

# Schwerelos forschen

Im Weltall läuft vieles in Zeitlupe. Das machen sich Forschende der TU Darmstadt zunutze. Ihr Ziel: Sie wollen dem physikalischen Prozess des Siedens genauer auf den Grund gehen.

Von Jutta Witte

Cape Canaveral, 25. Juli 2019: Um 18:01 Uhr Ortszeit startet eine Falcon-9-Rakete mit einer Dragon-Raumsonde in Richtung Internationale Raumstation (ISS). An Bord hat sie neben einigen NASA-Versuchen auch das Siedeeperiment Rubi (Reference mUltiscale Boiling Investigation). Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Instituts für Technische Thermodynamik (TTD) an der TU Darmstadt haben es unter dem Dach der Europäischen Weltraumagentur ESA und gemeinsam mit internationalen Partnern entwickelt und für seinen Einsatz im All auf die Größe eines Schuhkartons verkleinert. Seit sechs Monaten sendet Rubi erfolgreich seine Messdaten auf die Erde. Sie sollen Aufschluss darüber geben, welche physikalischen Prozesse das Sieden, genauer gesagt den Phasenübergang, in dem eine Flüssigkeit zu Dampf wird, auf welche Weise beeinflussen.

**Fast alle Menschen** dürften das Phänomen aus der Küche kennen: Wenn der Wasserkocher das Teewasser erhitzt, beginnt es zunächst zu siedend: Am Boden bilden sich einzelne und dann immer mehr mit Dampf gefüllte Blasen, die aufsteigen, bis das Wasser bei 100 Grad Celsius überall kocht und, wenn man den Wasserkocher nicht abschaltet, vollständig verdampft. Der Siedeprozess bietet den Vorteil, dass er sowohl die flüssige als auch die gasförmige Phase eines Fluides nutzt und dass bei diesem Phasenübergang sehr viel Energie übertragen wird. „Für die Übertragung von Energie in Form von Wärme ist das Sieden eines der effizientesten Verfahren überhaupt“, erklärt Axel Sielaff, Wissenschaftler am TTD. Eingesetzt wird es zum Beispiel, um Hochleistungselektronik zu kühlen. Auf Basis der Rubi-Messungen wollen Sielaff und sein Team nun präzisere Modelle für den Prozess der Wärmeübertragung entwickeln.

**Sie forschen an** der Schnittstelle zwischen Maschinenbau und Physik und sind spezialisiert auf alles, was mit Sieden und Verdampfen zu tun hat. Im Moment richtet sich ihr Fokus vor allem auf die Dampfblasen. „Wir wollen lernen, die physikalischen Phänomene rund um die Bildung der Dampfblasen genauer zu verstehen als das bislang möglich ist“, sagt der Experte. Sielaff fährt den PC in seinem Büro auf dem Campus Lichtwiese hoch und sucht aus vielen kryptischen Dateien einen bestimmten Versuch heraus. Auf dem Bildschirm startet ein Film in schwarz-weiß. Gestochen scharf ist zu sehen, wie auf einer erhitzten Oberfläche eine „Bubble“ kontrolliert „gezündet“ wird, langsam wächst und stehen bleibt.

**Was für den Laien** nur eine faszinierende Aufnahme ist, bietet den Expertinnen und Experten für Thermodynamik wertvolle Detailinformationen. Aus den physikalischen Messdaten der Siedeversuche können sie unter anderem analysieren, wieviel Wärme an einem bestimmten Punkt der Heizoberfläche übertragen werden kann, wieviel Energie aufgewandt werden muss, um eine Blase überhaupt erst entstehen zu lassen, wie sich die Temperatur in der Flüssigkeit entwickelt und welchen Einfluss die unterschiedlichen Kombinationen der eingestellten Parameter auf die Geometrie der Blasen und die insgesamt übertragene Wärmemenge haben.

**Es sind Experimente**, die in dieser Präzision nur in der Schwerelosigkeit möglich sind. Denn was auf der Erde blitzschnell passiert, läuft in der Raumstation in Zeitlupe ab. So entstehen Dampfblasen im häuslichen Wasserkocher oder im Forschungslabor auf der Erde an einer einzelnen Siedestelle mit einer Frequenz von etwa 100 pro Sekunde. Im All, sagt Sielaff, gehe dieser Wert im Optimalfall gegen Null und es bleibe sehr viel Zeit, um jede einzelne Dampfblase in ihrer gesamten Entwicklung, aus allen möglichen Perspektiven und unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu beobachten. Hinzu kommt: Dampfblasen sind auf der Erde winzig. Unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit können sie einen Durchmesser von bis zu zehn Millimetern erreichen.

**Ein Experiment** wie Rubi tauglich für den Einsatz auf der ISS zu machen und dort zuverlässig zu fahren, ist keine Selbstverständlichkeit. Während das Interview mit dem Wissenschaftler läuft, wird im Belgian User Support and Operations Centre (B-USOC), das Rubi von der Erde aus steuert und überwacht, gerade ein technisches Problem behoben. Doch Sielaff bleibt gelassen. Immerhin 550 von 850 geplanten Versuchen sind zu diesem Zeitpunkt schon erfolgreich gelaufen. Das ist für sich schon ein Triumph. Hat ein solches Experiment die Erde erst einmal verlassen, können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht mehr direkt in die Versuche eingreifen. Auch Rubi wurde nach dem erfolgreichen Andocken der Raumsonde an die ISS von ESA-Astronaut Luca Parmitano im europäischen Forschungsmodul Columbus noch per Hand angeschlossen. Danach haben die Experten und Expertinnen der B-USOC die Fernsteuerung übernommen.

**„Das schwierigste Problem** bei Anwendungen im Weltall ist: Sie können den Entfall der Schwerkraft auf der Erde nicht testen.“ Deswegen optimieren Sielaff und sein Team ihr Experiment zusätzlich auf Parabelflügen. Um

Schwerelosigkeit zu erreichen, ohne gleich ins All zu fliegen, wird auf einem solchen Flug mit einem speziell ausgestatteten Airbus abwechselnd die Schwerkraft verdoppelt und ganz ausgeschaltet – ein anstrengendes „Workout“, dem sich die Forschergruppe einmal pro Jahr von Bordeaux aus über dem Atlantik oder Mittelmeer aussetzt. Die Versuchsparameter sind hier zwar größeren Schwankungen als auf der ISS ausgesetzt. Aber die Forschenden können sie direkt vor Ort beeinflussen, unterschiedliche Fluide testen oder auch die untersuchten Parameter zeitnah wechseln.

**Die im Zuge** der Parabelflüge entstandenen Messdaten sollen mit denen, die auf der der ISS entstehen, verglichen werden. 15 bis 16 Terabyte Daten, darunter rund 15 Millionen Bilder, sind nach Sielaffs Schätzungen seit Beginn der Messungen allein aus dem Rubi-Experiment von der Raumstation auf die Erde gesendet worden – über Satelliten zunächst an die für das Columbus-Modul zuständige Bodenstation in Oberpfaffenhofen und von dort aus an die für Rubi zuständige B-USOC, die das auf seinem Weg durch das All zerlegte Datenmaterial wieder zu einer Datei zusammenführt und schließlich zur Auswertung an die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Rubi-Kernteam in Darmstadt, Pisa und Toulouse schickt.

**Jetzt, nachdem die Messungen** beendet sind, beginnt die Auswertungsphase. Die Ergebnisse könnten wegweisend sein, nicht nur für eine umweltschonendere Kühlung und Beheizung von Geräten und Anlagen auf der Erde, zum Beispiel Computern, Rechenzentren, Klimaanlagen, Batterien oder Kraftwerken, sondern auch für die Optimierung der Wärmeregelungssysteme von Satelliten oder Raumfahrzeugen, sagt Axel Sielaff. „Mit unserer Grundlagenforschung wollen wir die Basis legen für die Entwicklung von Produkten, die nicht nur kompakter und sicherer werden, sondern vor allem auch effizienter.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

Luca Parmitano installiert das RUBI Experiment an Bord der Internationalen Raumstation.



Das Team von Airbus, welches das Experiment gebaut hat, freut sich über die erfolgreiche Fertigstellung.



Bevor das Experiment auf die ISS darf, wird es in einer Nachbildung des Fluid Science Laboratory bei der B-USOC in Brüssel getestet. Ein baugleiches Experiment verbleibt dort für Vergleichsuntersuchungen.



Robin Behle und Dr. Axel Sielaff führen im Labor des Instituts TTD an einer baugleichen Versuchszelle mittels Particle Image Velocimetry Untersuchungen zum Strömungsfeld durch. Dazu wird hier – im Gegensatz zu den Untersuchungen auf der ISS – die Flüssigkeit mit kleinen Partikeln versetzt und mit einem leistungsstarken Laser beleuchtet. Daraus können die Strömungen in der Versuchszelle zeitlich und örtlich hoch aufgelöst analysiert werden.

## Das Experiment

Das Siedeeperiment Rubi (Reference mUltiscale Boiling Investigation) ist Teil des Fluid Science Laboratory (FSL) im europäischen ISS-Forschungsmodul Columbus. Ein in Darmstadt entwickelter und gebauter Heizer erhitzt ein Kältemittel. Ein Laser zündet einzelne Blasen an einem definierten Ort. Eine Hochgeschwindigkeitskamera erfasst die gesamte Entwicklung dieser Blasen, eine Infrarotkamera misst die Temperatur der erhitzten Region. Rubi beinhaltet außerdem eine Pumpe, die eine Scherströmung erzeugt, also das Fluid kontinuierlich von einer Seite über die beheizte Oberfläche fließen lässt. Mittels einer Elektrode kann im Versuchsraum auch eine Hochspannung erzeugt werden, um den Einfluss eines elektrischen Feldes auf die Blasenentwicklung zu untersuchen. Die Versuche werden auf der ISS gespeichert, können aber auch von der Erde aus live verfolgt werden.

## Das Konsortium

Unter Koordination von Prof. Dr.-Ing. Peter Stephan, Leiter des Instituts für Technische Thermodynamik (TTD) an der TU Darmstadt, beteiligen sich 14 Universitäten und Forschungsinstitutionen aus Europa, Russland, Japan und den USA an Rubi, darunter das Department of Energy, Process and System Engineering der Universität PISA, das Institut de Mécanique des Fluides von Toulouse (IMFT) und die Multiphase Dynamics Group der Aristoteles Universität von Thessaloniki. Das Experiment wird finanziert von der European Space Agency (ESA), wurde gemeinsam mit Airbus Defence & Space entwickelt und wird gesteuert vom Belgian User Support and Operations Centre (B-USOC). Um die im Zuge von Rubi entwickelten Auswertemethoden zu bündeln und gemeinsam zu optimieren hat das TTD das Programm Code exchAnge for Rubi Analysis Tools (CARAT) initiiert, auf das alle Forschungspartner Zugriff haben. Rubi ist an der TU Darmstadt angesiedelt im Profilbereich Thermo-Fluids & Interfaces.

## Informationen

Institut für Technische Thermodynamik  
Dr. Axel Sielaff  
Telefon: 06151/16-22272  
E-Mail: sielaff@ttt.tu-darmstadt.de  
www.ttd.tu-darmstadt.de