instrument wurde im Rahmen zweier Messkampagnen in 2008 eingesetzt:
    - Ballonkampagne in Teresina/Brasilien im Jul 2008: Dabei wurde das mini-DOAS vorhandene Flugzeuginstrument während eines 20 stündigen Messflug auf der MIPAS-B Nutzlast getestet. Die Datenauswertung wird derzeit im Rahmen der Doktorarbeiten von Lena Kritten und Cristina Prados durchgeführt.
    - Teilnahmen POLARCAT Kampagne im Juli 2008; Dabei konnten Spurenstoffprofile wichtiger atmosphärischer Radikale von der Grenzschicht (20 m) bis in die untere Stratosphäre (circa 12 km) gemessen werden. Eine erste Auswertung der Messdaten findet sich in der beigelegten Diplomarbeit von Krishna O'Brian.

Bei beiden Messkampagnen konnten wichtige Erkenntnisse zum Bau des HALO mini-DOAS Gerätes gewonnen, und ein neues Messwerteerfassungsprogramm getestet werden. Die Daten beider Feldmesskampagnen dienten auch dazu eine umfangreichen Auswerte-, und Strahlungstransport-, Inversionsalgorithmen für die Interpretation des zukünftigen Halo mini-DOAS Instrumentes zu entwickelt und zu testen. Die Strahlungstransportmodellierung wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Tim Deutschmann durchgeführt.

2. Der Prototyp des abbildenden DOAS Instruments wurde im März 2008 im Rahmen einer 2-wöchigen Messkampagne im südafrikanischen Highveld erstmals

im ultravioletten Spektralbereich verwendet. Dabei konnten die räumlichen Verteilungen von SO<sub>2</sub> und HCHO und NO<sub>2</sub> direkt beobachtet werden. Die Auswertung der Daten ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Allerdings wurden bereits interessante Details beobachtet, wie z.B. der Anstieg des NO<sub>2</sub>-Flusses im Lee eines Kraftwerks bei gleichzeitig konstantem SO<sub>2</sub>-Fluss. Was auf eine Oxidation der emittierten NO-Moleküle hindeutet. Erste Ergebnisse der bisherigen Messungen sowie Details zum Instrument wurden veröffentlicht in Heue et al. 2008 (<http://www.atmos-chem-phys.net/8/6707/2008/acp-8-6707-2008.html>)

Vorbereitenden Labortests für den Neubau wurden erfolgreich abgeschlossen und entsprechende Angebote für den weiteren Aufbau eingeholt.

- c. Teilnahme an Vorbereitungssitzungen und Projekttreffen zu HALO:
  - 1. Teilnahme am CIRRUS Treffen am 19.03.2008 in Oberpfaffenhofen
  - 2. Teilnahme am POLSTRACC Treffen am 29.4.2008 in Karlsruhe
  - 3. Teilnahme am TACTS Treffen am 7.5. in Frankfurt am Main
  - 4. Teilnahme am OMO Treffen am 27.7 in Mainz
  
- d. Antragstellungen die mit der Nutzung des HALO Flugzeuges in Verbindung stehen:
  - 1. Im Rahmen des 7. Rahmenprogramms wurde ein von dem IUP-Heidelberg koordinierter Forschungsantrag zur Bedeutung sogenannter kurzlebiger Halogenverbindungen für die Ozonschicht eingereicht (Shiva - Stratospheric Ozone: Halogen Impacts in a Varying Atmosphere, FP7-ENV-2008-1, project number 226224). Dieser Antrag ist in der Zwischenzeit bewilligt und im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen u.a mit dem HALO Flugzeug in den Jahren 2010 und 2011 Messkampagnen im Westpazifik und möglicherweise im tropischen Atlantik und Amazonasbecken durchgeführt werden. Eine Beschreibung des Arbeitsprogrammes von SHIVA liegt diesem Bericht bei.

## II. Verwendung der Mittel aus VH-VI-156 im Jahr 2006

Aus den Finanzmitteln des Virtuellen Instituts VH-VI-156 eine geprüfte wissenschaftliche Hilfskraft beschäftigt. Seine Aufgaben umfassten die folgenden Punkte:

- 1) Charakterisierung der wichtigsten physikalischen und atmosphärischen Eingangsgrößen für die Planung der Messinstrumente
- 2) Erhebung und Formulierung der technischen Rahmenbedingungen zum Bau der Messinstrumente
- 3) Technische und physikalische Planung der Messinstrumente
- 4) Teilnahme an Messkampagnen
- 5) Erstellung von Zulassungsunterlagen
- 6) Erstellung einer Zeitplanung

## III. Weiteres Vorgehen

Es ist vorgesehen die unter Punkt I genannten Instrumente im Rahmen des VH-VI-156 und SPP-1294 zu bauen und schließlich bei mehreren HALO-Demonstrationsmissionen (ACRIDICON, CIRRUS, NEPTUN, OMO, POLSTRAC, TACTS, ...) einzusetzen. Das weitere Vorgehen gliedert sich wie folgt:

- 1) Technische Konzeption der Messinstrumente (near-IR Spektrometer und Imaging Spektrometer) im Rahmen der bewilligten Mittel und Erwerb der benötigten Geräte und Komponenten
- 2) Einarbeitung neuer Mitarbeiter (z. B: der Diplomand Tim Deutschmann für das mini-DOAS Spektrometer)

- 3) Zusammenbau der Messinstrumente und Charakterisierung der Geräteeigenschaften durch Testmessungen im Labor
- 4) Mechanischer Neuaufbau des mini-DOAS Gerätes für den automatischen Betrieb in Pos. 21 der HALO.
- 5) Testmessungen (mini-DOAS), bei Missionsflügen der Flugzeuge Falcon, HALO (SPP-1294 und EU-SHIVA) Geophysica (EU-Reconcile) und auf der LPMA (DOAS bzw. IASI) und MIPAS-B Ballongondeln
- 6) Neubau des Imaging DOAS Gerätes für den automatischen Betrieb auf HALO.
- 7) Testmessungen mit des neuen Imaging DOAS falls möglich auch auf der Falcon des DLR.
- 8) Vorbereitung der diversen Messinstrumente für den Einbau in HALO
- 9) Zertifizierung der Messinstrumente für den Flugbetrieb
- 10) Teilnahme bei den Vorbereitungssitzungen zu den HALO-Demonstrationsmissionen

Das bereits bestehende mini-DOAS Gerät wurden bei einer Ballonmesskampagne in Brasilien (Mai/Juni 2007) und anschließend bei der POLARCAT Mission auf der Falcon eingesetzt.

## 2.2.5 Johannes-Gutenberg-Universität Mainz – Institut für Physik der Atmosphäre

Prof. S. Borrmann, Dr. J. Schneider, Dr. F. Drewnick

### Arbeits- und Ergebnisbericht

Der Aufbau des flugzeuggetragenen Einzelpartikel-Aerosolmassenspektrometers ALABAMA ("Aircraft-based Laser Ablation Aerosol MASS spectrometer") wurde im Laufe des Jahres 2008 weitergeführt und erfolgreich abgeschlossen, so dass ab August 2008 ein funktionsfähiges Laborinstrument zur Verfügung stand.

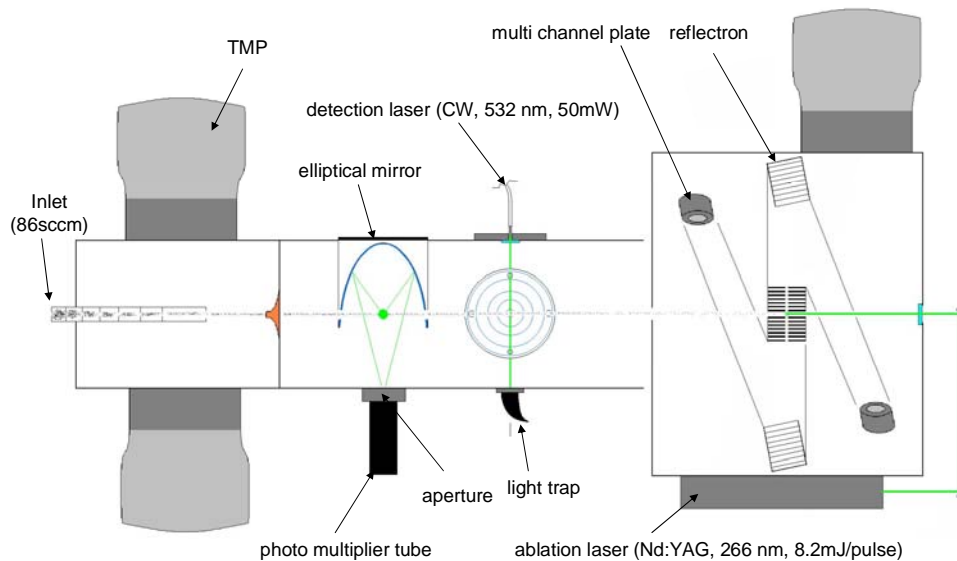


Abbildung 1. Prinzipskizze des ALABAMA

Diese Laborversion wurde sorgfältig getestet und charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zielvorstellungen bezüglich des detektierbaren Partikelgrößenbereichs (150 nm – 1 µm) sowie der Detektionseffizienz erreicht wurden. Im Oktober 2008 wurde ALABAMA bei einer Messkampagne im Rahmen des Helmholtz Virtuellen Institutes "VI-ACI" an der Atmosphärensimulationskammer "AIDA" im Forschungszentrum Karlsruhe eingesetzt.

In dieser Messkampagne wurde mit ALABAMA untersucht, inwieweit sich beschichtete von unbeschichteten Partikeln unterscheiden lassen, um so festzustellen, ob sich eine Beschichtung gleichmäßig auf alle Partikel verteilt. So wurden beispielsweise Arizona Test Dust Partikel mit sekundärem organischen Aerosol (SOA) beschichtet und Russpartikel mit Schwefelsäure, um die Auswirkungen der Beschichtung auf die Eiskeimfähigkeit der Partikel zu untersuchen.

Aus den an der AIDA-Kammer gewonnenen Daten wurde die Ablationseffizienz von ALABAMA für Russpartikel und Arizona Test Dust Partikel im Größenbereich von 150 bis 850 nm bestimmt (Abb. 2). Beide Substanzen können trotz ihrer unterschiedlichen optischen Eigenschaften vom Ablationslaser verdampft und ionisiert werden und damit auch in der Atmosphäre nachgewiesen werden.

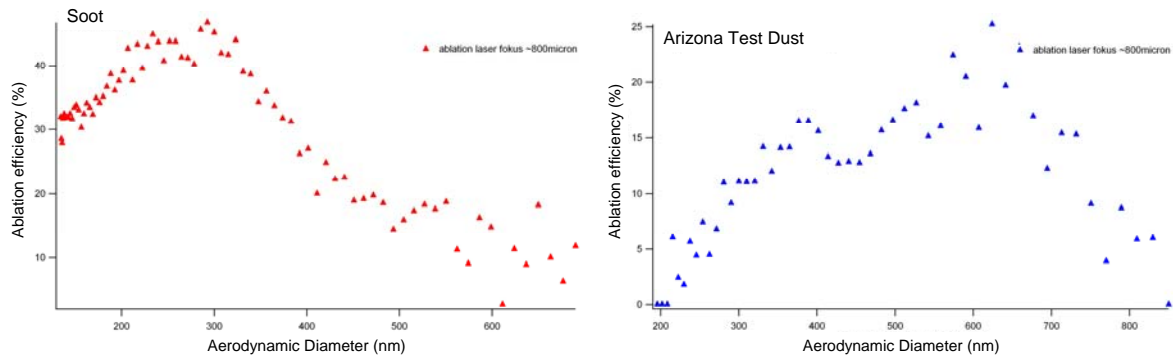


Abbildung 2. Ablationseffizienz für Russpartikel (links) und Arizona Test Dust Partikel (rechts)

Das HALO-Rack für das ALABAMA wurde im November 2008 ausgeliefert, so dass zur Zeit die Integration des ALABAMA in das HALO-Rack erfolgt. Die Unterlagen für die Zulassung auf HALO werden im März/April 2008 eingereicht. Im Sommer 2009 werden mit ALABAMA im Rahmen einer Messkampagne (MEGAPOLI) auf dem französischen Forschungsflugzeug ATR42 die ersten Testflüge durchgeführt, und im Herbst 2009 findet der erste HALO-Einsatz im Rahmen der Demo-Mission ML-CIRRUS statt.

Das zweite flugzeuggetragene Aerosolmassenspektrometer C-ToF-AMS wurde im Jahre 2008 in zwei Messkampagnen erfolgreich eingesetzt. Die POLARCAT-France Kampagne fand im Juli 2008 in Kangerlussuaq, Grönland, statt, die Kampagne CONCERT-Chemistry im Oktober 2008 in Oberpfaffenhofen. In beiden Projekten wurde das C-ToF-AMS erfolgreich betrieben und lieferte wertvolle Daten über die Aerosolzusammensetzung in der freien Troposphäre bis hin zur Tropopausenregion mit einer Zeitauflösung von 10 – 60 Sekunden. Abbildung 3 zeigt die gemessenen Sulfataerosolkonzentrationen während der Kampagne CONCERT-Chemistry im Oktober 2008. Die Messflüge fanden hauptsächlich in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre statt. Erste Analysen weisen darauf hin, dass die erhöhten Sulfatkonzentrationen mit Flugzeugemissionen in Verbindung gebracht werden können.

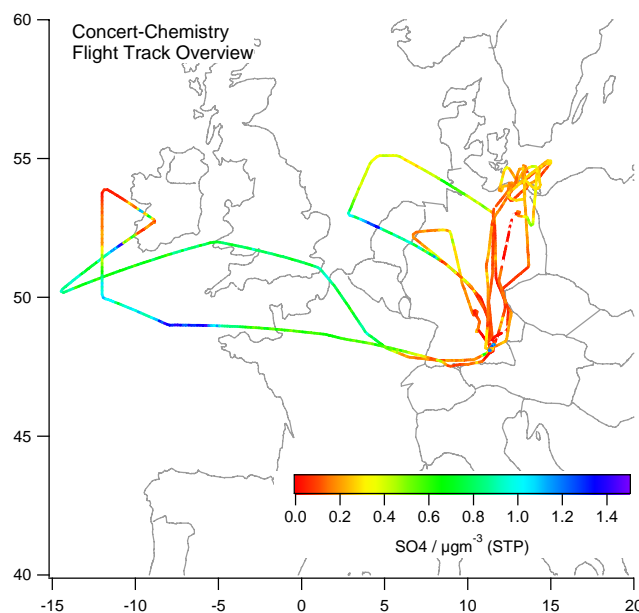


Abbildung 3. Sulfataerosolkonzentration gemessen mit dem C-ToF-AMS während der CONCERT-Chemistry Kampagne.

Die momentane Planung sieht vor, das C-ToF-AMS im Herbst 2009 während der ML-CIRRUS Mission auf der Falcon einzusetzen. Der Umbau für den späteren Einsatz auf HALO und die damit verbundenen Zulassungsarbeiten werden im Jahre 2009 vorbereitet.

#### **4. Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses:**

Es laufen zur Zeit zwei Doktorarbeiten (Marco Brands, Julia Schmale), die sich mit dem Aufbau bzw. Umbau der Massenspektrometer und der Durchführung der Flugzeugmessungen befassen. Die Doktorarbeit von M. Brands wird im Frühjahr 2010 abgeschlossen, die von J. Schmale im Frühjahr 2011.

#### **5. Publikationen**

Kongressbeiträge:

Brands, M., M. Kamphus, J. Schneider, F. Drewnick, C. Voigt, J. Curtius, R. Weigel, S. Borrmann, Development of an Aircraft-based Laser Ablation Aerosol Mass Spectrometer (ALABAMA), 2nd On-line Particle Mass Spectrometry Workshop, Leeds, April 9-10, 2008.

Brands, M., Kamphus, M., Schneider, J., Voigt, C., Drewnick, F., Borrmann, S., Development and Deployment of an Aircraft-based single particle laser ablation time-of-flight mass spectrometer (ALABAMA), submitted to the Gordon Conference on Atmospheric Chemistry, Waterville Valley, August 23-28, 2009

Schmale, J., J. Schneider, M. Brands, G. Ancellet, J. Pelon, S.R. Arnold, A. Schwarzenböck, C. Gourbeyre, S. Borrmann, and K.S. Law, Transport of North American pollution plumes towards the Arctic detected by aircraft based aerosol composition measurements in the Arctic 2008 summer season during the POLARCAT-France campaign, submitted to the EGU General Assembly, Vienna, April 19-24, 2009.

## 2.2.6 Ludwig-Maximilians-Universität München – Meteorologisches Institut

*Dr. M. Wiegner, Josef Gasteiger*

Wie im letzten Bericht bereits erwähnt, konzentrieren sich die Arbeiten auf numerische Studien, nachdem die Entwicklung eines kompakten Lidarsystems für HALO aus Kostengründen nicht realisiert werden konnte. Hierbei liegt der Fokus auf Studien zur Streutheorie und Fernerkundung, in erster Linie in Hinblick auf Aerosolpartikel.

Die Modellierung der optischen Eigenschaften von Aerosolpartikeln – Extinktions- und Streukoeffizient sowie Müllermatrix – erfordert die Berücksichtigung der Teilchenform. Gerade die für die Lidarfernerkundung relevanten Größen, das Lidarratio und das lineare Partikel-Depolarisationsverhältnis, hängen stark von der Teilchenform ab, aber auch die Streufunktion und (in geringerem Maße) die Einfachstreuabbedo. Letztere Größen steuern den Klimaantrieb des Aerosols. Um diese optischen Eigenschaften zu berechnen, wurde die T-Matrix-Methode verwendet.

Unsere Studien haben sich zunächst auf die Approximation von nicht-kugelförmigen Teilchen durch Sphäroide konzentriert, wobei die charakterisierenden Parameter (in erster Linie das Aspect Ratio, die Größe und der Brechungsindex) aus Messungen, die im Rahmen von SAMUM für mineralisches Aerosol vorliegen, verwendet wurden. Die Streueigenschaften von Einzelteilchen wurden in Form einer Datenbank gespeichert, so dass optische Eigenschaften beliebiger Größen- und Formverteilungen mit vergleichsweise geringem numerischen Aufwand berechnet werden können. Dabei musste berücksichtigt werden, dass Aerosolverteilungen nicht nur durch eine Größenverteilung, sondern auch durch eine Formverteilung (die zudem größenabhängig sein kann) definiert sind. Nach unseren Studien ist der primäre Ansatz, um aus Lidarmessungen das Aerosol zu klassifizieren und seinen Brechungsindex abzuleiten, die Nutzung des Lidarratios und des Depolarisationsverhältnis, da beide Größen mit modernen HSRL-Lidarsystemen auch vom Flugzeug aus mit großer Genauigkeit bestimmt werden können. Die Unsicherheit aufgrund der Unkenntnis einer genauen Form- und Größenverteilung wurde numerisch untersucht und ist in Bezug auf die Größenverteilung in Abb. 1 exemplarisch dargestellt. Die Abbildung zeigt Wertepaare von Lidarratio und Depolarisationsverhältnis, wobei die durchgezogenen Linien den realen Brechungsindex (von oben nach unten: 1.48 bis 1.60) und die gestrichelten Linien den Imaginärteil (von links nach rechts: 0.001075 bis 0.0086) markieren. Die roten, grünen und blauen Linien betreffen die Wellenlängen 1064 nm, 532 nm und 355 nm. Die schraffierten Flächen geben den Variationsbereich an, wenn sich Parameter der Größenverteilung um 10% ändern. Die Berücksichtigung mehrerer Wellenlängen zeigt das Potenzial für Mehrwellenlängen-HSRLs, die derzeit in der Planung sind. Diese Rechnungen sind aufwändig, weil bei kurzen Wellenlängen die T-Matrix-Rechnungen durch Rechnungen nach der Geometrischen Optik-Approximation ergänzt werden mussten.

Validationsexperimente im Rahmen von SAMUM haben gezeigt, dass die Übereinstimmung zwischen Modell und Messung gut ist, dass aber im spektralen Verlauf Abweichungen vorkommen. Die Ergebnisse wurden auf der ILRC in Boulder im Juni 2008 (Gasteiger et al., 2008) präsentiert. Aufgrund der erwähnten Abweichungen wurden die Rechnungen insofern erweitert, als neben Sphäroiden mit größeren Aspect-Ratios (größer als 3) auch Streueigenschaften sogenannter Gardner-Teilchen mit Hilfe der DDA-Methode (Discrete Dipole Approximation) modelliert wurden. Bei Gardner-Teilchen wird Sphäroiden eine Störung der Oberflächenstruktur aufgeprägt, so dass auch konkave Strukturen und „Ausbeulungen“ modelliert werden können. Die für diese Modellierungen erforderliche

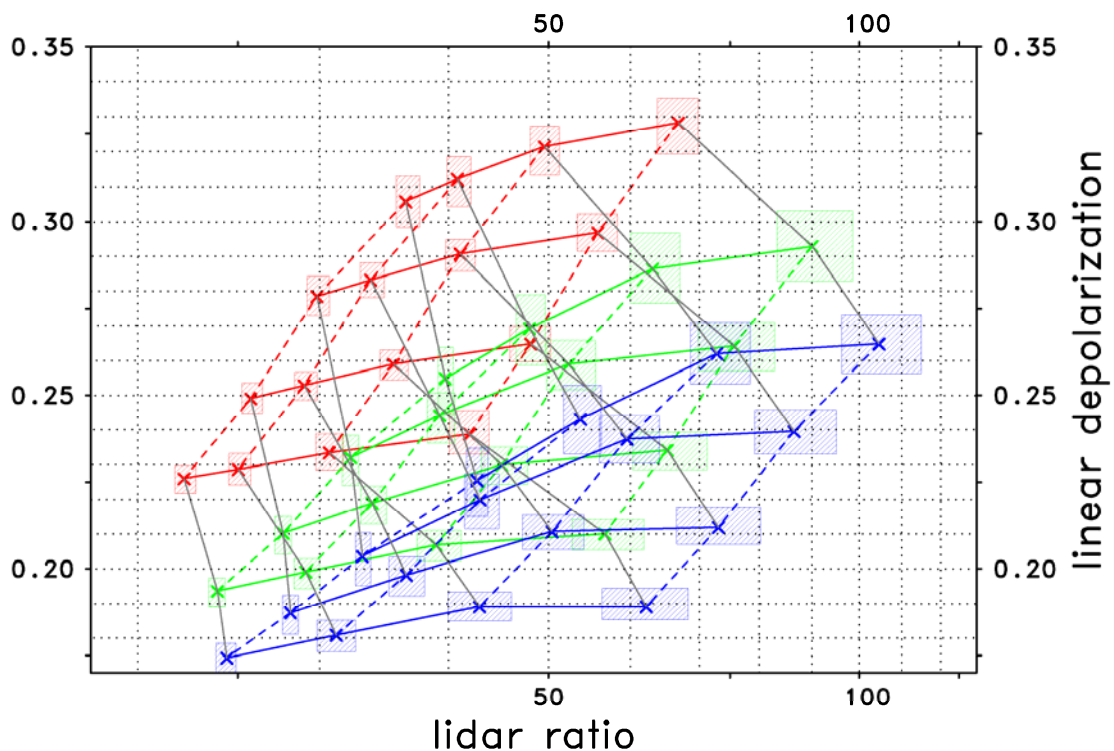


Abb. 1: Lidarratio und lineares Depolarisationsverhältnis für drei Wellenlängen (rot: 1064 nm, grün: 532 nm, blau: 355 nm) einer SAMUM-Größenverteilung und einer Formverteilung aus SAMUM. Die schraffierten Bereiche geben die Unsicherheit durch die Größenverteilung wider. Die Kreuze stellen verschiedene Brechungsindizes dar (siehe Text).

Rechenzeit ist jedoch wesentlich höher als bei der T-Matrix-Methode – für ein Gardner-Teilchen mit Größenparameter 20 wird z.B. eine Rechenzeit von mehreren Tagen benötigt! Der Vorteil der DDA-Methode ist jedoch, dass damit auch Teilchen beliebiger Form (z.B. auch mit Kanten) sowie inhomogene Partikel berechnet werden können. Ferner wurde mit der Modellierung von fraktalen Teilchen begonnen, um zu untersuchen, ob sie charakteristische Streuphänomene hervorrufen. Der erhebliche Aufwand an numerischen Studien lässt sich jedoch nicht vermeiden, da man letztendlich definieren muss, welche Parameter mit welcher Genauigkeit gemessen werden müssen und welche fernerkundbar sind.

Auch für die Invertierung von passiven Strahlungsmessungen in Bezug auf Größenverteilung und Brechungsindex ist die Berücksichtigung der Teilchenform unerlässlich. Die derzeit benutzen Inversionsprogramme (z.B. von Nakajima) gehen von der Gültigkeit der Mie-Theorie aus, d.h., im Falle der Fernerkundung von Wüstenaerosol müssen Erweiterungen im oben genannten Sinne erfolgen. Die hier erstellte Datenbank der Streueigenschaften kann für die Inversion verwendet werden und im Rahmen von Schließungsexperimenten mit HALO angewendet werden.

Ferner wurde damit begonnen, die Teilchenform bei der Modellierung des Einflusses von Mehrfachstreuung auf Lidarsignalen zu berücksichtigen. Diese Anwendung wird beim Vergleich von Lidarmessungen von Satelliten (Calipso, ADM, EarthCARE) und HALO relevant, da sich die Beobachtungsgeometrien deutlich unterscheiden. Hierbei steht der Einfluss auf die Ableitung des Extinktionskoeffizienten (und damit auf das Lidarratio) und des

Depolarisationsverhältnisses im Vordergrund. Erste Modellierungen haben gezeigt, dass der Mehrfachstreuanteil in Lidarsignalen bei Wüstenaerosol ein Effekt zweiter Ordnung bleibt.

Die Modellstudien werden einerseits in Hinblick auf grundsätzliche Fragestellungen (geeignete numerische Approximation der Form, Auswahl geeigneter Modelle, Entwicklung von Fernerkundungsverfahren) fortgeführt, andererseits wird die Datenbank der Streueigenschaften ergänzt und erweitert. Sie kann Nutzern von HALO zur Verfügung gestellt werden. Aus unserer Sicht wäre es sinnvoll, die neuen Erkenntnisse auf reale HALO-Messungen anzuwenden, insbesondere für Aerosolfernerkundung. Konkrete Anwendungen könnten bereits im Rahmen von Testeinsätzen, besonders wenn sie Lidarmessungen beinhalten, stattfinden, indem HALO-Messungen mit Bodenmessungen (z.B. EARLINET) verglichen werden. Zum Tragen kommen könnten die Ergebnisse auch im Rahmen der HALO Demo-Missionen ACRIDICON, CIRR.

## **2.2.7 Bergische Universität Wuppertal - Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften, Fachgruppe Physik**

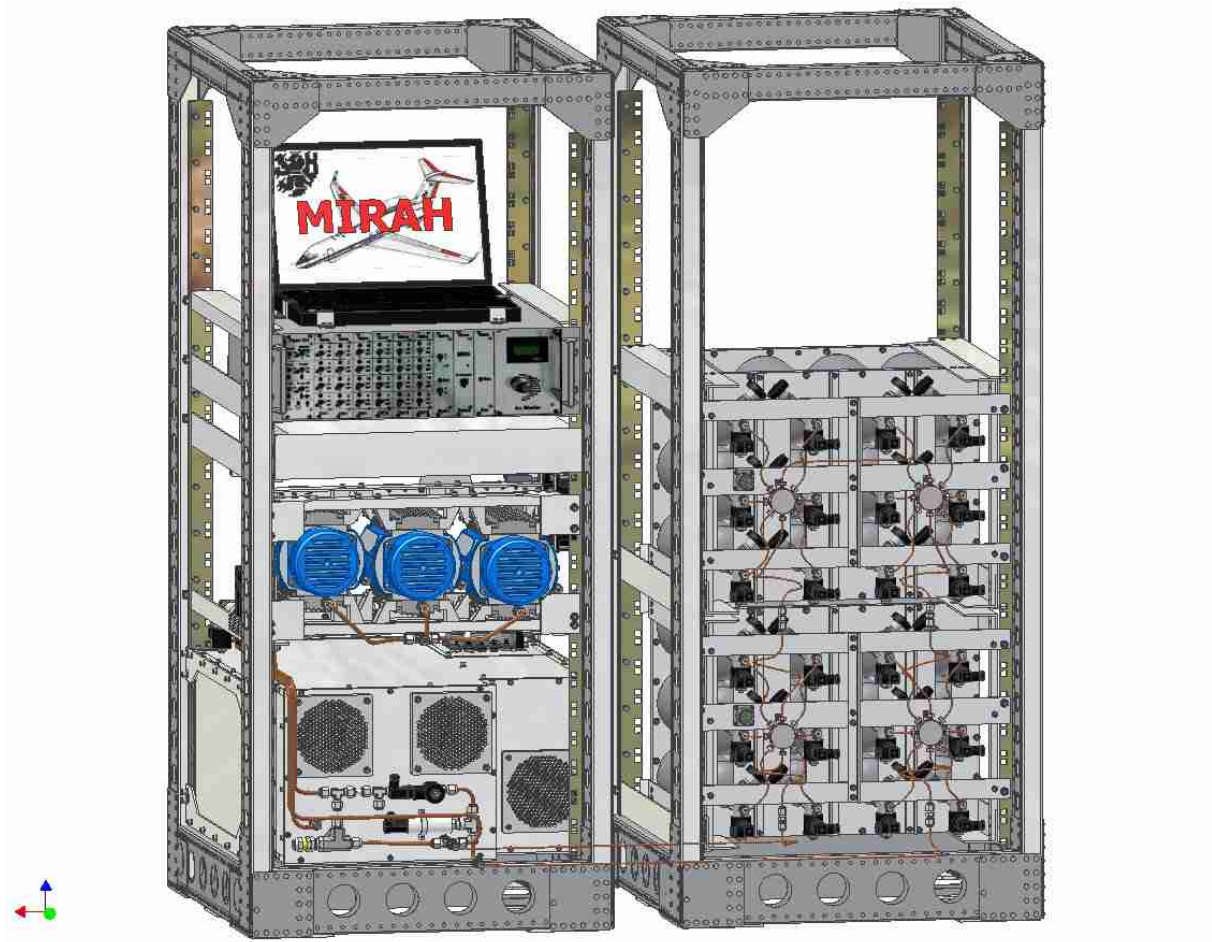
*Prof. R. Koppmann, Dr. P. Knieling, Dr. F. Olschewski*

Im Oktober 2008 wurde während der ZEPTER-2 Kampagne in einem zweiten Pilotprojekt ein Luftprobensammler zur Sammlung großvolumiger Gesamtluftproben auf einem Zeppelin erfolgreich eingesetzt. Die Daten werden derzeit ausgewertet und u. a. dazu genutzt, neue Konzepte und Methoden für die Interpretation von stabilen Isotopenverhältnissen in Spurengasen für die Untersuchung der Chemie und Dynamik der Atmosphäre zu entwickeln. Diese sollen dann für die Interpretation der bei der ersten Demonstrationsmission OMO gewonnenen Messdaten angewendet werden. Die Entwicklung der Hardware für HALO ist inzwischen abgeschlossen. Das Instrument ist im Bau und wird in Kürze fertiggestellt. Die Dokumentation für die Zulassung wurde ebenfalls fertiggestellt.

Auch die im Rahmen des Projektes FACT-HALO begonnene Entwicklung schneller GC-MS Systeme für zeitlich hochaufgelöste in-situ Messungen flüchtiger organischer Verbindungen wurde fortgesetzt. Die Arbeiten werden zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich (ICG-2), der Universität Frankfurt und dem MPI für Chemie in Mainz durchgeführt. Die von der Bergischen Universität Wuppertal durchzuführende Erstellung der Integrationssoftware gestaltete sich allerdings aufwändiger als erwartet. Die Software wurde im Berichtszeitraum zwar weiter optimiert, konnte aber noch nicht in eine endgültige, stabil laufende Version gebracht werden. Wir gehen aber davon aus, dass die Software bis zur OMO-Kampagne einsatzfähig sein wird. Ziel ist es, eine zeitnahe Auswertung der Chromatogramme zu erreichen und bereits unmittelbar nach den Flügen einen Überblick über die Konzentrationen der wichtigsten organischen Verbindungen zu ermöglichen. Parallel zu den Arbeiten an dem Softwarepaket wurde damit begonnen, eine Benutzeroberfläche zu programmieren.

F. Olschewski hat das Schulungsprogramm des DLR zur Anerkennung als Entwicklungsingenieur abgeschlossen und bearbeitet als externer Entwicklungsingenieur die Zulassung der Wuppertaler Instrumente für den Einsatz bei den verschiedenen HALO-Missionen. Als erste Aktivität in diesem Zusammenhang wurde die Dokumentation für den Luftprobensammler erstellt.

Die bisher verausgabten Mittel wurden für Sachausgaben, Reisen zu Nutzer- und Projekttreffen sowie Personalkosten (wiss. Hilfskraft für Softwareentwicklung) verwendet.



Zeichnung des derzeit im Bau befindlichen Luftprobensamplers MIRAH (**M**easurements of **S**table **I**sotope **R**atios in Atmospheric Trace Gases on **H**ALO)