

MARCO – ein Experiment in der Spacelab-Mission D2

Ingenieur- und Flugmodell sind bereits gebaut

Von Dietrich Schwabe und Arthur Scharmann

Die Vorbereitungen laufen auf vollen Touren; der Starttermin für Spacelab-D2 auf dem amerikanischen Space-Shuttle ist im Februar 1992. Das bedeutet für das Gießener Experiment MARCO (MARangoni CONvection), daß es etwa ein Jahr vorher fertig sein muß: gebaut, getestet, zu 100 Prozent sicher und zuverlässig, alle Parameter spezifiziert, alle Eigenschaften und Funktionen dokumentiert, das Experimentprogramm unter Schwerelosigkeit definiert. Die Zeit drängt, denn bereits im Februar 1990 mußte das Ingenieur-Modell, die zum Test gebaute Vorversion der Experimentanlage, fertig sein. Sowohl das Ingenieurmodell als auch das Flugmodell von MARCO werden im I. Physikalischen Institut der Universität Gießen in der dort vorhandenen feinmechanischen Werkstatt bzw. der Elektronikwerkstatt gebaut. Der Aufwand ist groß, denn MARCO ist eine komplizierte Anlage für optische, in diesem Fall interferometrische-holographische Messungen, die elektronische, optische und sich bewegende Teile enthält.

Außerdem wird in MARCO aktiv geheizt und gekühlt. Bei der Konstruktion von MARCO treten daher einige ungewöhnliche technische Probleme auf, die es zu lösen galt; nicht zu vergessen, daß beim Start lokal mit 100facher Erdbeschleunigung zu rechnen ist, weil der Space-Shuttle beim Start zusätzlich zur Beschleunigung der Raketenmotoren schwingt und rüttelt.

Bevor beschrieben wird, was mit dem Experiment MARCO erforscht wird, soll hier auf die Leistung der nichtwissenschaftlichen Mitarbeiter hingewiesen werden, die an diesem Projekt beteiligt sind. Denn nur durch ihre Mithilfe und auch ihre Ideen kann ein solches technisches Projekt realisiert werden. Einige der hier vorgestellten Mitarbeiter (Abb. 1) haben sich mit dem Projekt identifiziert und in Teilbereichen Vorschläge gemacht, die zu Verbesserungen führten oder gewisse Eigenschaften erst ermöglichten, Lösungen vereinfachten oder verbilligten.

Was wird mit MARCO gemacht?

Marangoni-Konvektion ist ein Typ der natürlichen Konvektion, die beim Heizen von Flüssigkeiten auftritt, die eine „freie“ Oberfläche, z. B. zur Luft hin haben. Die Wasseroberfläche in einem Kochtopf oder die Oberfläche der Schmelze in einem Kristallzüchtungstiegel ist z. B. „frei“, d. h. ohne Berührung mit einer festen Wand. In einer solchen freien Oberfläche entstehen durch die Temperaturunterschiede beim lokalen Heizen Oberflächenspannungsdifferenzen, die die Oberfläche bewegen. Die Oberflächenbewegung überträgt sich auf Bewegung im Flüssigkeitsinnern, die Flüssigkeit konvektiert, d. h. sie bewegt sich. Die durch

Oberflächenspannungsdifferenzen angetriebene Konvektion heißt Marangoni-Konvektion. Die Oberflächenspannungsdifferenzen werden durch die Temperaturdifferenzen bewirkt, weil die Oberflächenspannung temperaturabhängig ist.

Dem Leser sollte aufgefallen sein, daß bei der Beschreibung des Antriebs der Marangoni-Konvektion nicht vom „Auftrieb“ die Rede war, wobei wir unter Auftrieb das Phänomen verstehen, daß leichte Flüssigkeit oder Gas im Schwerfeld der Erde nach

oben steigt und die schwere Flüssigkeit, meist die kalte, nach unten abfällt. „Auftrieb“ hat auch ein Spielzeugschiff aus Holz, das auf dem Wasser schwimmt, weil es – man könnte sagen: „weniger wiegt, als wenn es ganz aus Wasser wäre“. Dieser Auftrieb wird durch das Schwerfeld der Erde bewirkt, und er ist für die natürliche Konvektion verantwortlich, die z. B. auch unser tägliches Wetter erzeugt.

Marangoni-Konvektion gibt es beim lokalen Heizen von Flüssigkeiten mit freien Oberflächen ohne Auftrieb, d. h. auch unter Schwerelosigkeit, wo es ja keinen Auftrieb gibt und die Astronauten schwerelos schweben können. Daher kann man Marangoni-Konvektion besonders gut unter Schwerelosigkeit studieren, denn hier ist sie ungestört von Auftriebseffekten beobachtbar. Das soll mit MARCO im Spacelab versucht werden.

Die Marangoni-Konvektion gibt es aber nicht nur unter Schwerelosigkeit. Auch bei vielen Verfahren und Prozessen auf der Erde spielt sie eine Rolle. Der vorher diskutierte „Oberflächenspannungsantrieb“ wirkt ja unter Schwerelosigkeit, aber auch unter Schwere. Nur sind im Labor unter Schwere die Konvektionsvorgänge viel komplizierter. Die wissenschaftlichen Arbeiten am I. Physikalischen Institut der Universität Gießen haben bereits zum Verständnis technologisch wichtiger Prozesse beigetragen, bei denen die Marangoni-Konvektion entsprechend beteiligt ist, z. B.



Abb. 1: Sowohl das Ingenieurmodell als auch das Flugmodell von MARCO werden in der Feinmechanischen und in der Elektronikwerkstatt des I. Physikalischen Instituts der Universität Gießen gebaut. Die wichtigsten MARCO-Mitarbeiter sind (von links): Helmut Franke (Feinmechaniker), Frank Wißner (Elektroniker), Norbert Kurmann (Techniker), Jörg Schmand (Feinmechaniker), Ursula Frisch (Laborantin) und Werkstatteleiter Hermann Hausner (Mitte vorn).

beim Kristallziehen aus der Schmelze oder beim Schneiden, Schmelzen oder Schweißen mit Laser-Licht. Die mit MARCO durchgeführte Forschung und ihre Ergebnisse sind also nicht nur unter Schwerelosigkeit wichtig, sondern ebenso für die Materialtechnologie und ihre Herstellungsprozesse auf der Erde.

In MARCO haben wir ein rechteckiges Flüssigkeitsvolumen ($2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$) mit freier, völlig ebener oder kontrolliert gekrümmter Flüssig-Gas-Oberfläche gewählt, um eine möglichst einfache Geometrie zu realisieren, die optische Meßtechniken zur Messung der Stromlinien, der Strömungsgeschwindigkeiten und der Temperaturverteilungen zuläßt. Die Flüssigkeit wird in einer rechteckigen Küvette aus Quarzglasscheiben gehalten, deren rechte (und linke) Wand aus gut beheizbarem (und kühlabarem) Metall ist (Abb. 2). Die Temperaturdifferenz ΔT zwischen den Metallwänden liegt als Temperaturdifferenz entlang der freien Oberfläche an. ΔT wird mittels Widerstandsheizung und Peltierkühlung zwischen $0\text{ }^\circ\text{C}$ und $100\text{ }^\circ\text{C}$ aktiv geregelt.

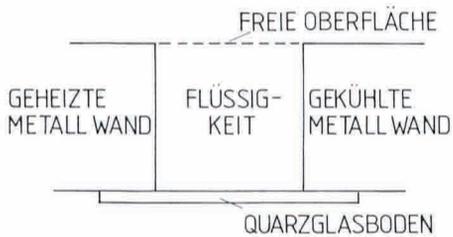


Abb. 2: Skizze eines vertikalen Schnitts durch die Experimentküvette.

Die Marangoni-Strömung – oder thermokapillare Strömung – ist in der freien Oberfläche von heiß nach kalt gerichtet. Die Abb. 3a und 3b zeigen aus einem Experiment während der D1-Spacelab-Mission diese Bewegung unter Schwerelosigkeit. Hier wurden kleine Schwebeteilchen in die Flüssigkeit eingebracht und beleuchtet. Sie werden von der Flüssigkeit mitgenommen, und man kann die Bewegung direkt sehen oder photographieren, indem man die Belichtungszeit τ so wählt, daß sich das Schwebeteilchen während dieser Zeit deutlich fortbewegt hat. Die Stromlinie wird durch einen Strich markiert, dessen Länge der lokalen Geschwindigkeit und der Belichtungsdauer τ proportional ist.

Mit dieser Schwebeteilchentechnik kann man die Strömung recht einfach im gesamten Volumen in einer Ebene sichtbar machen, die lokalen Geschwindigkeiten aus den Bildern messen und feststellen, ob es eine oder mehrere Konvektionsrollen gibt und wie sie das Volumen ausfüllen. Bei

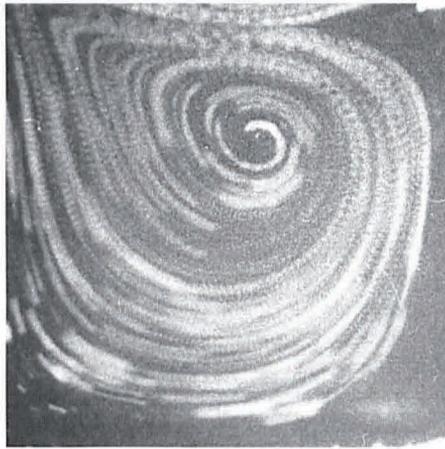


Abb. 3a: Photographie der Stromlinien der thermokapillaren Konvektion unter Mikrogravitation in Spacelab D1 bei einer Temperaturdifferenz ΔT von 60 K , $\tau = 10\text{ s}$.

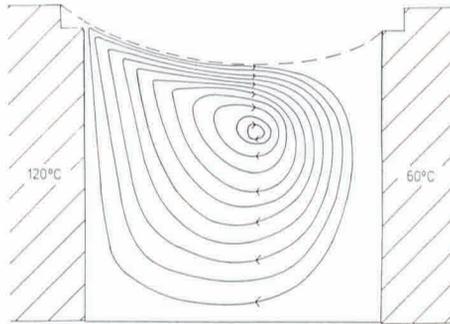


Abb. 3b: Skizze der links photographierten Stromlinien. Die Strömungsgeschwindigkeit in der Nähe der freien Oberfläche betrug etwa 20 mm/s .

MARCO wird das Licht von einer Laser-Diode erzeugt und gepulst (stroboskopische Technik). Auf einer Photographie werden zum Beispiel zehn Lichtblitze im Abstand von $1/30\text{ s}$ festgehalten. Ein Schwebeteilchen erzeugt auf der Photographie dann genau zehn Punkte, die ein zusammenhängendes Punktepaket ergeben. In $1/30\text{ s}$ hat sich das Teilchen von Punkt zu Punkt bewegt. Durch diese Technik lassen sich gleichzeitig die Strömungskonfiguration und die Geschwindigkeit mit guter Genauigkeit ermitteln.

Wenn die Flüssigkeit von der heißen zur kalten Wand konvektiert, transportiert sie auch Wärme. Dieser Wärmetransport durch Strömung ist für viele Flüssigkeiten viel bedeutender als der durch die reine Wärmeleitung. Reine Wärmeleitung ist der diffusive Wärmetransportprozeß. Bei MARCO ist eine Flüssigkeit gewählt worden, bei der der konvektive Wärmetransport der Marangoni-Konvektion bis zu zehnmal größer werden kann als der durch reine

Wärmeleitung. Diesen Wärmetransport durch Strömung unter Schwerelosigkeit werden wir über sehr genaue Temperatursensoren messen, die kleine Temperaturdifferenzen aufgrund des Wärmetransports erfassen.

MARCO wird im Spacelab D2 in einem Holographiemeßgerät HOLOP betrieben. Hier werden die speziellen Eigenschaften von Laser-Licht ausgenutzt, um entweder dreidimensional Bilder der Strömung zu erfassen, oder um mittels holographischer Interferometrie die Temperaturverteilung in der Flüssigkeit direkt zu messen (Abb. 4). Wie bereits oben erklärt, transportiert die Strömung Wärme von der heißen zur kalten Seite. Dadurch werden in der Flüssigkeit die Linien gleicher Temperatur – eine Art Höhenlinien der Temperatur –, die ohne Konvektion parallel zu den Metallwänden verlaufen würden, im Sinne der Strömung „verbogen“.

Hat man die Geschwindigkeitsverteilung und die Temperaturverteilung in der Flüssigkeit gemessen, ist das stationäre konvektive Phänomen vollständig erfaßt. Je nach angelegter Temperaturdifferenz ΔT erwarten wir aber auch verschiedene Bilder der Strömung und sogar zeitabhängige Konvektion. Bei der zeitabhängigen Konvektion schwankt die Strömung hin und her, sie oszilliert. Solche oszillierenden Strömungszustände sind z. B. bei der Kristallzüchtung unerwünscht, und wir wollen die Marangoni-Konvektion genau erforschen, um oszillierende Zustände vermeiden zu können.

Neben MARCO werden noch drei weitere Experimente anderer Forschungsgruppen im Holographielabor HOLOP während der achtjährigen Spacelabmission durchgeführt.

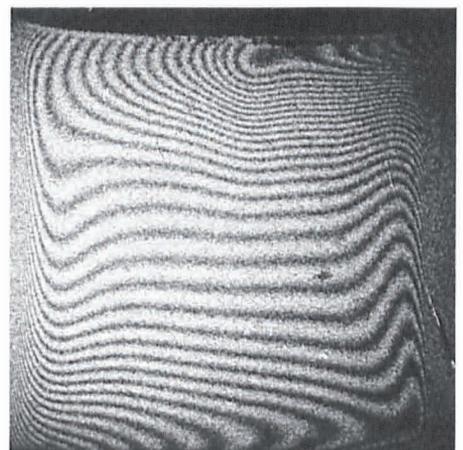


Abb. 4: Holographisches Interferogramm im Erdlabor. Hier ist die rechte Wand um $6\text{ }^\circ\text{C}$ heißer als die linke. Auf jedem „Zebrastrifen“ herrscht gleiche Temperatur.

Die Spacelab-Astronauten werden die einzelnen Experimente der Reihe nach in HO-LOP einbauen und überwachen. Den größten Teil der Experimentsteuerung übernimmt dabei ein Computer. Bei MARCO brauchen wir die Astronauten jedoch beim Füllen der Küvette. Man kann zwar berechnen, was zu geschehen hat, damit die Küvette genau bis zum Rand gefüllt ist, aber es gibt mindestens zwei Unbekannte in dieser Rechnung:

– Welche Temperatur haben wir dann im Spacelab? Je nach Temperatur nimmt die berechnete Flüssigkeitsmenge ein anderes Volumen ein.

– Bleibt die Flüssigkeit unter Schwerelosigkeit in der Küvette oder kriecht sie teilweise kapillar aus?

Hier sollen das Auge und die Hand des Astronauten korrigierend eingreifen, bevor das Meßprogramm automatisch abläuft. Für MARCO ist neben diesem computergesteuerten Lauf unter Umständen noch ein ganz besonderes Experiment vorgesehen: Im sogenannten Telescience-Experiment wird der Experimentator am Boden Funkverbindung mit Spacelab haben und ein li-

fe-Videobild der Strömung und der Temperaturverteilung in der Flüssigkeit erhalten. Er kann dann per Funkkommando Flüssigkeit aus der Küvette saugen oder einspritzen, die Temperaturdifferenz ΔT ändern und wählen, welche Aufnahme er machen will – geradeso, als säße er im Labor neben seinem Experiment. Er muß lediglich eine zeitliche Verzögerung von einigen Sekunden zwischen Befehlerteilung und Befehlsausführung berücksichtigen.

Hoffen wir, daß alles klappt. Die Spacelabmission dauert genau acht Tage und kleine Fehler des Experiments können an Bord kaum repariert werden. Da muß alles hundertprozentig funktionieren. Eine der wesentlichen Arbeiten besteht z. Z. darin, alle Möglichkeiten für Fehler zu bedenken und sowohl gedanklich als auch experimentell durchzuspielen. Dies ist ein großer Aufwand für ein relativ kurzes Experiment.

Danksagung: Das Experiment MARCO wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie unter der Nr. 01 QV 88425 gefördert und von der DLR-PT in Köln-Lind geleitet. Wir danken für die uns gegebene Möglichkeit und die Hilfe.

Probleme mit Schutzhandschuhen

Dichtigkeitsprüfung nach neu entwickelter Methode

Von Klaus-Peter Wefers*

Die routinemäßige Anwendung von Schutzhandschuhen bei ärztlichen Untersuchungen und Behandlungen mit Blut- und Schleimhautkontakt sowie beim Umgang mit infektiösem oder toxischem Material im Labor muß gerade in heutiger Zeit als unerlässlich angesehen werden. Daß ein realer Sicherheitsgewinn freilich nur mit dichten Exemplaren erzielt werden kann, ist wohl unumstritten. Die vorliegende Untersuchung stellt die Ergebnisse einer Dichtigkeitsprüfung an 20 verschiedenen Handschuhfabrikaten nach einer neu entwickelten Methode vor.

Aufgrund der Bewußtseinschärfung für Infektionsgefahren bei der zahnärztlichen Behandlung werden aus prophylaktischen Gründen zunehmend Schutzhandschuhe getragen. War in früheren Jahren das Infektionsrisiko hinsichtlich der Hepatitis-B anscheinend noch nicht Grund genug zu einer routinemäßigen Anwendung, stieg neuerdings die Nachfrage – wohl vor allem wegen der Angst vor einer Übertragung von HIV-Viren – derart, daß es bei den Herstellern sogar schon weltweit zu Lieferengpässen kam. Bis heute gibt es in der Bundesrepublik aber noch kein genormtes Prüfverfahren (DIN-Norm) für die Dichtigkeit dieser wichtigen Hilfsmittel. Herstellereigene

Qualitätskontrollen orientieren sich gern an Prüfvorschriften, wie sie beispielsweise in den Vereinigten Staaten oder in Frankreich gelten. Hier werden die Untersuchungshandschuhe bei Raumtemperatur mit 300 ± 25 ml Wasser befüllt, vertikal aufgehängt und zwei Minuten lang auf austretendes Wasser untersucht. Wir halten diese Methode jedoch für wenig geeignet. Zum einen können aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers, seiner Adhäsions- und Kohäsionskräfte, kleinere Löcher einfach überbrückt werden und somit nicht als Schadstellen auffallen. Zum anderen ist die Füllmenge einfach zu gering. Eigene Nachprüfungen ergaben, daß schon bei Handschuhen mittlerer Größe die nach den oben genannten Prüfvorschriften maximale Füllmenge von 325 ml Wasser bei weitem nicht ausreicht, die gesamte Handschuhoberfläche zu prüfen. Dadurch können ganze Ab-

Zu den Autoren:



Prof. Dr. Dietrich Schwabe, Jahrgang 1942, leitet seit 1973 das Kristallzuchtlabor am I. Physiologischen Institut der Universität Gießen. Er studierte an der Universität Gießen Physik, erhielt dort 1970 sein Diplom, wurde 1973 promoviert und habilitierte sich 1981 in Experimentalphysik. Seine Forschungsgebiete sind Festkörperphysik mit den Schwerpunkten Materialtechnologie und Kristallzüchtung sowie Hydrodynamik mit Schwerpunkt Marangoni-Konvektion. Seit 1978 leitet er Projekte zu Experimenten unter Schwerelosigkeit.

Prof. Dr. Dr. h.c. D. Sc. Arthur Scharmann, Jahrgang 1928, seit 1969 Direktor des I. Physikalischen Instituts der Universität Gießen, ist Vorsitzender der Schutzkommission des Bundesministeriums des Innern, Mitglied der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Kurator der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig.

Dipl.-Ing. Winfried Senger, Jahrgang 1944, hat an der Technischen Universität Hannover Elektrotechnik studiert. Seit 1971 ist er im Fachbereich Physik der Universität Gießen tätig und für die Lösung elektronischer Problemstellungen zuständig.

schnitte des Schutzhandschuhs von der Begutachtung ausgeschlossen bleiben, z. B. der Daumen und die Handflächen, wie Abb. 1 zeigt. Zumindest tendenziell müssen deshalb das US-amerikanische und das französische Prüfverfahren als „herstellerfreundlich“ angesehen werden.

Schiffner (Schiffner, U., Defekte in Einmal-Untersuchungshandschuhen nach zahnärztlichen Behandlungen, Dtsch. Zahnärztl. Z 43, 1988, 5, 150–154) beschränkte

* Die vorliegende Arbeit ist eine überarbeitete und erweiterte Fassung des Artikels: Wefers, K.-P., Untersuchungen über die Dichtigkeit von Schutzhandschuhen, in: ZWR 12, 1988, S. 1053–1058; mit freundlicher Genehmigung des A. Hüthig-Verlags