

## Unterwassergleiter (Glider)

Unterwassergleiter stellen eine neue Klasse autonomer ozeanischer Messplattformen dar, die durch ihre Autonomie langfristige und weitreichende Einsätze verhältnismäßig kostengünstig ermöglichen. Nur mit Tragflächen (Flügeln) und einem Leitwerk ausgestattet, gleiten sie ohne Antrieb durch Propeller oder Düsen im Ozean. Die Gleiter werden durch veränderlichen Auftrieb und interne Aktuatoren angetrieben und die Flügel sorgen für Vorwärtsbewegung. Der Auftrieb wird durch das Verändern des Volumens des Geräts reguliert. Die Gleiter bewegen sich in einer Folge von Aufstiegsphasen und Abwärtsgleitphasen in einem Sägezahnmuster von einem Ort zum nächsten. Auf diese Weise führen sie im Ozean sowohl vertikal als auch horizontal Messungen aus. Auftriebsantrieb und das energiesparende Design erlauben es, verhältnismäßige weite Strecken zurückzulegen und lange Einsatzzeiträume durchzuhalten. Gleiter bewegen sich sehr langsam mit einer Geschwindigkeit von etwa einem halben Knoten und können Strecken von hunderten bis tausenden von Kilometern zurücklegen, wenn sie mehrere Monate im Einsatz sind. Die schwache Schichtung der subpolaren Ozeane führt noch zu einer Erweiterung des Aktionsradius, weil weniger Energie verbraucht wird, um den Dichtegradienten im Ozean zu überwinden.



Abb. 1: Seaglider Test an Deck (links), Transfer mit dem Boot zur Position der Auslegung (Mitte) und der Gleiter im Einsatz (rechts) in der Framstraße (Photos: A. Beszczynska-Möller).

Gleiter können mit mehreren ozeanographischen Sensoren ausgestattet sein und sammeln im Vergleich zum Einsatz eines Forschungsschiffes kostengünstiger Daten. Sie können Druck, Temperatur, Salzgehalt, gelösten Sauerstoff, Chlorophyll, Fluoreszenz, optische Rückstreuung, tiefengemittelte Strömung und weitere Größen messen. All dies ist entweder auf einem im Voraus festgelegten Weg oder als virtuelle Verankerung quasi an einem Ort möglich. Nach jedem Tauchgang kommt der Gleiter zur GPS-Positionsbestimmung an die Oberfläche. Der Weg zwischen den Auftauchpunkten wird durch Koppelnavigation berechnet. Nach jedem Tauchgang überträgt der Gleiter mit Hilfe der Satelliten-Telemetrie die gemessenen Daten am Kontrollzentrum in beinahe Echtzeit (NRT – Near-Real Time Übertragung) und übernimmt neue Befehle (z.B. neue Wegpunkte oder Kurslinien).

Der Seaglider wiegt 52 kg in der Luft, seine externe Stromlinienverkleidung ist 1,8 m lang mit einem Durchmesser von 30 cm, die Flügelspannweite ist 1 m und die Antenne ist ebenso lang. Der Gleiter bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 0,17045 m/s (ungefähr 22 km oder 12 sm pro Tag) mit Gleitwinkeln zwischen 1:3,4 und 1:1 (16?45°). Die internen Antriebsselemente und die ozeanographischen Sensoren werden durch Lithiumbatterien mit Energie versorgt. Der Gleiter kann gegen Strömungen bis zu 40 cm/s anfahren. In tiefen Wasser dauert ein typischer Tauchgang (bis in 1000 m Tiefe) etwa 8 Stunden, bei 3 Tauchgängen pro Tag ergibt das eine horizontale Auflösung von 4 sm. Die vertikale Auflösung liegt zwischen 0,5 und 1 m. Für ozeanographische Messungen ist der Seaglider mit Druck-, Temperatur- und Leitfähigkeits-Sensoren ausgestattet (aus der Leitfähigkeit wird der Salzgehalt berechnet). Zusätzlich kann er mit chemischen und biooptischen

Sensoren ausgestattet werden, die die Konzentration des gelösten Sauerstoffs, die Fluoreszenz, die optische Rückstreuung und Lichttransmission messen. Für das Tauchen bis nah an den Boden ist der Gleiter mit bathymetrischen Karten und einem Altimeter ausgerüstet, um das Aufsetzen auf den Boden zu vermeiden. Die gemittelten Wassergeschwindigkeiten werden aus zwei aufeinanderfolgenden Positionen mit Hilfe eines hydrodynamischen Modells für jeden Tauchgang berechnet. Gegenwärtig sind die Seaglider kommerziell von der Firma iRobot in Bedford, Massachusetts, erhältlich.

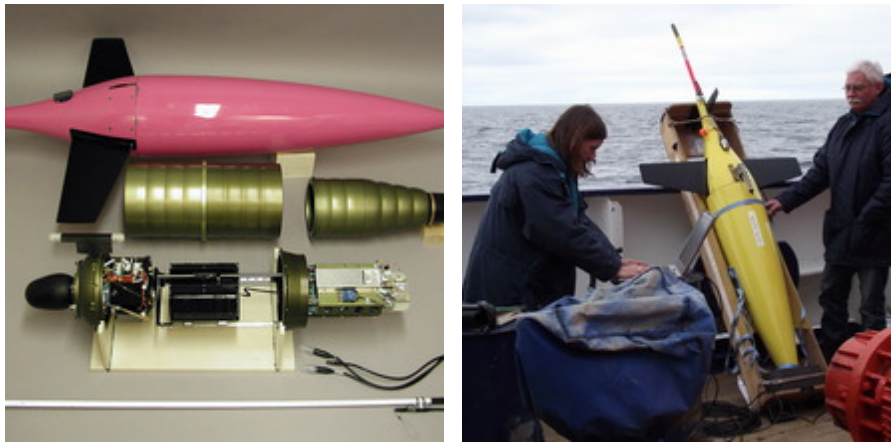
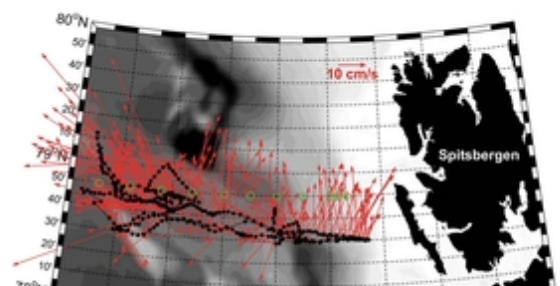
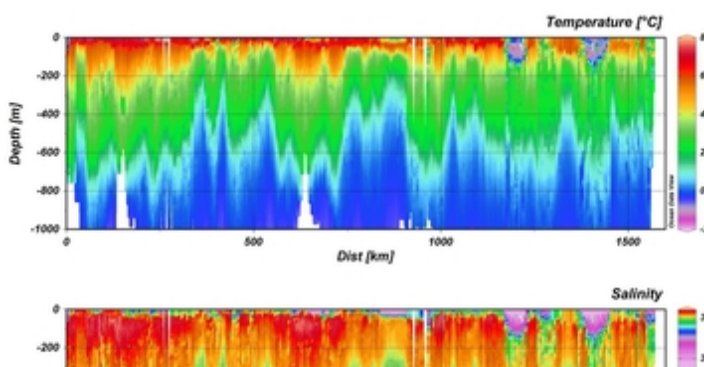


Abb. 2: Die Bauelemente des Seagliders (links, Photo Seaglider Fabrications Center, Seattle) und Vorbereitung des Gleiters für die Auslegung im Sommer 2011 (rechts, Photo A. Beszczynska-Möller).

Seit 2008 setzt das Alfred-Wegener-Institut Unterwassergleiter ein, um ozeanographische Messungen in der nördlichen Framstraße durchzuführen. Es wurde ein Seaglider benutzt, der im Labor für angewandte Physik und der Ozeanographie-Abteilung der Universität in Washington (Eriksen et al., 2001) entwickelt wurde. Das Modell hat maximal eine Einsatzdauer von etwa 9 Monaten (740 Tauchgängen bis in 1000 m Tiefe). Es bewegt sich mit einem halben Knoten und einem halben Watt über tausende von Kilometern vorwärts, wobei dies von der Strömungsgeschwindigkeit, der Operationstiefe und der vorherrschenden Dichteschichtung abhängt. Unter Wasser steuert der Seaglider unter Verwendung der Koppelnavigation, während er an der Oberfläche GPS-Navigation verwendet, um seine Position zu erhalten. Nach der GPS-Ortung überträgt der Seaglider Daten und empfängt Anweisungen über das Iridiumsatellitensystem.

Tabelle 1: Zusammenfassung der AWI-Gleiter-Einsätze in der nördlichen Framstraße

Mission	Dauer (Tage)	Streckenlänge (NM)	Anzahl der Tauchgänge	Verfügbarkeit von RAFOS- und Tomographie-Schallquellen (SQ)
Sommer 2008	67	721	394	Keine RAFOS-SQ
Sommer 2009	76	793	400	Keine RAFOS-SQ
Sommer 2010	71	539	294	3 RAFOS- and 1 Tomo-SQ
Winter 2010	72	837	284	3 RAFOS- and 3 Tomo-SQ
Sommer 2011	78	846	350	5 RAFOS- and 3 Tomo-SQ
Winter 2011	52	571	205	5 RAFOS- and 3 Tomo-SQ



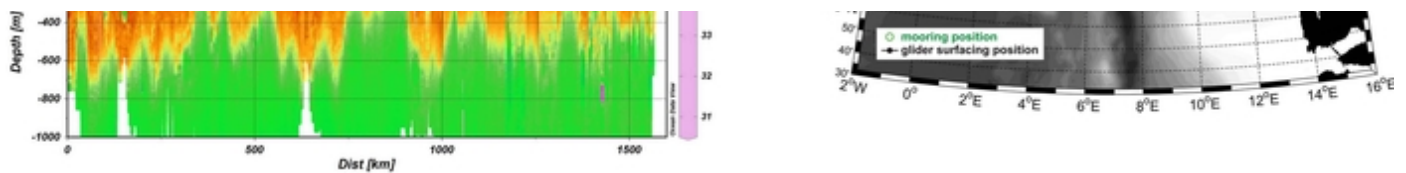


Abb. 3: Temperatur und Salzgehalt gemessen vom Seaglider SG127 in der Framstraße im Sommer 2011 (links) und die Karte den Auftauch-Positionen (rechts). Auf der Karte sind die über die Tauchtiefe gemittelten Strömungsvektoren für jeden Tauchgang gezeigt.

Mehr Informationen über Seaglider gibt es auf den folgenden Webseiten:

- Technische Daten, Animationen und Übersicht über Seaglider Einsätze auf der [APL UW Webseite](#)
- Seaglider-Beschreibung und Bildergalerie auf der [Seaglider Fabrication Center Webseite](#)
- Die aktuelle Infos auf der [iRobot Webseite](#)

### Akustische Navigation der Gleiter unter dem Meereis

In mit Eis bedeckten Gebieten können Unterwassergleiter nicht zur Wasseroberfläche aufsteigen, um GPS-Positionen oder Befehle zu erhalten. Aus diesem Grunde ist für die Arktis ein akustisches Navigationssystem unter Wasser notwendig (Lee & Gobat, 2005). Das Alfred-Wegener-Institut arbeitet dabei mit der [Beobachtungsplattform-Gruppe in Washington](#) (IOP APL-UW) zusammen. Unter der Leitung von Craig Lee wurde die akustische Navigationstechnologie für die Davisstraße entwickelt und ausgebaut, die für die Bedingungen der Framstraße angepasst wurde. Der erste Wintereinsatz des Seagliders fand in der Davisstraße vom September 2008 bis Februar 2009 statt, durchgeführt im Rahmen des [US-NSF-Projekts „An Innovative Observational Network for Critical Arctic Gateways“](#). Damit wurde die Machbarkeit eines ausgedehnten Einsatzes unter dem Eis mit Hilfe akustischer Signale nachgewiesen, die von den sogenannten RAFOS-Schallquellen (Sound Fixing And Ranging rückwärts buchstabiert) übertragen wurde. In der Framstraße werden im Projekt ACOBAR sowohl herkömmliche RAFOS-Schallquellen als auch tomographische Schallquellen verwendet (die Letzteren senden das RAFOS-Signal zwischen den tomographischen Transmissionen). Im nächsten Schritt wird die Anwendung vom tomographischen breitbandigen Signal für Navigation des Gleiters untersucht.

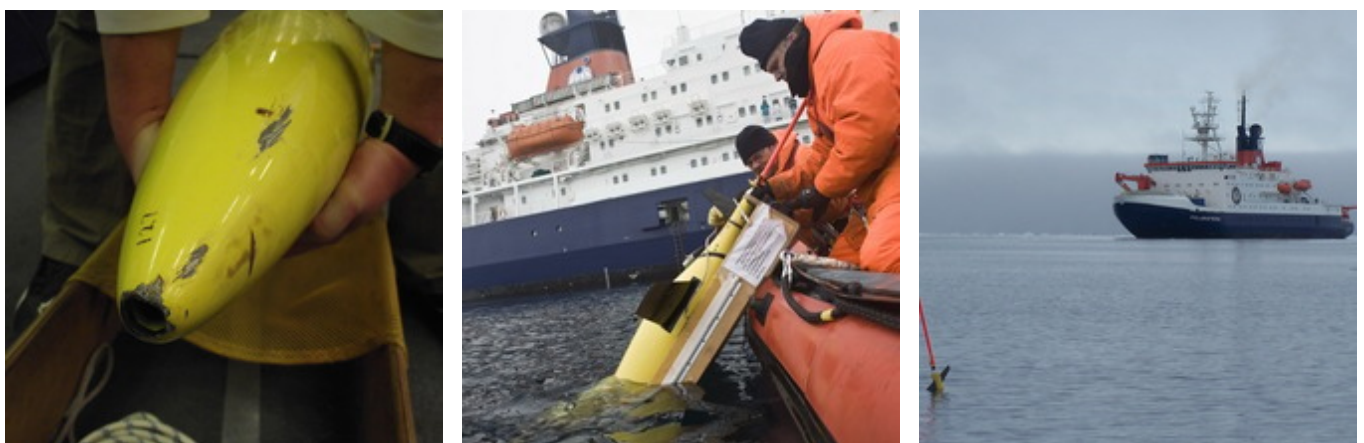


Abb. 4: Auslegung des Seagliders MK544 von der *Polarstern* in der nördlichen Framstraße (links und Mitte) und Seaglider SG127 nach der Aufnahme im Sommer 2011. Während des Einsatzes hat der Gleiter einige Tauchgänge unter dem Eis ausgeführt (Photos: A. Beszczyńska-Möller).

### Multifunktionales akustisches System für Gleiter in der Framstraße

Im [ACOBAR Projekt](#) (Acoustic Technology for Observing the Interior of the Arctic Ocean) arbeitet das AWI mit der IOP APL-UW Gruppe (Leiter [Craig Lee](#)) zusammen. Ziel ist es, das Navigationssystem für Unterwassergleiter, das in der

Davisstraße erfolgreich eingesetzt wurde, zur Anwendung in der Framstraße anzupassen. Mit der eisfähigen RAFOS-Technologie ausgestattete Seaglider wurden in den Sommern 2009-2011 in der Framstraße ausgesetzt, um die akustische Navigation im offenen Wasser zu testen. Der Winter-Einsatz ist derzeit in Vorbereitung. Das System für akustische Navigation in der Framstraße besteht aus den verankerten 260-Hz-RAFOS-Schallquellen und tomographischen Schallquellen, die zusätzlich RAFOS-Signale übertragen. Der Seaglider ist mit einem Benthos RAFOS-2 Hydrophon ausgestattet, einer Seascan-Uhr und Empfängereinheiten. Die Verarbeitung der Navigationssignale erfolgt an Bord des Gleiters in Echtzeit. Die Entfernung zwischen Quelle und Gleiter wird anhand der empfangenen Signale und der mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit berechnet, die Position wird nach Doppler-Korrektur durch Triangulation gewonnen. Eisfähige Gleiter bieten außerdem Erweiterungen für den voll-autonomen Betrieb und sind mit einem System ausgerüstet, mit dem sie bestimmen, ob über ihnen Eis ist oder nicht.

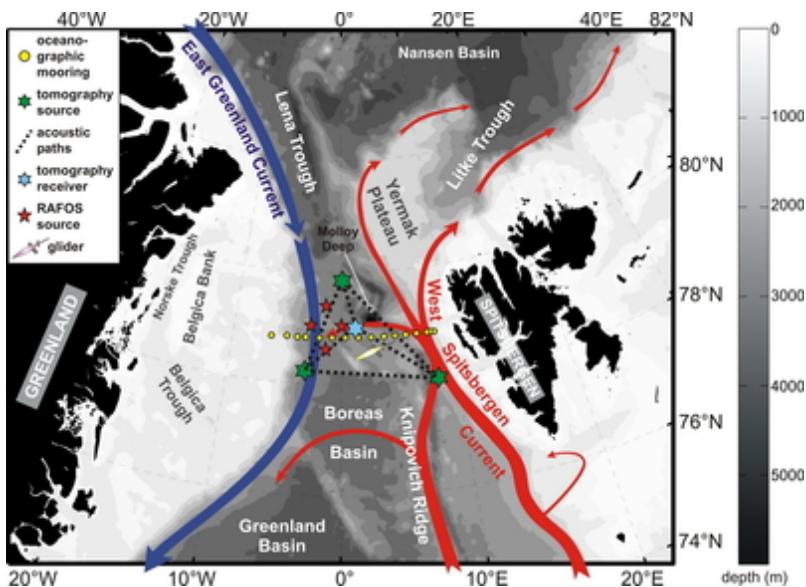
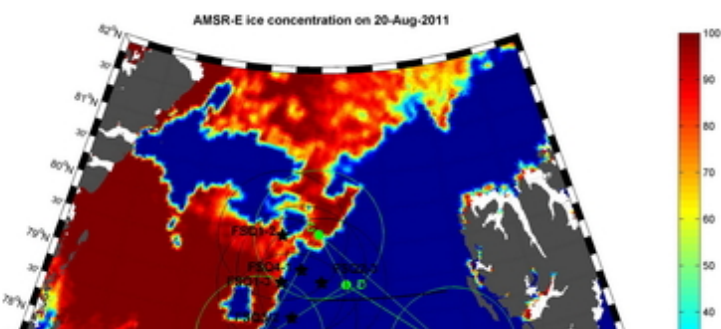


Abb. 5: Das Beobachtungssystem in der Framstraße. Die Positionen von RAFOS- und Tomographie-Schallquellen sind mit grünen und roten Sternen gezeigt.

Im Rahmen des „North Pacific RAFOS Ranging“-Tests, der von der APL-UW-Gruppe durchgeführt wurde, ergab sich, dass im offenen Wasser Seaglider die Signale der 260-Hz-Quellen bis in Entfernungen von 2000 km empfangen können. In den teilweise eisfreien Gebieten der Framstraße ergeben sich aufgrund der schwierigeren Ausbreitungsbedingungen kürzere Reichweiten. Während aller Missionen in der Framstraße, bei denen RAFOS-Signale vorhanden waren (außer im Winter 2010, als der RAFOS-Empfänger der Gleiters defekt war), konnten die Gleiter akustische Signale empfangen und das Navigationssystem überprüfen. Dabei blieben sie aber meistens im offenen Wasser. Nur während des Sommers 2011, befand sich der Gleiter SG127 eine kurze Strecke unter dem Eis und nutzte RAFOS, um seine Position anhand der akustischen Signale zu bestimmen. Die maximale Reichweite der RAFOS-Signale in der Framstraße schwankte zwischen 50 bis 300 km in Abhängigkeit von der Bauart der Schallquelle, der Eisbedeckung und des RAFOS-Empfängers im Seaglider. Beim Einsatz 2011 hatten 72% der aus akustischen Signalen berechneten Positionen eine Abweichung von weniger als 10 km vom GPS-Wert, während fast die Hälfte der Positionen bis 5 km genau waren. Die Einsätze 2010 und 2011 zeigen, dass für Seaglider mit den neuen RAFOS2-Empfängern eine ausreichende Abdeckung für die westliche Framstraße erzielt werden kann, wenn man vier bis fünf Schallquellen geeignet positioniert.



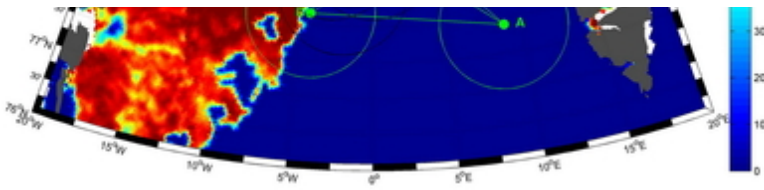


Abb. 6: Die Nennreichweiten (grüne Kreise) von den RAFOS-übertragenden Schallquellen, die in 2011 in der Framstraße ausgelegt wurden. Die RAFOS-SQ Positionen sind mit den schwarzen Sternen und die Positionen von den Tomographie-SQ mit grünen Punkten markiert. Im Hintergrund ist die Meereisbedeckung am 20. August 2011 dargestellt (die AMSR-E Daten wurden vom Universität Bremen zur Verfügung gestellt).

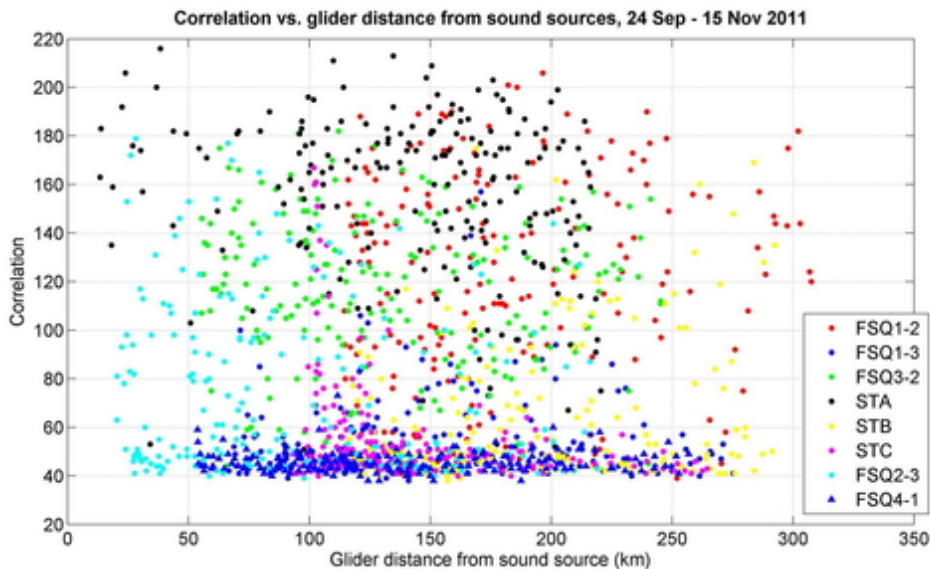


Abb. 7: Die Reichweiten der RAFOS-Signale, die Seaglider MK544 während des Einsatzes im Herbst 2011 in der Framstraße empfangen hat. Bei Korrelationen von größer als 60 hat der RAFOS-Empfang eine ausreichende Qualität für die akustische Navigation.

Die Genauigkeit der akustischen Navigation kann durch Breitbandtomographie erhöht werden. Duda et al. (2006) zeigten, dass die Fehler in der Größenordnung von einigen Kilometern im Falle von schmalbandigen RAFOS-Signalen durch den Einsatz von Breitbandsignalen auf weniger als 50 m reduziert werden können. Im Rahmen von ACOBAR wurde 2010 ein entsprechendes akustisches System in der Framstraße aufgebaut. Das breitbandige 190 bis 290-Hz-Tomographie-Signal wird im Abstand von 3 bis 4 Stunden zeitgleich von allen Quellen ausgesandt. Die Einsatzfähigkeit des tomographischen Signals für die akustische Navigation der Gleiter wird untersucht.