

Navigation des Enceladus Explorer – Akustisch basierte Ortung und Umfelderkundung im Gletschereis

Peter Linder¹, Gerhard Artmann¹, Dmitry Eliseev², Dirk Heinen², Johannes Kirchmair², Franziska Scholz², Sebastian Verfers², Stefan Wickmann², Christopher Wiebusch², Simon Zierke²

¹ Fachhochschule Aachen, Institut für Bioengineering, 52428 Jülich, E-Mail: linder@fh-aachen.de

² RWTH Aachen, III. Physikalisches Institut, 52056 Aachen

Einleitung

Enceladus ist der 14. von bisher 62 entdeckten Monden des Saturns. Obwohl er vollständig mit einem Panzer aus Wassereis umgeben ist, gibt es viele Hinweise auf subglaziale Vorkommen von flüssigem Wasser (Abbildung 1). Eindeutige Anzeichen hierfür sind thermische Anomalien im Bereich des Südpols sowie in diesen Regionen auftretender Cryovulkanismus [1]. Diese Hinweise wurden auch durch gravimetrische Messungen der Raumsonde Cassini bestärkt [2]. Zusätzlich hat Cassini bei einem Durchflug durch die Geysir-Auswürfe organische Verbindungen nachweisen können. Das Vorhandensein von Wasser, thermischer Energie und organischen Verbindungen macht Enceladus damit zu einem der vielversprechendsten Orte für die Suche nach extraterrestrischem Leben.

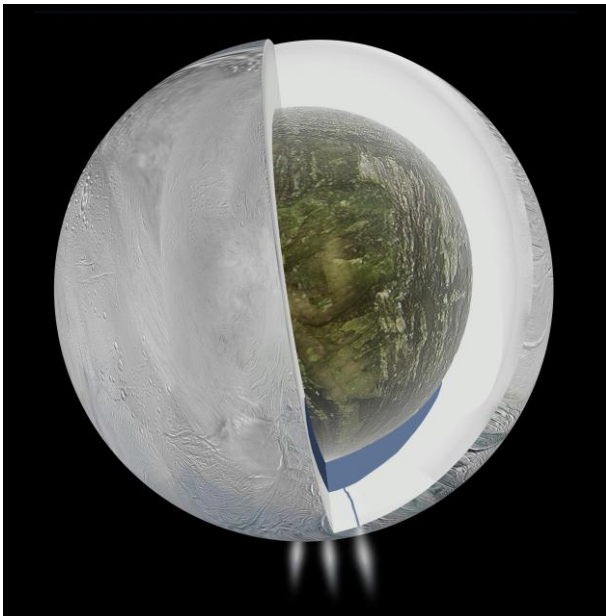


Abbildung 1: Illustration des Enceladus mit unter der Eisdecke befindlichem flüssigen Ozean (NASA PIA18071)

Das Enceladus Explorer Projekt hat das Ziel eine Probe aus einer wasserführenden Spalte an den Blood Falls in der Antarktis zu entnehmen. Hierzu wurde eine navigierbare Schmelzsonde (IceMole) weiterentwickelt. Der hier vorgestellte Prototyp für terrestrische Testszenarien stellt eine Machbarkeitsstudie für extraterrestrische Anwendungen, wie z.B. der Suche nach Leben in den unter einem Eispanzer liegenden Ozeanen auf Enceladus, dar. Ein partiell heizbarer Schmelzkopf in Kombination mit einer Eisschraube ermöglicht Kurvenfahrten und Trajektorien entgegen der Schwerkraft (Abbildung 2).

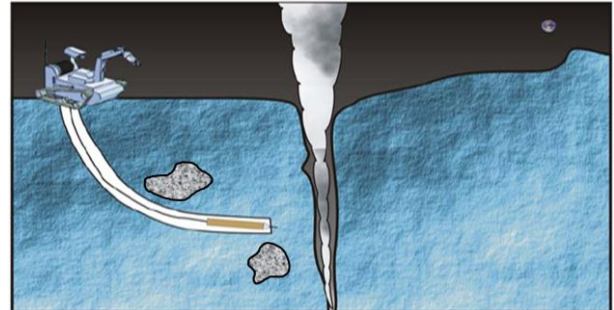


Abbildung 2: IceMole, der sich schwerkraftunabhängig zwischen Hindernissen hindurch zu einem Zielgebiet bewegt

In diesem Beitrag wird das Enceladus Explorer System mit Fokus auf die akustischen Navigationslösungen vorgestellt und erste Testergebnisse präsentiert.

IceMole

Der IceMole (Abbildung 3) ist eine Schmelzsonde mit einer Eisschraube als Vortrieb [3]. Differentielles Heizen des Sondenkopfes und der Seiten ermöglicht Kurvenfahrten durch das umgebende Eis. Die Lokalisation der Sonde im Eis, sowie die Erkundung des Vorfeldes sind für die Planung und Einhaltung der Trajektorien unerlässlich. Hierzu enthält der IceMole zusätzlich zu einem inertialen Messsystem und einem Magnetometer zwei akustische Navigationssysteme. Ein auf Trilateration basiertes System dient zur absoluten Positionsbestimmung des IceMoles [4], ein Sonographie-System zur Vorfeldererkundung.

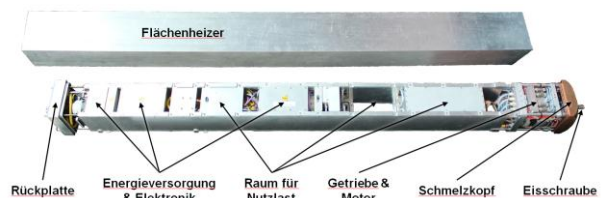


Abbildung 3: Aufbau des IceMole mit Modulen der einzelnen Systemkomponenten

Akustische Ortung

Das akustische Ortungssystem besteht aus einem Netz von in den oberen Eisschichten eingebrachten Emittoren (~18 kHz) mit bekannten Positionen, die mit einer zentralen Steuereinheit verbunden sind. Im Kopf des IceMole befinden sich vier Empfänger. Die Datenerfassung erfolgt mittels einer im Kopf integrierten Front-End-Elektronik, eines FPGA und eines embedded PCs [5]. Letzterer überträgt die Daten zu einer Datenbank an der Oberfläche. Die Laufzeit

von emittierten Pulsen zum IceMole wird in Distanzen umgerechnet und die Position der Sonde mittels Trilateration bestimmt (Abbildung 4).

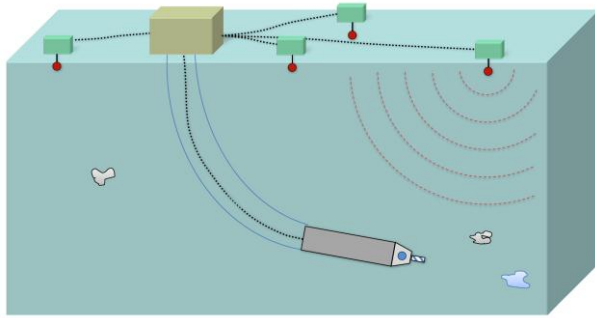


Abbildung 4: Funktionsprinzip der akustischen Ortung des IceMole im Eis

Im Sommer 2013 wurden mit dem Gesamtsystem erste Feldversuche auf dem Morteratsch Gletscher in der Schweiz durchgeführt. Abbildung 5 zeigt eine Aufsicht auf die Positionen der Emitter und die aus den aufgenommenen Daten rekonstruierte Trajektorie. Zudem ist in der oberen linken Ecke eine Aufnahme des geraden Schmelzkanals mit der typischen Eigenrotation des IceMoles zu sehen. Dieser Test zeigt die Funktionstüchtigkeit des Systems.

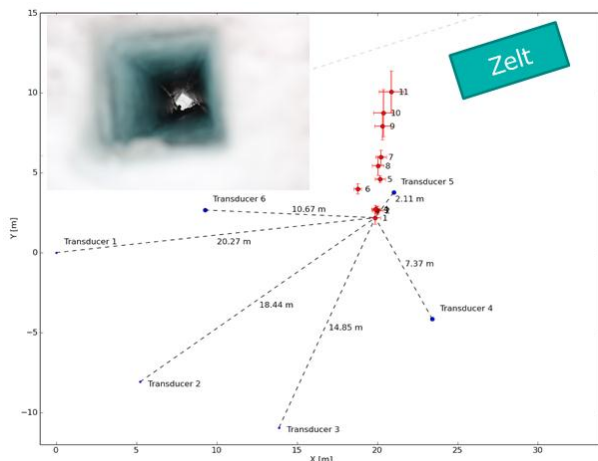


Abbildung 5: Testbohrung eines horizontalen ca. 20 m langen, geraden Kanals (oben links) im Sommer 2013 auf dem Morteratsch Gletscher (Schweiz) mit Emitterpositionen (blau) und rekonstruierten Sondenpositionen (rot)

Akustische Umfelderkundung

Zur akustischen Umfelderkundung wird das Verfahren der Sonografie eingesetzt. Dabei werden phasengesteuerte Ultraschallsignale genutzt, um Strukturen und Objekte im Eis vor dem IceMole zu detektieren. Zu diesem Zweck sind im Kopf des IceMole vier Arrays mit jeweils 16 piezoaktiven Elementen mit einer Eigenfrequenz von 780 kHz integriert. Diese sind kreuzförmig um die Eisschraube (Abbildung 6) angeordnet. Die Elemente werden sowohl zum Senden als auch zum Empfangen genutzt und ermöglichen über eine phasenverschobene Ansteuerung eine Auslenkung der Schallkeule von über $\pm 50^\circ$ aus der Längsachse des IceMoles. Steuerung und

Datenerfassung erfolgt auch hier wieder über FPGA und embedded PC [5].

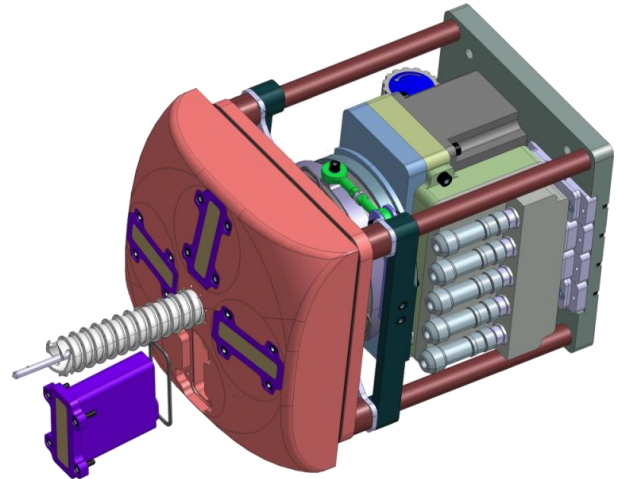


Abbildung 6: IceMole Kopf mit Piezo Arrays (violett) für die Vorfelderkundung (Marco Feldmann, FH Aachen)

Auf Grund der Unzugänglichkeit großer Eisvolumen wurden Tests sowohl in einem Schwimmbad, als auch in einem 3 m³ Eistank an der RWTH Aachen durchgeführt. Hierbei wurde eine Reichweite von mindestens 4,5 m über Mehrfachreflektionen im Eis bestätigt (Abbildung 7).

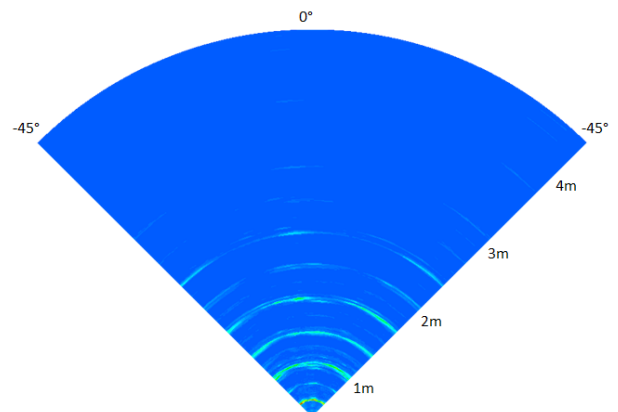


Abbildung 7: B-Scan der Rekonstruktion der (Mehrfach-) Reflektionen zwischen Tankboden (Eis/Kunststoff) und Oberfläche (Eis/Luft) im Eistank des Aachener Akustik Labors an der RWTH Aachen (angenommene Schallgeschwindigkeit 3600 m/s)

Literatur

- [1] C. C. Porco *et al.*: Cassini observes the active south pole of Enceladus., *Science* **311**, 1393–401 (2006).
- [2] L. Iess *et al.*: The Gravity Field and Interior Structure of Enceladus, *Science* (80-.). **344**, 78–80 (2014).
- [3] B. Dachwald: *Enceladus Explorer - A maneuverable subsurface probe for autonomous navigation through deep ice.*, *Int. Astronaut. Congr. 63RD* (2012).
- [4] D. Heinen: Acoustic in-ice positioning in the Enceladus Explorer project, *Ann. Glaciol.* **55** (2014).
- [5] E. Dmitry: *Elektronikentwicklung für die akustische Ortung und Umfelderkundung einer Sonde im Eis*, DAGA (2014).