

Jahresbericht 2009

Vorhaben

Durchführung und Auswertung
des Kugelspaltexperiments GeoFlow
auf der Internationalen Raumstation (ISS)

FKZ: 50 WM 0822

Lehrstuhl für Aerodynamik und Strömungslehre
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Allgemeine Angaben

Jahresbericht 2009 für Durchführung und Auswertung
des Kugelspaltexperimentes GeoFlow im COLUMBUS-Modul der ISS /
Parabelflugexperiment PFC-CIC zur technischen Anwendung
des elektrohydrodynamischen Kraftwirkungsprinzips
(FKZ: 50 WM 0822) 22. Januar 2010

Antragsteller

Egbers, Christoph, Prof. Dr.-Ing., Universitätsprofessor

Institution:

Lehrstuhl für Aerodynamik und Strömungslehre,
Institut für Verkehrstechnik,
Brandenburgische Technische Universität Cottbus,
Siemens-Halske-Ring 14,
D-03046 Cottbus
Telefon: 0355-69-4868 Telefax: 0355-69-4891
E-mail: egbers@tu-cottbus.de

Kennwort

FSL-Kugelspaltexperiment GeoFlow / Parabelflugexperiment PFC-CIC

Fachgebiet und Arbeitsrichtung

Fachgebiet: Strömungsmechanik / Geophysik und technische
 Anwendungen / μg - Forschung (FSL / Parabelflug)
Arbeitsrichtung: Raumstationsexperiment, Parabelflugexperiment

Gesamtlaufzeit des Vorhabens

01.01.2008 - 31.12.2011

Berichtszeitraum

01.01.2009 - 31.12.2009

Forschungspartner

ESA GeoFlow Projekt, AO 99-049

Dr. Pascal Chossat CNRS-UNSA, Université Nice, France
Dr. Rainer Hollerbach University of Leeds, UK

ESA TopicalTeam, FKZ: 18950/05/NL/VJ

Prof. Laurette Tuckerman PMMH-ESPCI, University of Paris, France
Prof. Innocent Mutabazi University of Le Havre, France
Dr. Philippe Beltrame University of Avignon, France
Dr. Fred Feudel Universität Potsdam

Assoziierte Partner:

Dr. Thomas von Larcher FU Berlin
Dr. Julio Srulijes French-German Research Institute Saint-Louis ISL, France

Weitere Forschungspartner

- Center for Flow & Transport Modeling and Measurement an der BTU (Kooperation mit Prof. Riebel, LS Mechanische Verfahrenstechnik; Prof. Schaller, LS Umweltmeteorologie; Prof. Mauß, LS Thermodynamik und Thermische Verfahrenstechnik)
- Prof. Richard M. Lueptow, Dept. of Mech. Engineering, Northwestern, University, Chicago, USA
- Prof. Doris Breuer, Institut für Planetenforschung, Abteilung Planetenphysik, DLR Berlin

Technologietransferbereiche

Lebenserhaltungssysteme für die Raumfahrt, Biotechnologie, Verfahrenstechnik, Wärmetauscherindustrie, Strömungsbeeinflussung in technischen Systemen, Pharmazeutische Industrie

1 Wissenschaftlich-Technische Ergebnisse

1.0 Übersicht der Arbeitspakete

Das hier beschriebene Vorhaben hat zum einen die erfolgreiche Durchführung des Kugelspaltexperimentes GeoFlow im Fluid Science Laboratory (FSL) innerhalb des europäischen Moduls COLUMBUS (COF) der internationalen Raumstation (ISS) sowie die Auswertung der Untersuchungen und Publikation der Ergebnisse zum Ziel. Das Ziel des GeoFlow-Experiments ist die experimentelle Untersuchung der thermischen Konvektion in einem rotierenden Kugelspalt unter dem Einfluss eines künstlich aufgebauten Zentralkraftfeldes (dielektrophoretischer Effekt). Das Projekt ist zunächst im Bereich der Grundlagenforschung zur Darstellung geophysikalisch motivierter Strömungen (im niedrigviskosen, flüssigen Erdkern und im hochviskosen, plastischen Erdmantel) angesiedelt. Neben der GeoFlow I – Mission zur Erfassung der Strömungen im flüssigen Erdkern umfasst dieser Bericht auch die Vorbereitung einer GeoFlow II – Mission mit Blick auf Mantelkonvektion.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen zur elektrohydrodynamischen Theorie und der damit verbundenen Möglichkeit zur künstlichen Kräfteerzeugung unter Mikrogravitationsbedingungen wird aber auch ein Beitrag für mögliche technische Anwendungen geleistet, der auch im Rahmen dieses Vorhabens mit Hilfe des Parabelflug-Experiments PFC-CIC noch weiter untersucht werden soll.

Im Folgenden werden die Arbeitspakete und Ergebnisse für beide Teil-Projekte des Vorhabens, GeoFlow und PFC-CIC, dokumentiert.

1.1 GeoFlow

1.1.1 GeoFlow I

Der Experimentcontainer (EC) wurde zusammen mit dem europäischen ISS-Modul COLUMBUS mit dem NASA Space-Shuttle ‚Atlantis‘ am 7. Februar 2008 zur ISS transportiert (Mission STS-122). Nach Integration und Inbetriebnahme von COLUMBUS und des GeoFlow-EC (28.07.2008) wurden die Experimente am 07. August 2008 begonnen und am 09.01.2009 erfolgreich beendet.

Die in diesem Zeitraum durchgeführten „Runs 1..10“ erfassen Bereiche der niedrigen Rotationsraten (Run 6..10) und mittleren bis hohen Rotationsraten (Run 1..5). Abb. 1 zeigt die Bereiche im Regime-Diagramm. Damit liegen mit diesen 10 von ca. 35 geplanten „Runs“ ca. 30% der geplanten Experiment-Daten vor. Die Reihenfolge der „Runs“ wurde so gewählt, dass der gesamte Parameterraum nach je 10 Runs einmal abgetastet wird. Die noch ausstehenden „Runs“ hätten den rotierenden Bereich noch weitere Male erfasst, je um einen Versatz zu den in Abb. 1 gezeichneten Linien. Für die nicht-rotierenden Fälle liegen 5 Parametersätze vor (Anfang der bisher gelaufenen „Runs“). Der gesamte Durchlauf für $Ta=0$ in kleineren Schritten für ΔT wurde damit nicht durchgeführt.

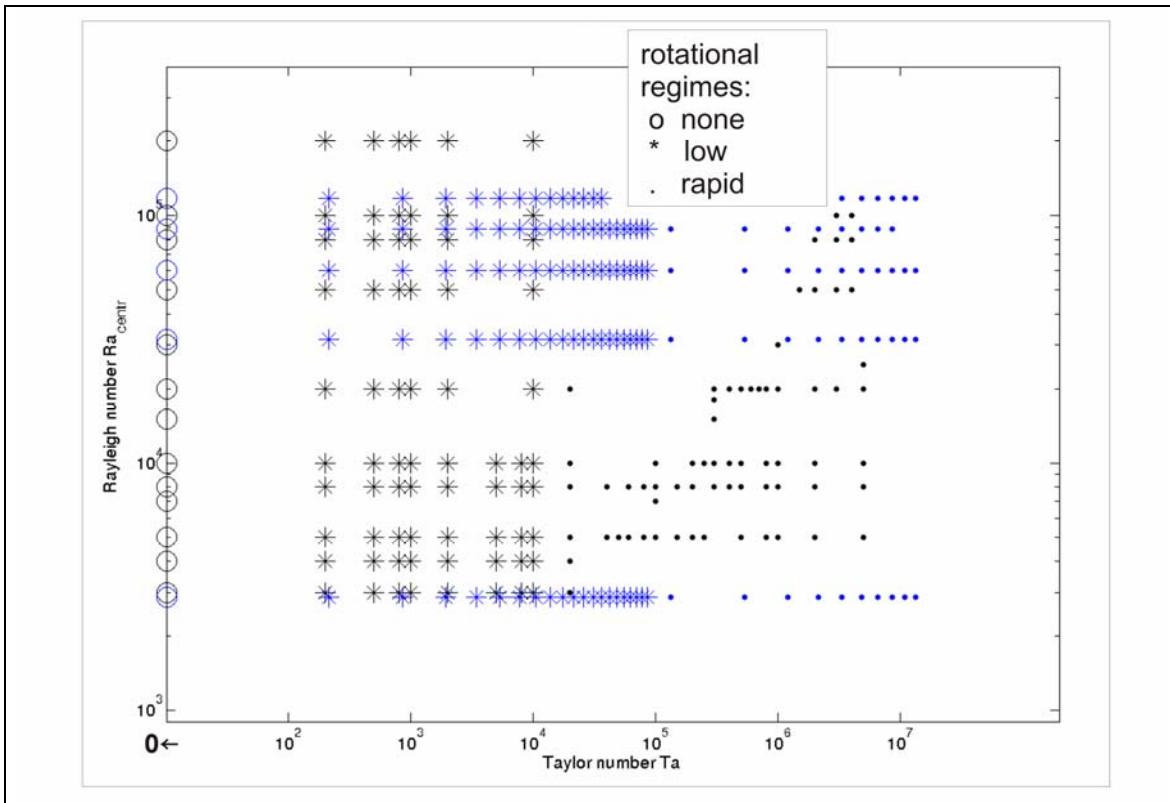


Abb. 1: GeoFlow Parameterraum mit numerischer (schwarze Symbole) und experimenteller (blau) Datenbasis für die vier verschiedenen Rotationsbereiche ($Ta=0$, Ta low, Ta intermediate, Ta rapid).

Im März 2009 wurde durch das Shuttle ‚Discovery‘ der EC wieder zurückgebracht und wird derzeit von Seiten der Industrie (EADS Astrium GmbH, Friedrichshafen) für die zweite Mission GeoFlow II vorbereitet. Die Experiment-Durchführung, die durch das spanische User Support und Operations Centre E-USOC in Madrid, das italienische Microgravity Advanced Research and Support Centre MARS in Neapel, jetzt Telespazio, sowie durch das deutsche COLUMBUS-Kontrollzentrum COL-CC in Oberpfaffenhofen bewerkstelligt wird, war unterteilt in so genannte „Runs“ und „Downloads“. Dies ist im Jahresbericht 2008 ausführlich beschrieben.

Nach dem technisch erfolgreichen Datentransfer von insgesamt 200 GB Bilddaten in Form von Interferogrammen und 50 GB Telemetriedaten (technische Informationen wie Hochspannung, Temperatur, Rotationsraten, etc. ...) wurde im Berichtszeitraum eine Datenbank angelegt, die beide Datenstränge synchronisiert. Diese Synchronisation von Bild-Daten in Form von *.jpg - Dateien mit Telemetrie-Daten in Form von *.csv - Dateien erforderte die technische Angleichung von in den Daten enthaltenen Informationen. Dabei wird im Wesentlichen über den Zeitstempel der Daten gearbeitet (Abb. 2).

15777 matches

idimg	deltatim	delta_t	fca_freq	imgpath	humantim	voltage	hvps_freq	idtm
0913033010500	-133	0.1695	0.0099	Run_No5/OPS_0913033010500.jpg	2008-12-11 12:16:50.367	0	0	0913033010367
0913033034990	377	0.1808	0.0086	Run_No5/OPS_0913033034990.jpg	2008-12-11 12:17:15.367	0	0	0913033035367
0913033059424	-57	0.1978	0.0109	Run_No5/OPS_0913033059424.jpg	2008-12-11 12:17:39.367	0	0	0913033059367
0913033083860	-493	0.1638	0.0093	Run_No5/OPS_0913033083860.jpg	2008-12-11 12:18:03.367	0	0	0913033083367
0913033108268	99	0.1695	-0.0108	Run_No5/OPS_0913033108268.jpg	2008-12-11 12:18:28.367	0	0	0913033108367
0913033132738	-371	0.1752	0.0094	Run_No5/OPS_0913033132738.jpg	2008-12-11 12:18:52.367	0	0	0913033132367
0913033157212	171	0.1865	0.009	Run_No5/OPS_0913033157212.jpg	2008-12-11 12:19:17.383	0	0	0913033157383
0913033181695	-312	0.1864	0.0098	Run_No5/OPS_0913033181695.jpg	2008-12-11 12:19:41.383	0	0	0913033181383
0913033206137	246	0.1921	0.0087	Run_No5/OPS_0913033206137.jpg	2008-12-11 12:20:06.383	0	0	0913033206383
0913033230569	-186	0.2147	0.0097	Run_No5/OPS_0913033230569.jpg	2008-12-11 12:20:30.383	0	0	0913033230383
0913033255010	373	0.2034	0.0087	Run_No5/OPS_0913033255010.jpg	2008-12-11 12:20:55.383	0	0	0913033255383
0913033279457	-74	0.2034	0.0087	Run_No5/OPS_0913033279457.jpg	2008-12-11 12:21:19.383	0	0	0913033279383
0913033303902	481	0.1864	0.0107	Run_No5/OPS_0913033303902.jpg	2008-12-11 12:21:44.383	0	0	0913033304383
0913033328384	-1	0.1978	0.0082	Run_No5/OPS_0913033328384.jpg	2008-12-11 12:22:08.383	0	0	0913033328383
0913033352826	-443	0.2204	0.0107	Run_No5/OPS_0913033352826.jpg	2008-12-11 12:22:32.383	0	0	0913033352383
0913037709044	339	8.2094	0.01	Run_No5/OPS_0913037709044.jpg	2008-12-11 13:35:09.383	10000.28	10633.22	0913037709383
0913037855934	449	8.2038	0.0106	Run_No5/OPS_0913037855934.jpg	2008-12-11 13:37:36.383	10001.3	10631.96	0913037856383
0913038002809	-426	8.2433	0.0093	Run_No5/OPS_0913038002809.jpg	2008-12-11 13:40:02.383	10004.05	10630.86	0913038002383
0913038149757	-370	8.2321	0.0116	Run_No5/OPS_0913038149757.jpg	2008-12-11 13:42:29.387	10007.65	10630	0913038149387
0913038296568	-201	8.2377	0.0085	Run_No5/OPS_0913038296568.jpg	2008-12-11 13:44:56.367	10000.34	10629.09	0913038296367
0913038443483	-116	8.2377	0.0118	Run_No5/OPS_0913038443483.jpg	2008-12-11 13:47:23.367	10001.3	10628.37	0913038443367
0913038590357	10	8.232	0.0089	Run_No5/OPS_0913038590357.jpg	2008-12-11 13:49:50.367	9999.67	10627.68	0913038590367
0913038737285	82	8.232	0.0122	Run_No5/OPS_0913038737285.jpg	2008-12-11 13:52:17.367	10001.35	10627.1	0913038737367

Abb. 2: Datenbankabfrage am Beispiel Run#5: $\Delta T_{set}=8.2K$, $f=0.008$, $0.2 : 0.2 : 2.0$ Hz

Folgendes dokumentiert u.a. das Fazit zu technischen Aspekten während der Mission. Bilder (timecode ‚idimg‘) und Telemetrie (timecode ‚idtm‘) werden unabhängig voneinander aufgenommen. Die Telemetrie wurde in jeder Sekunde aufgenommen, die Bilder liegen subsekündlich vor. An wenigen Stellen setzt die Telemetrie auch für einige Sekunden aus. Für die Synchronisation, dem Verbinden von Bildern und Telemetrie, wurde auf das ‚closest match‘ zurückgegriffen, d.h. jedem Bild wird der Telemetrievektor zugeordnet, für den $\text{abs}(\text{idtm}' - \text{idimg}')$ am kleinsten ist. ‚deltatim‘ ist dann die Differenz ($\text{idtm} - \text{idimg}$), die in der Datenbank gespeichert wird. Dabei wird nicht der Absolutwert gespeichert, damit noch erkennbar ist, ob die Telemetrie, die einem Bild zugeordnet ist, zeitlich vor dem Bild (negativ) oder nach dem Bild (positiv) aufgenommen wurde. Im Durchschnitt werden also jedem Telemetrievektor mehrere Bilder im Bereich der Rotationsfrequenz zugeordnet, jedem Bild aber nur ein Telemetrievektor.

Schließlich stellte sich die Frage nach der Genauigkeit einer Korrelation, wenn Telemetrie ausfällt, aber zu dieser Zeit Bilder existieren. Ohne Zuordnung wären Bilder dann in der Datenbank dann nicht auffindbar. Das ‚closest match‘ liefert Bilddaten, auch wenn der nächstgelegene Telemetriewert ggf. eine oder mehrere Minuten entfernt liegt. Diese Vorgehensweise legitimiert sich aus der Überlegung, dass das System während eines „Runs“ hinreichend träge ist und sich z.B. die Temperatur nicht innerhalb von wenigen Sekunden oder einer Minute merklich vom Vorgängerwert entfernen wird. Das Kriterium der Zuordnung ist dann ‚deltatim‘.

Offene Punkte ergeben sich hier für die Korrelation der Positionen innerhalb der Telemetrie. Dies ist zwar in der Spezifikation der Telemetrie-Variablen gefordert worden (siehe auch Technical Note, FSL EC GeoFlow UHB Displays, doc. NO. F6-TN-BTU-0036_UHB), derzeit aber nicht von Seiten Telespazio und E-USOC umgesetzt. Daher geschieht dies über eine manuelle Abschätzung über den zeitlichen Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildern.

Die Datenbank ermöglicht eine Präparierung und Evaluierung der Bilddaten für jeden „Run“. Im Rahmen der Vollständigkeit wird geprüft, ob analog dem Experimentablaufplan alle notwendigen Bilder vorliegen (Abb. 3). Im Rahmen der Qualifikation wird der Ist-Wert der Daten evaluiert (Abb. 4). Insgesamt kann gesagt werden, dass die technische Realisierung der Genauigkeiten für die Hochspannung, Temperaturwerte und Rotationsraten innerhalb der Spezifikation voll erfüllt wurde. Im Anschluss erfolgt die wissenschaftliche Auswertung durch Extraktion von Streifenmustern mit Hilfe der numerischen Vorhersagen und Verfolgung dieser Muster in Raum und Zeit.

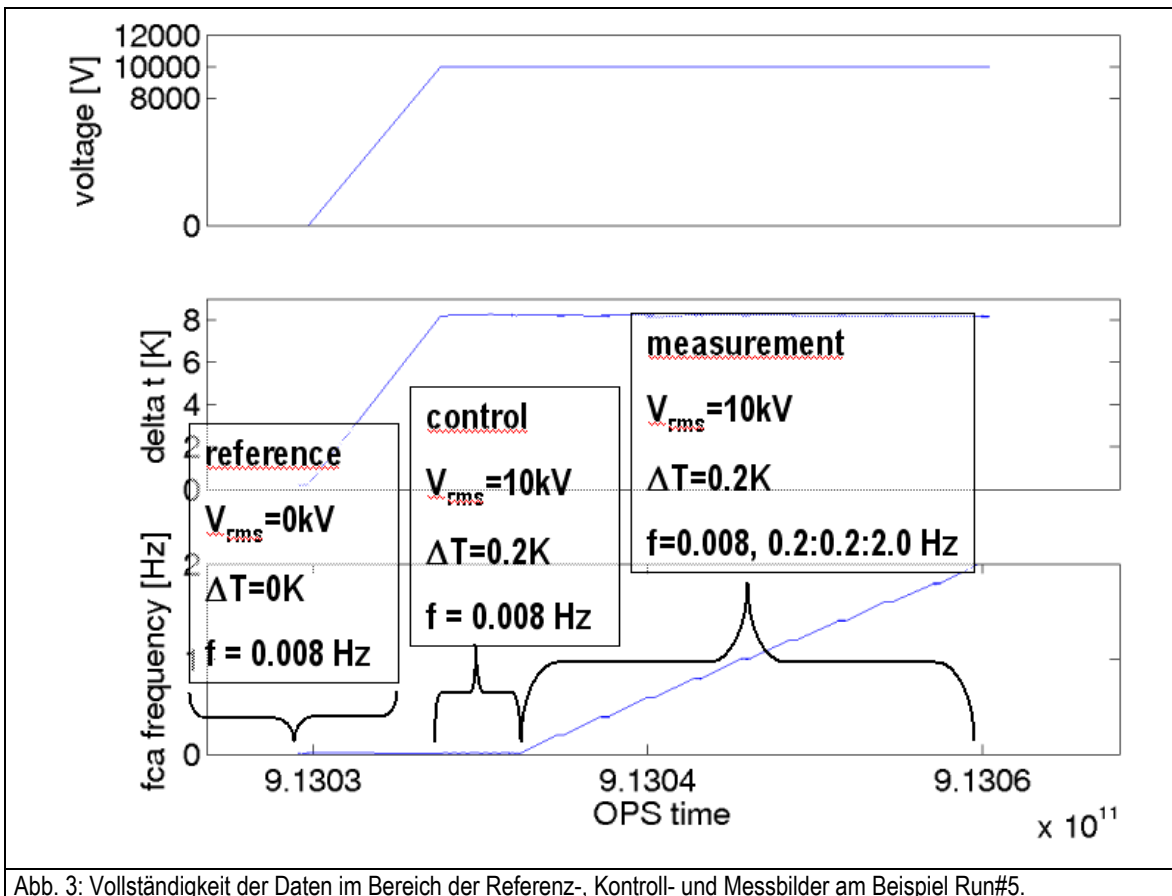


Abb. 3: Vollständigkeit der Daten im Bereich der Referenz-, Kontroll- und Messbilder am Beispiel Run#5.

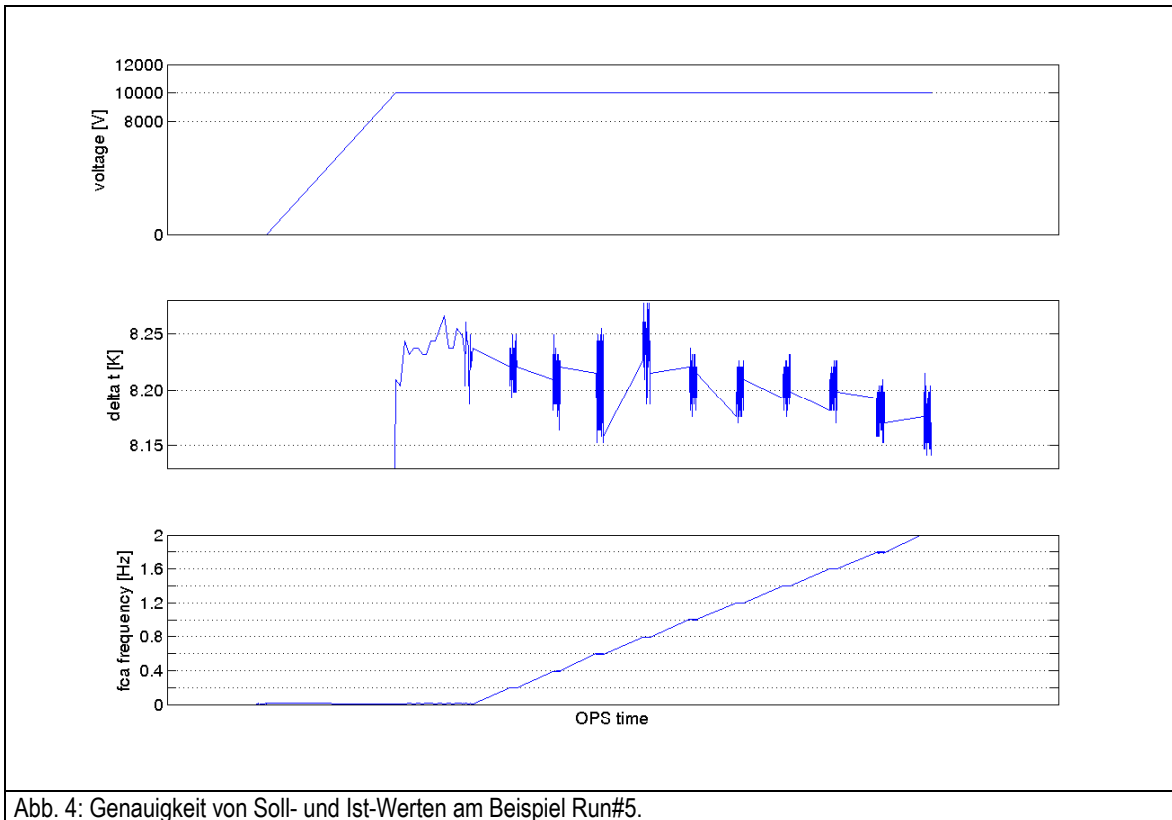


Abb. 4: Genauigkeit von Soll- und Ist-Werten am Beispiel Run#5.

Abbildung 5 verdeutlicht den Stand der Auswertung im gesamten Projekt, sowohl auf numerischer als auch auf experimenteller Seite. Die wissenschaftliche Analyse der Bild-Daten geschieht u.a. mit Hilfe von numerischen Untersuchungen, hierzu gehören sowohl 3D-Simulationen des Strömungs- und Temperaturfeldes als auch die in einer Vorwärtsmodellierung aus den numerischen Daten berechneten künstlichen Interferogramme (vgl. Abb. 3, Jahresbericht 2008). Der Abgleich der numerischen Daten mit den experimentellen Daten ist für die beiden Bereiche ‚Ta=0‘ und ‚Ta rapid‘ sehr erfolgreich gelungen (Abb. 6) und kann in den nächsten Monaten abgeschlossen werden, indem neben der Mustererkennung die Raum-Zeit-Verfolgung der Interferogramme realisiert wird (siehe auch Jahresbericht 2008). Am Ende sollen für diese Bereiche in 2010 vier abschließende Publikationen entstehen.

	Open issues for numerical work	Experimental analysis
Ta=0	sudden onset of chaos	in progress (ref. the following talk)
Ta low	multistability onset of chaos	in preparation
Ta intermediate	change of sign for drift velocity 'onset'	in preparation
Ta rapid	$Ra_{centr} \geq 5 \cdot 10^4$ and $Ta \geq 4 \cdot 10^6$	in progress (ref. the following talk)

Abb. 5: Stand der Analysen im GeoFlow-Projekt (aus: Topical Team Meeting 12./13. November 2009)

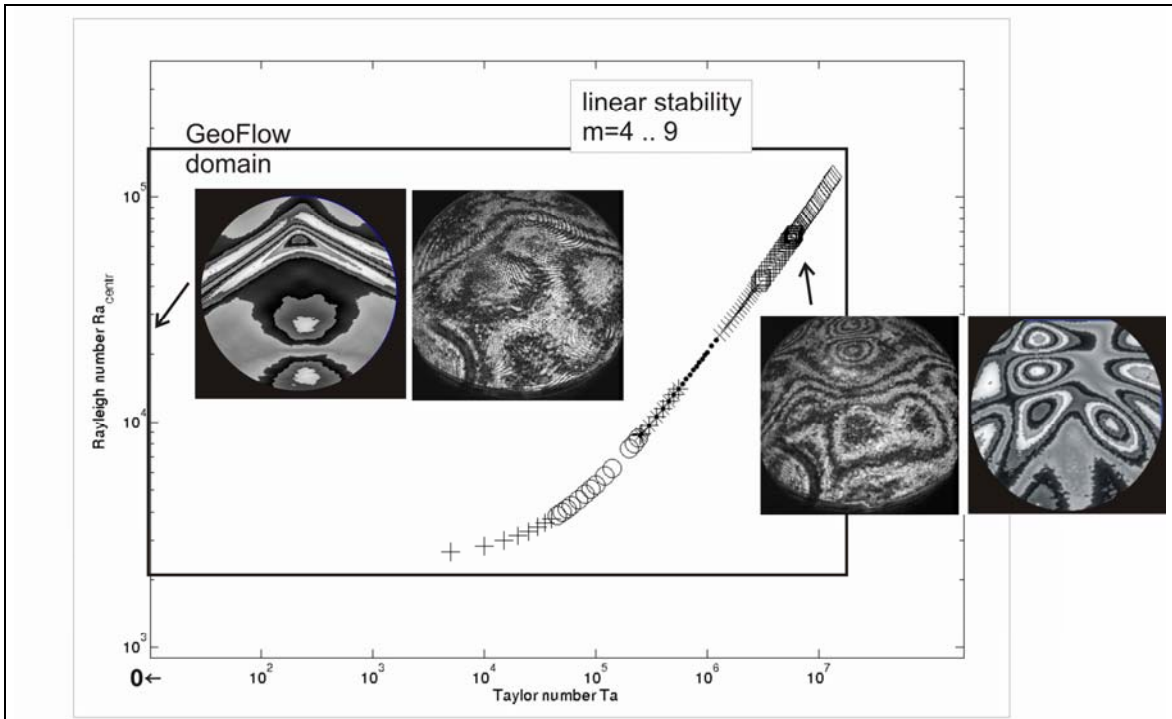


Abb. 6: Übereinstimmung numerischer und experimenteller Daten im Bereich Ta=0 und 'Ta rapid'

1.1.2 GeoFlow II

Während der Mission GeoFlow I war die Fluid-Zelle mit Silikonöl befüllt, das sich durch ein temperaturstabilen Viskositätsverhalten auszeichnet. Für die kommende Mission GeoFlow II wird das Experiment mit 1-Nonanol betrieben, dessen Viskosität stark temperaturabhängig ist. Damit werden Strömungen wie sie im Erdmantel auftreten untersucht. Hierfür ist es, wie auch schon für GeoFlow I, aufgrund der Auswertemethode notwendig numerische Simulationen durchzuführen. Die das System beschreibenden Boussinesq-Gleichungen für inkompressible, Newton'sche Medien werden unter anderem von der Trägheit beeinflusst. Bei der numerischen Simulation der Mantelkonvektion wird diese in guter Näherung vernachlässigt mit der Annahme, dass die Prandtl-Zahl mit Prandtl-Zahl $Pr \sim \text{Viskosität}/\text{Temperaturleitfähigkeit}$ gegen unendlich geht: $Pr \rightarrow \infty$. Um zu prüfen, ob die für die Experiment-Flüssigkeit realisierte Prandtl-Zahl mit ca. 100 bereits diese Näherung erfüllt, wurde im Berichtszeitraum der Einfluss der Prandtl-Zahl untersucht.

Es wurden Konvektionsmuster und Nusselt-Zahlen für numerische Datensätze aus GeoFlow I (Pseudo-Spektral-Code von Rainer Hollerbach) mit $Pr=64.64$ ausgewählt. Diese Daten wurden für den isoviskosen Fall mit Hilfe des sphärischen Codes GAIAA vom DLR-Institut für Planetenforschung, Abteilung Planetenphysik, Prof. Doris Breuer, für die unendliche Prandtl-Zahl gegengerechnet. Dabei zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung sowohl in den Mustern als auch bei der Nusselt-Zahlen (Abb. 7). Ein Fazit ist daher, dass die weiteren Rechnungen für das Experiment mit $Pr \rightarrow \infty$ durchgeführt werden können. Damit ergibt sich einerseits die Möglichkeit auf in der Geophysik-Community eingesetzte Codes internationaler Arbeitsgruppen zurückzugreifen (wie z.B. GAIAA). Andererseits vereinfacht sich hier der Implementierungsaufwand für das temperaturabhängige Viskositätsverhalten in den bisher verwendeten hauseigenen Code. Aktuell wird die Implementierung des nichtlinearen Viskositätsmodells in den hauseigenen Code geprüft und vorbereitet.

Prinzipiell sind nun die nächsten Schritte Simulationsrechnung anhand eines Experimentablaufplanes durchzuführen, der sich an den neuen Gegebenheiten orientiert, die sich durch Verwendung der Experimentflüssigkeit Nonanol ergeben. Hierfür wurde im Berichtszeitraum u.a. auch durch Diskussionen im Rahmen der Topical Team Treffen ein Dokument erstellt, das die ‚Numerical Objectives GeoFlow II‘ iteriert. Dies ist dem Bericht beigelegt.

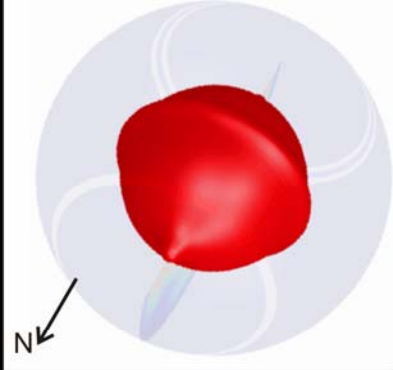
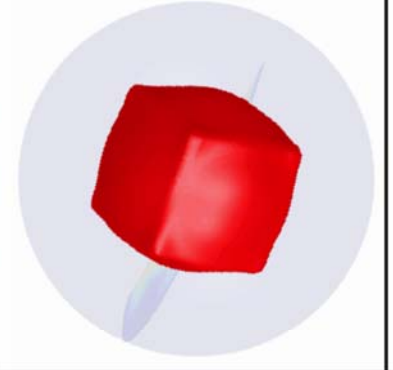
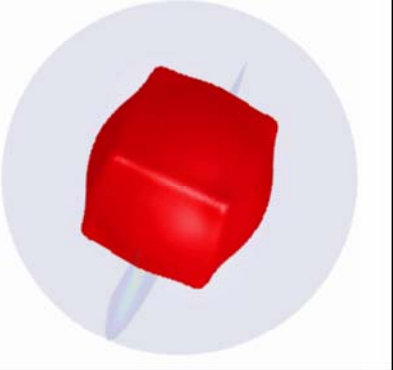
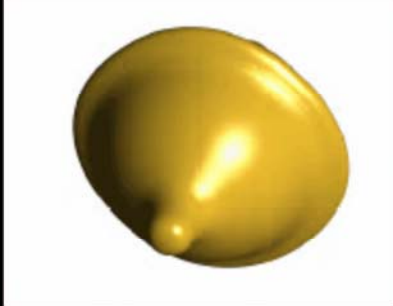

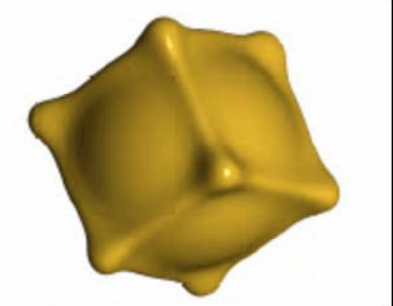
axisymmetric	octahedral	cubic
		
		
mode(4,4)	mode(3,2)	mode random

Abb. 7: Numerische Simulation der thermischen Konvektion im Kugelspalt, gefüllt mit inkompressiblem, Newton'schen Fluid konstanter Viskosität: Abgleich der Musterbildung aus Geo I, berechnet mit dem bisher verwendeten Pseudo-Spektralcode für $Pr=64.64$ obere Reihe, mit dem GAIAA code für $Pr \rightarrow \infty$.

1.1.2 Koordination mit Projektpartnern

Der wissenschaftliche Austausch mit den ESA-AO-Partnern und dem Topical Team wurde u.a. in Form von gemeinsamen Treffen realisiert. Diese Gesamt-Topical-Team Treffen in Bezug auf GeoFlow fanden am 12./13. Juni 2009 und am 12./13. Dezember 2009 in Cottbus statt.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudien für Wiederflugaktivitäten ist von Seiten der ESA das GeoFlow II-Experiment in allen Hierarchien genehmigt worden, das unter den gleichen technischen Rahmenbedingungen von GeoFlow I eine andere Flüssigkeit als Arbeitsfluid im Untersuchungsraum der Kugelzelle verwendet. Damit ermöglicht GeoFlow II die Untersuchung von Konvektionsströmungen wie sie im zähflüssigen Erdmantel angenommen werden. Um diese Thematik auch innerhalb des sich zusätzlich ergebenden Kreises im Fachkreisen zu diskutieren, wurde eine Teilnahme am 11th International Workshop on Modeling of Mantle Convection and Lithospheric Dynamics in Braunwald (Switzerland), 28.06.-03.07.2009 realisiert, sowie am European Planetary Science Congress in Potsdam, 13.-18. September 2009.

1.2 PFC-CIC

Das für die GeoFlow-Experimentreihe als Auftriebsfeld genutzte elektro-hydrodynamische Kraftfeld findet außerhalb geophysikalisch motivierter Strömungen mögliche technische Anwendungen im Bereich aktiver Strömungskontrolle, die innerhalb dieses Vorhabens mit Hilfe eines Parabelflug-Experiments (Parabolic Flight Campaign ‚Convection in a Cylinder‘ PFC-CIC) noch weiter untersucht werden soll.

Zur Untersuchung der thermischen Konvektion in einer Zylindergeometrie unter dem Einfluss eines dielektrophoretischen Kraftfeldes wurden im Rahmen der im Herbst 2009 durchgeführten Parabelflugkampagne verschiedene Parameter-Variationen realisiert (siehe auch Planung Jahresbericht 2008, Abb.8). Um einerseits die thermische Konvektion im Zylinderspalt grundlegend zu untersuchen und andererseits die Beeinflussung dieser durch das Anlegen einer Hochspannung näher zu erforschen, wurden drei unterschiedliche Untersuchungsszenarien verfolgt. Die Einteilung der drei Szenarien erfolgte entsprechend der drei geplanten Flugtage während der Parabelflug-Kampagne.

So wurde innerhalb der ersten Untersuchungsphase vorrangig die Temperaturdifferenz ΔT variiert. Während der ersten Parabelserie für jede Einzelparabel wurde bei einer Temperaturdifferenz zwischen Innenzylinder und Außenzylinder von $2K$ begonnen. Mit Schrittweiten von $2K$ wurde im Anschluss an die erste Parabelserie die Temperaturdifferenz kontinuierlich bis auf $10K$ für die letzte Parabelserie erhöht. Neben der Einstellung der Temperaturdifferenz wurde für jede Einzelparabel der insgesamt 25 Parabeln die Hochspannung von $4kV$ aktiviert. Wie aus den theoretischen Vorbetrachtungen bekannt ist, erzeugt dabei die Hochspannung ein künstliches Kraftfeld. Dieses Kraftfeld ist die Grundvoraussetzung dafür, dass sich während der vorherrschenden μg -Phase eine Konvektionsströmung ausbildet, da ohne Gravitation keine Konvektion existieren kann. Mit der Kombination des zweiten und dritten Flugtages in Form der Hochspannungsvariation von 4 und $7kV$ wurde vor allem der Einfluss unterschiedlich stark ausgebildeter künstlicher Kraftfelder untersucht. Hier wurde bereits zu Beginn des Fluges ein konstanter Temperaturgradient eingestellt, so dass zu Beginn der Parabelserien von einer stabilen Konvektionsbewegung ausgegangen werden konnte. Das Experiment wurde nicht nur in der μg -Phase beobachtet, sondern es wurde auch das Verhalten der Strömung vor, zu Beginn und am Ende der Parabel dokumentiert.

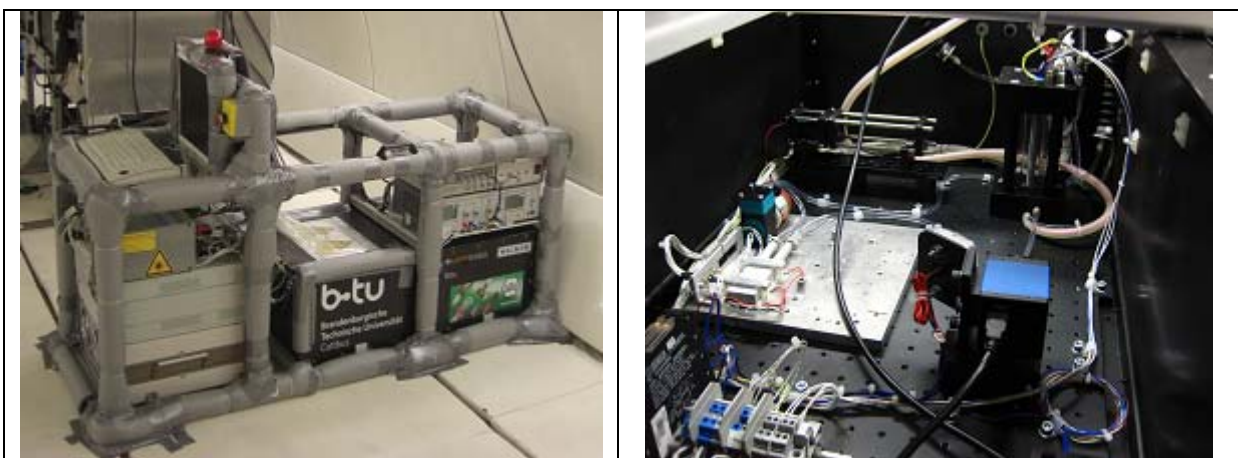


Abb. 8: Experimenttrack (links) im Flugzeug installiert. Experimentaufbau im Container mit kleiner Zelle(rechts).

Das Experiment bestand zunächst nur aus einer von zwei geplanten Experimentzellen (siehe auch Jahresbericht 2008, Aufstockungsantrag 2009), da von den beiden geplanten nur die eine den ESA-Sicherheitsbestimmungen entsprach. Diese sehen bei der Verwendung von Flüssigkeiten ein so genanntes Double Containment vor. Im Rahmen von sicherheitsrelevanten Drucktests kam es bei der einen Experimentzelle zu einem technischen Defekt in der Kapselung, so dass das Double Containment nicht mehr sichergestellt werden konnte. Der Untersuchungsraum, in dem Silikon-Öl AK5 der Firma Wacker eingefüllt wurde, ist begrenzt durch den Innenzylinder aus Aluminium und einem Glaszylinder, der auf der Innenseite mit Indium-Zinn-Oxid (ITO) beschichtet ist. Um den Außenzylinder herum befindet sich eine Glasbox, die mit Wasser aufgefüllt wird. Diese Glasbox zeigte im Anschluss an den Drucktest feine Fissuren. Der Innenzylinder und der ITO-beschichtete Außenzylinder sind an einen Hochspannungsgenerator angeschlossen. Das elektrische Kraftfeld, das mit einer Hochspannung von bis zu $V_{pp}=7,2\text{kV}$ aufgebaut werden kann, wirkt als radiales Auftriebsfeld für die thermische Konvektion.

Als zum Einsatz kommende Messtechnik wurde für den Parabelflug ein klassisches Lichtschnittverfahren sowie die Globalbeleuchtung gewählt. Hierfür war die Zugabe von Partikeln in den Untersuchungsraum notwendig. Die Auswahl der Partikel, die trotz des vorherrschenden künstlichen Kraftfeldes entsprechend den messtechnischen Anforderungen ungestört der Strömung folgen müssen und sich nicht entlang der Kraftlinien ausrichten dürfen, wurde auf Grundlage einer vom Zuwendungsempfänger ZE in 2006 durchgeführten Studie getroffen (*Tracer Specification and Verification for the Use in Fluid Experiments with High Electrical Fields for the ESA TRP project - Design, Manufacture, Integration and Test of a Lab-Level Mini Laser-Doppler-Anemometry System*, Contract No. 16554/02/NL/CP, Dokument-Nr. ML-BTU-TN5-0006). In dieser Studie wurden Vestosint, Tospearl und P84 an einem Referenz-Experiment getestet und für die Anwendung Vestosint empfohlen, welches hier nun verwendet wird. Tabelle 1 enthält zusätzlich eine Aufstellung der am Lehrstuhl des ZE vorhandenen Tracer.

Tab. 1: Verfügbare Tracer für Parabelflugexperiment: relevante Eigenschaften im Hinblick auf die Strömungsvisualisierung (Anforderung: ohne Ausrichtung im Kraftfeld, ohne Überschlagsgefahrenpotenzial)

Company	Product	Material	Diameter [mm]	Density ρ [kg m ⁻³]	Permittivity ϵ_r
Degussa	Vestosint	Polyamide 12A	5-250	1016	3.8
Dantec	PSP	Polyamide 12A	5-50	1030	3.8
Potters	Spherical	Borosilicate glass	30, 18, 11	340, 600, 1100	4.6
HP Polymer	P84	Polyamide	10	1340	3.4
GE Silicones	Tospearl	Silicone resin	12	1320	3.0

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Parabelflug-Experiments dargestellt.

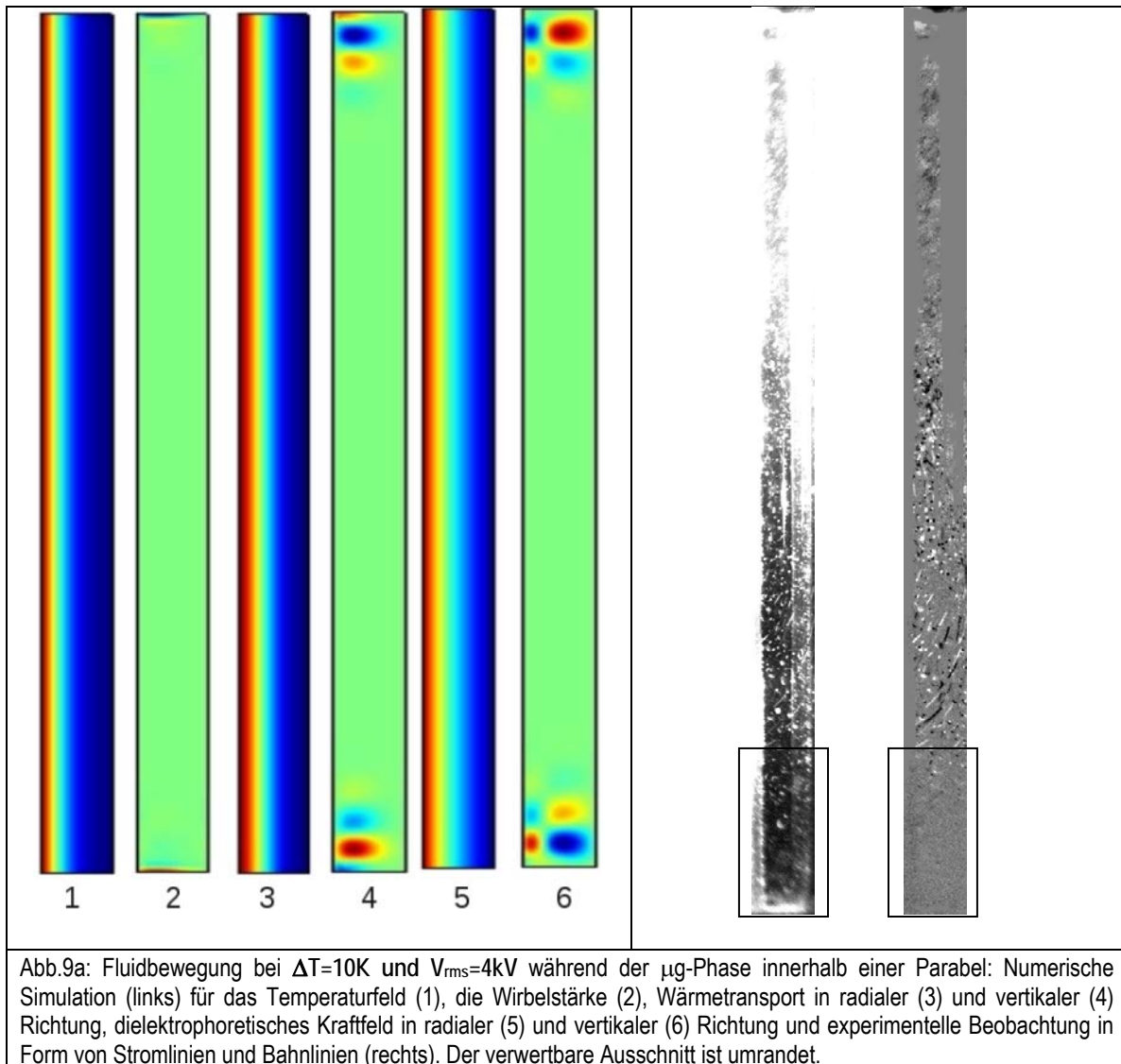
Im Rahmen von μg -Bedingungen erzeugt ein Temperaturgradient keine Konvektion, da die Gravitation als auftriebsinduzierte Kraft nicht vorhanden ist. Erst durch das Anlegen einer Hochspannung und Verwendung einer dielektrischen Flüssigkeit ist es möglich unter Mikrogravitation ein ähnlich der natürlichen Gravitation wirkendes Auftriebsfeld zu etablieren und Konvektion für ein überkritisches ΔT zu erzeugen. Im Experiment lässt sich dieser Effekt abbilden, indem exakt zu Beginn der μg -Phase sowohl das Hochspannungsfeld zugeschaltet als auch der Temperaturgradient aufgebaut wird. Dabei ist für die hier verwendete Strömungskonfiguration zu beachten, dass für den Durchsatz einer damit erzeugten, thermisch bedingten Störung eine Diffusionszeit $\tau_{\text{therm}}=d^2/\kappa$ von knapp 5 Minuten abgeschätzt werden kann. Diese ließe sich zwar

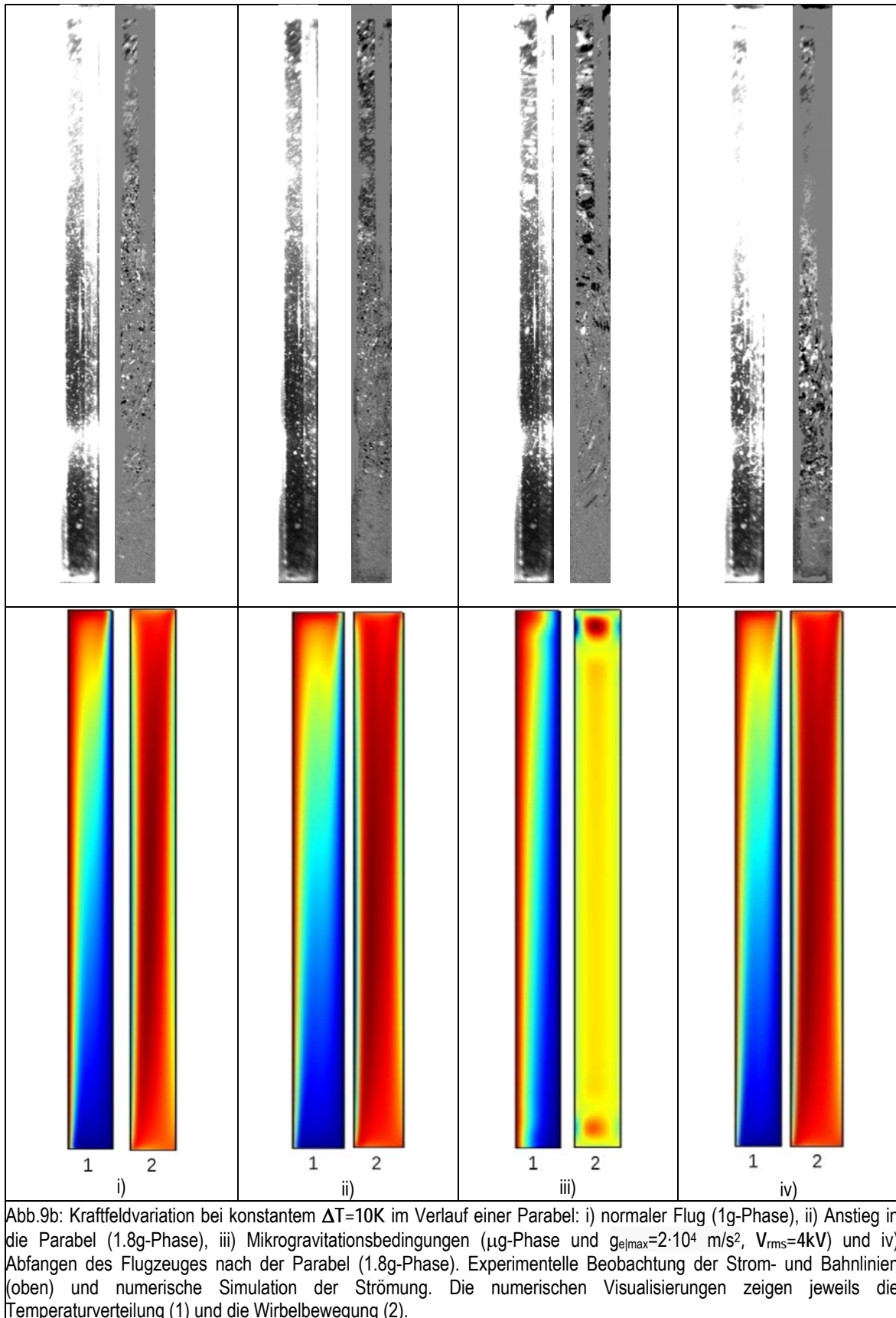
durch eine Verkleinerung der tatsächlichen Geometrie verringern, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass der Untersuchungsspalt mit 5mm Größe das Minimum im Hinblick auf die optische Auflösung darstellt. Abbildung 9a zeigt nun die Fluidbewegung, die sich am Ende der μg -Phase (nach 22s) und $V_{\text{rms}}=4\text{kV}$ (mit $g_{\text{el|max}}=2\cdot 10^4 \text{ m/s}^2$ am Außenrand) für $\Delta T = 10\text{K}$ einstellt. In der Darstellung des numerisch simulierten Temperaturfeldes und des ebenso numerisch berechneten Wärmetransportes in radialer Richtung zeigt sich der Zustand der Wärmeleitung. Die in der Simulation mögliche hoch aufgelöste Darstellung der Wirbelstärke verdeutlicht die im Ansatz befindliche Ausbildung von Wirbelfeldern. Insbesondere im Experimentbild wird deutlich, dass die Dauer der μg -Phase hier noch nicht ausreicht, um die künstliche Auftriebsbewegung zu induzieren. Das System verbleibt aufgrund der thermischen Diffusionszeit im transienten Stadium ohne signifikante Fluidbewegung. Es ist zu bemerken, dass sich die Tracer nicht entlang der radialen Richtung ausrichten, so dass sich hier bereits zeigt, dass diese in dem Hochspannungsfeld zur Visualisierung der Strömung eingesetzt werden können.

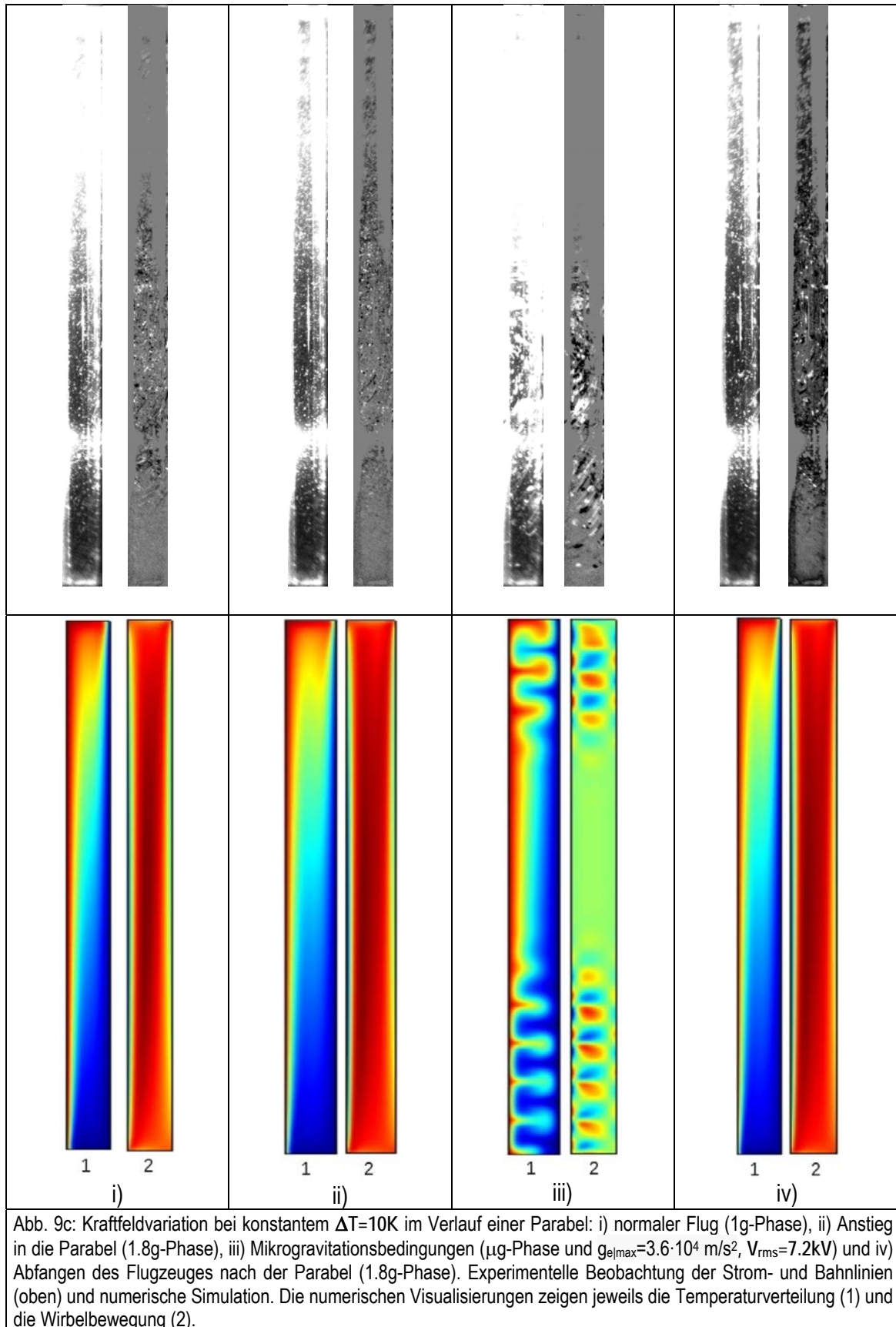
Abbildung 9b und c zeigt die Fluidbewegung in Analogie zur Kraftfeldvariation (natürliche und künstliche Kraftfeldbeschleunigung), die sich aus dem Flugszenario des zweiten und dritten Flugtages ergeben. Indem bereits zu Beginn des Gesamtfluges der Temperaturgradient aufgeprägt wird, wird im Untersuchungsraum eine großräumige Konvektionszelle als Ausgleichsbewegung im natürlichen Schwerfeld der Erde erzeugt. Abbildung 9 i) zeigt in der Darstellung der Wirbelstärke die Ausbildung einer Grenzschicht-dominierten Strömung entlang der Zylinderränder. Der Anstieg in die Parabel korrespondiert mit einer nahezu Verdopplung der natürlichen Gravitationskraft. Interessant ist, dass dies auf die übergeordnete Strömungsstruktur keinen Einfluss hat (Abb. 9 ii). Lediglich die Grenzschicht wird schmaler, mit dem Effekt, dass innerhalb des Untersuchungsraumes die Fluidbewegung abnimmt. Auf den Anstieg folgt die Phase der Mikro-Gravitation. Zu Beginn dieser Phase wird das elektrische Kraftfeld aufgebaut und zeigt sofort eine Wirkung auf die Strömung, wie in Abb. 9 iii) sichtbar wird. Der Temperaturgradient wird in radialer Richtung verschoben, im Bereich der oberen und unteren Deckelplatten bilden sich Wirbel aus. Dabei nimmt die Zahl der Wirbel mit der angelegten Hochspannung und damit mit der künstlich erzeugten Auftriebskraft zu. In Analogie zu weiteren numerischen Berechnungen (siehe auch Aufstockungsantrag 2009) wird erwartet, dass sich während einer ausreichend langen μg -Phase diese Wirbel im gesamten Untersuchungsraum ausbilden. Im Anschluss folgt erneut die Phase mit fast doppelter Gravitationsbeschleunigung und die ursprüngliche Strömung stellt sich sofort wieder ein, Abb. 9 iv). Die experimentelle Visualisierung der Fluidbewegung in Form von Stromlinien (Integral des Geschwindigkeitsfeldes entspricht dem Tracer-Messbild in Form von einzelbelichteten Bildern) und Bahnlinien (subtrahiertes Bild erzeugt durch zwei zeitlich aufeinanderfolgende Bilder) folgt in der Tendenz der numerischen Simulation. Insbesondere die Darstellung der Bahnlinien verdeutlicht die Grenzschichtbewegung. Insgesamt muss festgestellt werden, dass zum einen der Innenzylinder stark reflektierte und somit zu Überblendungen vor allem im Deckelbereich des Zylindersystems führte. Zum anderen wirkte sich die Strömung im Kühlkreislauf vor allem während der μg -Phase störend aus. In den Messbildern überlagert sie die eigentliche Strömung im Untersuchungsraum.

Insgesamt hat sich eindrucksvoll bestätigt, dass auf Basis elektro-hydrodynamischer Konvektion unter Mikrogravitationsbedingungen Auftrieb realisierbar ist. Weiter konnte durch Beobachten der gesamten Parabelphasen (1g, 1.8g, μg) in einem ersten Schritt gezeigt werden, dass die Auftriebs-Effekte vergleichbar sind. Um den Effizienz-Bereich der beiden Kraftfelder vertiefend zu untersuchen, wird das Experiment derzeit weiterentwickelt. Ziel ist es das Maximum von $V_{\text{rms}}=10\text{kV}$ zu erreichen. Weiter wird geprüft, ob sich durch einen Schleifprozess des Innenzylinders die

optischen Reflexionen steuern lassen. Aufgrund der Verwendung des elektro-hydrodynamischen Kraftfeldes ist eine leitfähige Beschichtung z.B. mit Graphit oder schwarzer Farbe nicht möglich. Weiter wird der Kühlkreislauf optimiert. Zusätzlich sollen die Untersuchungen insbesondere auch für den engen Spalt mit einem Radienverhältnis $\eta=0,9$ durchgeführt werden. Im Rahmen von numerischen Simulationen könnte geprüft werden, ob Mond- bzw. Marsparabeln von Interesse sind. Es stellt sich die Frage, mit welcher Kraftfeldmagnitudo das elektro-hydrodynamische Kraftfeld die Konvektion unter Mikrogravitation, übernehmen kann.







2 Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgaben-/Kostenplanung.

Im Berichtszeitraum wurde keine Veränderung des Zeitplanes vorgenommen. Auf Basis des Jahresberichts 2008 und des Aufstockungsantrages vom 24.06.2009 enthält die folgende Tabelle die wesentlichen Eckdaten dieser Planung für die relevanten Quartale des Gesamt-Projektzeitraums, beginnend mit den Quartalen für den Berichtszeitraum:

Aufgabenbeschreibung	I 09	II 09	III 09	IV 09	I 10	II 10	III 10	IV 10	I 11	II 11	III 11	IV 11
GeoFlow I/II												
Rückkehr Refurbishment Start	X	X										
Experimentdurchführung			X	X	X	X	X	X				
Wissenschaftliche Bewertung/Berichterstattung									X	X	X	X
Topical Team Treffen		X		X		X		X		X		X
PFC-CiC												
Design/Konstruktion/Fertigung	X	X										
Inbetriebnahme	X	X										
Sicherheitsscheck		X	X									
Parabelflugkampagne			X									
Wissenschaftliche Bewertung/Berichterstattung			X	X								

Eine zusätzliche Planungshilfe stellen die folgenden Tabellen mit einem Balkenplan und dem Zeitablauf des Vorhabens für den Berichtszeitraum dar, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Arbeitspaketen:

GeoFlow

Aufgabenbeschreibung	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09	11/09	12/09
GeoFlow I - Experiment												
Experimentdurchführung	X											
Datendownload/Datenauswertung/Interpretation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Numerische Simulationen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Publikation der Ergebnisse	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Wissenschaftliche Bewertung/Berichterstattung	X	X	X	X	X	X						X
GeoFlow II - Experiment												
EC-Design von GeoFlow II in Kooperation mit EADS Astrium					X	X	X	X	X	X	X	X
Bodentests in Kooperation mit MARS, USOC										X	X	X
Shuttle-Transport zur ISS												
Experimentdurchführung												
Datendownload/Datenauswertung/Interpretation												
Numerische Simulationen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Publikation der Ergebnisse						X						
Wissenschaftliche Bewertung/Berichterstattung	X	X	X	X	X					X	X	X
Topical Team Treffen						X					X	

PFC-CIC

Aufgabenbeschreibung	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09	10/09	11/09	12/09
PFC-CiC												
Konstruktion und Fertigung	X	X	X	X	X	X						
Qualifikation	X	X	X	X	X	X	X					
Sicherheitsscheck							X	X				
Flugvorbereitung								X				
Parabelflugkampagne									X			
Datenauswertung/Interpretation										X	X	X
Numerische Simulationen							X	X	X	X	X	X
Publikation der Ergebnisse												X
Wissenschaftliche Bewertung/Berichterstattung												X

3 Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Ausgaben-/Kostenzeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?

Die im Erstantrag, im Aufstockungsantrag 2008 und 2009 beschriebenen wirtschaftlichen und wissenschaftlich und/oder technischen Erfolgsaussichten sind unverändert. Aufgrund der oben ausführlich dokumentierten Ergebnisse werden die Ziele weiterhin als gut erreichbar eingeschätzt. Eine Änderung erfolgte nicht.

4 Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind (auch Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr. 6.1 NKBF 98)?

Es sind keine Ergebnisse von dritter Seite bekannt, die Einfluss auf die Durchführung des Projekts haben.

5 Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

In der allgemeinen Zielsetzung des Vorhabens sind keine Änderungen notwendig.

6 Fortschreibung des Verwertungsplans

- 6.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie ggf. auch deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.

Es wurden keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen gemacht/vorgenommen. Schutzrechte wurden vom ZE nicht erteilt oder in Anspruch genommen.

- 6.2 Evtl. wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen / Anwenderindustrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt).

Die in diesem Projekt definierten Erfolgsziele sind in Bezug auf das Raumstationsexperiment auf Grundlagenforschung im Bereich der experimentellen und numerischen Strömungsmechanik ausgerichtet. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten stehen demzufolge naturgemäß zunächst nicht unbedingt im Vordergrund. Die Ergebnisse der Experimente und auch die Kalibrierung/Verbesserung der numerischen Codes durch die Verifizierung der numerischen Rechnungen mit experimentellen Ergebnissen können jedoch zukünftigen wirtschaftlichen Projekten bzw. wissenschaftlich-wirtschaftlichen Gemeinschaftsprojekten dienen.

In Bezug auf das Parabelflug-Experiment sollen die Untersuchungen zur Realisierung der technischen Nutzung des Kraftfeldes (z.B. in Wärmeaustauschersystemen für die Energietechnik sowie Mikropumpen und Dosiersysteme für die Biotechnologie und Pharmazie) einen Schritt in Richtung wirtschaftlicher Verwertbarkeit ermöglichen.

- 6.3 Evtl. wissenschaftliche und / oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen.

Als Stichworte seien an dieser Stelle die strömungsmechanische Untersuchung auf dynamische und strukturbildende Mechanismen bei der Transition in chaotische bzw. turbulente Strömungen genannt. Die wissenschaftlich/technologischen Resultate aus der Numerik sowie aus dem Mikrogravitationsexperiment werden - in guter Tradition des ZE - auf nationalen und internationalen Tagungen und Workshops vorgetragen sowie in einschlägigen Fachzeitschriften publiziert. Im Rahmen der Machbarkeitsstudien für Wiederflugaktivitäten ist von Seiten der ESA das GeoFlow II-Experiment genehmigt worden, das unter den gleichen technischen Rahmenbedingungen von GeoFlow I eine andere Flüssigkeit als Arbeitsfluid im Untersuchungsraum der Kugelzelle verwendet. Damit ermöglicht GeoFlow II die Untersuchung von Konvektionsströmungen wie sie im zähflüssigen Erdmantel angenommen werden. Im Jahr 2008 wurde das so genannte *Experiment Scientific Requirements* Dokument für GeoFlow II (Dokument-Nummer SCI-ESA-HSF-ESR-

GEOFLOW II) erarbeitet, in das auch die Erfahrungen aus dem laufenden Betrieb für GeoFlow I eingeflossen sind. Dies ist Basis für einen Wiederflug, der nach aktueller Planung im Zeitraum 2010/2011 vorgesehen ist. Im Berichtszeitraum 2009 wurde dieses Dokument von Seiten der ESA auf allen Ebenen genehmigt. GeoFlow II ist weiter für den Transport mit dem ESA Automatic Transfer Vehicle ATV „Johannes Kepler“ für den 18. November 2010 vorgesehen.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen zur elektrohydrodynamischen Theorie und der damit verbundenen Möglichkeit zur künstlichen Krafterzeugung unter μg -Bedingungen wird insbesondere ein Beitrag für mögliche technische Anwendungen unter Erdbedingungen geleistet, z.B. für Mikropumpensysteme, Dosiersysteme, Wärmetauscher- und Abscheidersysteme. Die in der Parabelflugkampagne untersuchte Instabilität erhöht künstlich den Wärmefluss innerhalb der Zylinderspaltströmung. Eine Erhöhung des Wärmeflusses unter Mikrogravitation ist häufig erwünscht. Weiterentwicklungen zur Anwendung im Bereich der Kühlung und des Wärmetransportes unter Mikrogravitation könnten nach einem erfolgreichen Parabelflug-Experiment möglich sein.

Der Transfer der wissenschaftlichen Ergebnisse geschieht im Wesentlichen durch Publikationen bzw. Konferenzbeiträge (national und international) sowie durch regelmäßige Projektbesprechungen der Kooperationspartner. Im Folgenden sind die Inhalte der Treffen im Rahmen des ESA Topical Teams „Geophysical Flow Simulation“ sowie die erfolgten Veröffentlichungen im Berichtszeitraum gelistet.

6.3.1 Im Berichtszeitraum erfolgte Treffen des Topical Teams

Topical Team *Geophysical Flow Simulation* Meeting 11./12. June 2009

Agenda 11. June 2009

- 13:00 Opening (Christoph Egbers, BTU Cottbus)
- 13:10 GeoFlow I Experiment:
 - From Numerical Simulation to Experimental Data Evaluation
 - Part I: Overall Dynamics and First Data Identification
 - Part II: Numerical and Experimental Alignment
 - Part III: Preliminary Results of the Non-Rotating Case
(B. Futterer and S. Koch, BTU Cottbus)
- Discussions of Transfer of Path Following Methods to Low Rotating Case
(F. Feudel, University of Potsdam; L. Tuckerman, PMMH-EPSCI Paris;
B. Futterer, BTU Cottbus)
- 14:40 Coffee Break
- 15:00 Schedules of European Programme for Life and Physical sciences
and Applications Utilising the International Space Station (ELIPS) Research Pool:
Planning of GeoFlow Reflight
(S. Mazzoni and O. Minster, ESA Noordwijk)
- 15:30 Numerical Benchmark on the Influence of Prandtl Number Effects for GeoFlow II

(A.-C. Plesa and D. Breuer, DLR Berlin)

- 16:30 Side Walk from Fluid-Centrum to Audimax
- 17:00 Dies Academicus BTU Cottbus
followed by BTU Cottbus summer celebration
- 19:30 Dinner at Brasserie

 <p> DIES ACADEMICUS BTU COTTBUS 11.06.2009</p>
<p>EINLADUNG ZUM DIES ACADEMICUS BTU COTTBUS</p> <p> Brandenburgische Technische Universität Cottbus</p> <p>am Donnerstag, 11. Juni 2009, 17 Uhr Zentrales Hörsaalgebäude, Audimax</p> <p>Festvortrag: Klaus von Dohnanyi »Wirtschaftswissenschaft als Geisteswissenschaft – Gedanken zu Ursprung und Folgen der Wirtschaftskrise«</p> <p> Prof. Dr. Dr. h.c. Walther Ch. Zimmerli Präsident der BTU Cottbus</p>

PROGRAMM

Einlass ab 16 Uhr | Beginn: 17 Uhr

Wir bitten alle Gäste höflich, ihre Plätze bis 17 Uhr einzunehmen, um einen pünktlichen Beginn der Veranstaltung zu gewährleisten.

Musikalische Eröffnung

Musiker des Philharmonischen Orchesters des Staatstheaters Cottbus

Begrüßung

Prof. Dr. Dr. h.c. Walther Ch. Zimmerli, Präsident
BTU Cottbus

Grußwort

Dr. Johann Komusiewicz, Staatssekretär
Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes
Brandenburg

Verleihung des Dr. Meyer-Struckmann-Wissenschaftspreises der BTU Cottbus

Verleihung der Lehrpreise der BTU Cottbus

Festvortrag

Sommerfest der Studierenden der BTU Cottbus

Agenda 12. June 2009

- 09:00 Opening (Christoph Egbers, BTU Cottbus)
- 09:10 Summary of Mission GeoFlow I :
Lessons learnt and important facts for following FSL missions
(J.-Y. Brückner, A. Stöckert, B. Futterer, C. Egbers, BTU Cottbus)
- 09:30 Discussion
(all)
- 10:00 Coffee Break
- 10:30 Parabolic Flight Campaign "Convection in a Cylinder" (PFC-CIC)
Part I: Numerical Simulation (O. Crumeyrolle, M. Smieszek, I. Mutabazi, University of
LeHavre)
Part II: Progress of Technical Hardware Set-up (N. Dahley, BTU Cottbus) including
PFC-CIC Lab Tour

Agenda 13. June 2009



OPEN UNIVERSITY
RAUMFAHRTTAG

b.tu Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus

Planetarium und BTU Cottbus laden ein: Samstag, 13. Juni 2009,
15-17Uhr | BTU Cottbus, Zentrales Hörsaalgebäude, Audimax

PROGRAMM:

- Kommen Sie mit uns auf die »Reise zu den Planeten« (3D-Film).
- Lernen Sie den ESA-Astronauten Hans Schlegel persönlich kennen.
- Erfahren Sie vom GEOFLOW-Team Neues zum Raumstations-experiment GEOFLOW.

Wir freuen uns auf Sie. Der Eintritt ist frei!

Eine gemeinsame Initiative von Planetarium
Cottbus und BTU-Lehrstuhl Aerodynamik und
Strömungslehre zusammen mit der Zentralstelle
für Weiterbildung, der Europäischen Weltraum-
organisation ESA und dem Deutschen Zentrum
für Luft- und Raumfahrt, DLR.

Brandenburgische Technische Universität · Zentralstelle für Weiterbildung · T +49 (0)355 69 36 13 · F +49 (0)355 69 31 90 · zfw@zu-cottbus.de

www.tu-cottbus.de



Topical Team *Geophysical Flow Simulation* Meeting 12./13. November 2009

Agenda 12. November 2009

- 13:00 Introduction (Christoph Egbers, BTU Cottbus)
- 13:30 GeoFlow I Experiment:
From Numerical Simulation to Experimental Data Evaluation
Part I: Numerical Simulation: Conclusions and Outlook (B. Futterer, BTU Cottbus)
Part II: Experimental Validation of the Rapid Rotation Case (B. Futterer, BTU Cottbus)
Part III: Experimental Validation of the Non-Rotating Case (S. Koch, BTU Cottbus)
- 15:00 Coffee Break (Discussions/Lab Tour)
- 16:00 Influence of Rayleigh number for GeoFlow I/II with temperature-dependent viscosity models
(A.-C. Plesa, D. Breuer, DLR Berlin)
- 16:30 A hybrid spectral-finite difference code for the simulation of thermal convection in terrestrial planets
(Ruth Ziethe, ESA ESTEC)
- 17:00 Discussion on GeoFlow II:
1. Connection between experimental possibilities and numerical challenges (all)
2. Mission preparation
- 18:00 Space-Application of Taylor-Couette Flow (R. Lueptow)
- 19:00 Dinner

Agenda 13. November 2009

- 09:00 Opening (Christoph Egbers, BTU Cottbus)
- 09:10 Discussion on Actions (Scientific/Technical):
1. GeoFlow I – Summary / State of Experimental Validation
2. Closure GeoFlow I
Dynamics of non-rotating case (F. Feudel, University of Potsdam, L. Tuckerman, ESPCI Paris)
EOF analysis (Th. von Larcher, FU Berlin)
3. Preparation of Mission GeoFlow II
(S. Mazzoni, ESA ESTEC Nordwijk)
(all)
- 10:00 Coffee Break
- 10:30 Technical Application of dielectrophoretic force:
Parabolic Flight Campaign “Convection in a Cylinder” (PFC-CIC)
Part I: Numerical Simulation (M. Smieszek, BTU Cottbus, O. Crumeyrolle, I. Mutabazi, University of LeHavre)

Part II: Experimental Accomplishment (N. Dahley, BTU Cottbus)

12:00 Lunch



6.3.2 Im Berichtszeitraum erfolgte Veröffentlichungen

Diplom- / Masterarbeiten

- Hauschild, A., Entwicklung und Betrieb eines Parabelflugexperimentes zur Untersuchung von thermischer Konvektion in einer Zylinderspaltgeometrie mit künstlichem Kraftfeld, Masterarbeit Hochschule Zwickau

Zeitschriften

- B. Futterer, M. Gellert, Th. von Larcher, S. Koch, N. Dahley, C. Egbers: Laser based Wollaston shearing interferometry for diagnostics of spherical shell convection, Meas. Sci. Technol., eingereicht
- N. Scurtu, B. Futterer, C. Egbers: Pulsating and traveling wave modes in natural convection in spherical shells, Phys. Fluids, eingereicht
- B. Futterer, C. Egbers, S. Koch, N. Dahley, L. Jehring: First identification of sub- and supercritical convection patterns from 'GeoFlow', the geophysical flow simulation

experiment integrated in Fluid Science Laboratory, In: Acta Astronautica 66 (2010), S. 193-200

Für die Publikation in Acta Astronautica hat Frau Dr.-Ing. Birgit Futterer den Nachwuchswissenschaftlerpreis des Landes Brandenburg 2009 in der Kategorie PostDoc ‚Natur- und Ingenieurwissenschaften‘ erhalten.

Veröffentlichungen in Tagungsbänden und Vorträge / Poster

- Futterer, B.; Koch, S.; Dahley, N.; Egbers, Ch.: Convection patterns in rotating spherical shells from 'GeoFlow', the geophysical flow simulation experiment integrated in Fluid Science Laboratory. 16th International Couette-Taylor Workshop, Princeton, September 9-11, 2009
- Futterer, B.; Egbers, C.: Quasi-stationary and chaotic convection in low rotating spherical shells. 12th EUROMECH European Turbulence Conference, Marburg, 7–10 September 2009
- Futterer, B.; Egbers, Ch.; Jehring, L.: GEOFLOW - erste Daten aus der ISS. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2009, Aachen, 8.-10. September 2009
- Koch, S.; Dahley, N.; Futterer, B.; Egbers, Ch.: Sphärische Wollaston-Schlieren-Interferometrie: Raum-Zeit-Analyse von unter- und überkritischer Konvektion im rotierenden Kugelspalt (GeoFlow-Experiment). 17. Fachtagung der Deutschen Gesellschaft für Laser Anemometrie (GALA) e.V., 8.–10. September 2009, Erlangen
- Futterer, B.; Egbers, Ch.; ESA Topical Team: COLUMBUS' experiment 'GEOFLOW': from numerical simulated fluid flow to experimentally observed fringe patterns of convection. ELGRA Biennial Symposium, Bonn, Germany, 1st-4th September 2009
- Futterer, B.; Scurtu, N.; Egbers, C.; Plesa, A.-C.; Breuer, D.: Benchmark on Prandtl number influence for GeoFlow II, a mantle convection experiment in spherical shells. 11th Int. Workshop on Modeling of Mantle Convection and Lithospheric Dynamics, June 28 - July 3, 2009, Braunwald, Switzerland
- Smieszek, M.; Crumeyrolle, O.; Mutabazi, I.: Simulation numerique de la convection thermique dans un espace annulaire soumis a un champs de pesanteur radial. VIIeme Colloque Interuniversitaire Franco-Quebecois sur la Thermique des Systemes 18-20 mai 2009, Lille (France)
- Futterer, B.; Koch, S.; Dahley, N.; Egbers, C.: ISS experiment GeoFlow: first Steps of data evaluation. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2009, Vienna, Austria, 19–24 April 2009

6.3.3 Im Berichtszeitraum durchgeführte Reisen

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Dienstreisen sind in der folgenden Tabelle gelistet.

Auflistung der Auslandsdienstreisen 2009 zum Vorhaben 50WM0822

Reisender	Reiseziel	Datum	Reisezweck
Dr.-rer. nat. Lothar Jehring	Orlando	04.01.2009 bis 11.01.2009	47th AIAAerospace Science Meeting
Prof. Dr.-Ing. Christoph Egbers	Wien	19.04.2009 bis 25.04.2009	EGU Tagung
Prof. Dr.-Ing. Christoph Egbers	Princeton	09.09.2009 bis 18.09.2009	16th Couette-Taylor Workshop
Dr.-rer. nat. Nicoleta Scurtu	Princeton	07.09.2009 bis 14.09.2009	16th Couette-Taylor Workshop

Auflistung der Inlandsdienstreisen 2009 zum Vorhaben 50WM0822

Reisender	Reiseziel	Datum	Reisezweck
M. Sc. Norman Dahley	Köln	06.09.2009 bis 18.09.2009	Parabelflugkampagne des DLR
Steffen Fischer	Köln	06.09.2009 bis 18.09.2009	Parabelflugkampagne des DLR
Patrick Lemke	Köln	06.09.2009 bis 18.09.2009	Parabelflugkampagne des DLR
Prof. Dr.-Ing. Christoph Egbers	Erlangen	07.09.2009 bis 09.09.2009	GALA Tagung
M. Sc. Sandy Koch	Erlangen	07.09.2009 bis 10.09.2009	GALA Tagung
Dr.-rer. nat. Lothar Jehring	Aachen	08.09.2009 bis 10.09.2009	Deutscher Luft- und Raumfahrt Kongress
Dr.-Ing. Birgit Futterer	Bonn	01.09.2009 bis 04.09.2009	ELGRA-Tagung
Dr.-Ing. Birgit Futterer	Marburg	06.09.2009 bis 10.09.2009	EUROMECH

6.4 Evtl. wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FuE-Ergebnisse.

Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ist gegenüber dem Erstantrag unverändert. Mittlerweile ist nicht nur von Seiten des ZE, sondern auch von Seiten der ESA die Durchführung derartiger Raumstationsexperimente nach der erfolgreichen ersten GeoFlow-Kampagne vorgesehen. Ergänzungen hierzu ergeben sich aus der von Seiten der ESA geplanten Phase GeoFlow II. Die Realisierung von GeoFlow II ist mit dem Experiment Scientific Requirements Dokument von Seiten der ESA genehmigt.

Das Zylinderspalt-Experiment im Rahmen einer Parabelflugkampagne dient der Evaluierung technischer Anwendungen und könnte in die Entwicklung eines Prototypen münden. Hiermit wird die Möglichkeit geschaffen, Technologie und Wirtschaft im Sinne des Technologietransfers (zwischen FuE und Produktion) in einem ersten Schritt zu verknüpfen.