

Verbundprojekt – “Seafeather 10k –  
Sea Filter and extrafine particle  
sampler as a tethered system  
for the deep and hadal zones  
of the ocean (10.000 m)”

## Schlussbericht zu „Seafeather 10k “

**Förderkennzeichen:**

03SX480D

**Projektpartner:**

Alfred-Wegener-Institut (AWI),  
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

**Vorhaben:**

Wissenschaftliche Messgrößen, Trägerstruktur  
und Mechanik

**Leitung des Teilprojekts:**

Dr. Walter Geibert (AWI)

**Gesamtleitung des Verbundprojekts:**

Dr. Franziska Nehring, Fielax GmbH



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser  
Veröffentlichung liegt beim Autor

Foto: D. Köhler (AWI)

## Inhalt

I Rahmenbedingungen des Projektes.....	3
1 Aufgabenstellung.....	3
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	3
3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	3
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	4
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
II Eingehende Darstellung .....	5
1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	5
Pumpmechanismus .....	5
Externe Sensoren (Typenabhängig).....	5
Filterkopf .....	5
Trägerstruktur .....	6
Druckbeständigkeit bis 10000 m .....	6
Auswahl/Einbau Akkus .....	7
Modularität.....	7
Verwendung bei wissenschaftlichem Einsatz.....	8
Geplante Verwendung für wissenschaftliche Publikation .....	9
2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	9
3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	10
4. Des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des festgeschriebenen Verwertungsplans .....	10
5. Der während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	10
6. Der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses nach Nr.11 .....	10
III Erfolgskontrollbericht.....	10
1. Bezug auf förderpolitische Ziele .....	10
2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens .....	10
3. Die Fortschreibung des Verwertungsplans mit .....	11
Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen.....	11
Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende .....	11
Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende.....	11
Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase.....	12
4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben .....	12
5. Präsentationsmöglichkeiten für mögl. Nutzer z.B. Anwenderkonferenzen.....	12
6. Die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung.....	12
IV. Kurzfassung (Berichtsblatt) .....	12
Literaturangaben.....	12
Anhang: Verwertungsplan mit Zeithorizont.....	13

# I Rahmenbedingungen des Projektes

## 1 Aufgabenstellung

Ziel des Verbundprojektes war die Planung und der Bau eines Demonstrators für ein Filtrationssystem, welches in der Tiefsee bis 10000 m (1000 bar) sensor- und/oder programmgesteuert große Mengen Wasser (hunderte Liter) kontaminationsfrei über einen Filter pumpen kann. Das Gesamtprojekt war aufgeteilt, so dass die Entwicklung von Steuerung und Sensorik und die Bewertung der wirtschaftlichen Verwertbarkeit beim Partner aus der Wirtschaft (Fa. Fielax GmbH) lag, während das Design und die Auswahl mechanischer Komponenten (Druckgehäuse, Pumpen, Filtrationsmodul, Rahmen) sowie die wissenschaftliche Verwertung beim Projektpartner Alfred Wegener Institut lag.

## 2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Beide Projektpartner hatten bereits vorher Erfahrung mit am Markt befindlichen Systemen. Die Einschätzung, dass sowohl der Bedarf als auch die Möglichkeit wesentlicher Weiterentwicklungen bestand, war Grundlage für den gemeinsamen Antrag. Das Alfred-Wegener-Institut verfügt über eine hervorragende wissenschaftliche Werkstatt, die langjährige Erfahrungen im Bau von Tiefseeeinstrumenten hat, und die Sektion Marine Geochemie des Instituts ist regelmäßiger Nutzer von Tiefsee-Filtrationssystemen in internationalen Projektverbänden. Weiterhin besteht in gewissem Umfang Zugang zu Testmöglichkeiten (kleine Druckkammern bis 1000 bar, Forschungsschiffe). Fa. Fielax GmbH bietet Produkte und Dienstleistungen rund um Elektronik, Sensorik und Informationstechnologie in der Meeresforschung an. Sensorgesteuerte Systeme und „Smarte“ Technologien sind bereits jetzt etablierte Tätigkeitsfelder, und das Projekt bot die Möglichkeit, auf diese Stärken für eine folgende wirtschaftliche Verwertung zu bauen. Die Projektpartner sind beide in Bremerhaven ansässig.

## 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die ursprüngliche Planung des Zeitablaufs ist unten in Abbildung 1 gezeigt, wesentliche Abweichungen in Rot markiert. Insgesamt konnte der Zeitplan gut eingehalten werden. Pandemiebedingt wurden Lieferzeiten für Elektronikbauteile zwischenzeitlich zum Problem, wodurch einzelne Komponenten (insbesondere das eigentliche Pumpmodul) verzögert fertiggestellt wurden (als gestrichelter roter Rahmen eingezeichnet). Dennoch ging das Gesamtprojekt nicht verzögert aus dieser Phase, nur blieb dem Projektpartner weniger Zeit, die Ansteuerung der Pumpe zu implementieren. Ebenfalls pandemiebedingt gab es eine frühere Möglichkeit zu einer Testfahrt im tiefen Ozean (ebenfalls gestrichelt), so dass auch die Testfahrt in die Nordsee und der Drucktest vorgezogen wurde. Letztlich kam diese Fahrtteilnahme verletzungsbedingt nicht zustande, so dass im Ergebnis fast genau der ursprünglich geplante Zeitraum für die Testfahrt (Südpazifik) genutzt wurde (roter Rahmen). Deutlich verzögert ist nun nur die wissenschaftliche Auswertung, da extrem lange Frachtzeiten sowie Lieferengpässe für Ersatzteile von Messgeräten die Rückholung der Proben und Auswertung behindert haben. Diese Daten liegen nun vor, und mit einer Veröffentlichung ist zeitnah (Februar 2023) zu rechnen.

		1. Arbeitspaket					2. Arbeitspaket										3. Arbeitspaket						4. Arbeitspaket																	
		Jun 19	Jul 19	Aug 19	Sep 19	OkT 19	Nov 19	Dez 19	Jan 20	Feb 20	März 20	Apr 20	Mai 20	Jun 20	Juli 20	Aug 20	Sep 20	OkT 20	Nov 20	Dez 20	Jan 21	Feb 21	März 21	Mai 21	Jun 21	Juli 21	Sep 21	OkT 21	Nov 21	Dez 21	Jan 22	Feb 22	März 22	Apr 22	Mai 22					
Bezeichnung	Inhalte	PM	Projektmonat																																					
<b>1. Arbeitspaket</b>	<b>Konzeptionierung der Teilstücke (Lastenhefte erstellen)</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Projektbegleitende Arbeiten	Dokumentation, Leitung, Kommunikation, Verwaltung, Koordination	1.80																																						
Steuerelektronik / Datenerfassung	Schnittstellen definieren, externe Sensoren definieren, Microcontroller spezifizieren & auswählen	3.15																																						
Akkutechnik	Anforderungen spezifizieren und dokumentieren	1.07																																						
Bediensoftware	Anforderungen spezifizieren und Plattform auswählen	2.97																																						
<b>2. Arbeitspaket</b>	<b>Technologische Umsetzung der Spezifikationen (Pflichtenhefte erstellen)</b>																																							
Projektbegleitende Arbeiten	Dokumentation, Leitung, Kommunikation, Verwaltung, Koordination	3.60																																						
Steuerelektronik / Datenerfassung	Elektronikkomponenten auswählen und testen, elektronische Anschlüsse festlegen, Schaltpläne und Platinenlayouts entwerfen, Datenprotokolle der externen Sensoren erfassen und verwerten, erste Codeblöcke programmieren, Gehäusedesign festlegen	9.60																																						
Akkutechnik	Akku- und Ladetechnik berechnen und auslegen, Wärmeableitung durchdenken, Design festlegen	2.40																																						
Bediensoftware	Softwarekonzept entwerfen, Kontroll- und Datenprotokolle festlegen, User Interface entwerfen, erste Funktionen programmieren	6.00																																						
Druckgehäuse	Designs festlegen	1.00																																						
Zusammenführen der Module	erste zusammenhängende Funktionen testen	1.40																																						
<b>3. Arbeitspaket</b>	<b>Zusammenstellen des Demonstrators</b>																																							
Projektbegleitende Arbeiten	Dokumentation, Leitung, Kommunikation, Verwaltung, Koordination	3.60																																						
Steuerelektronik / Datenerfassung	Revision der Hardware, Drahtloskommunikation testen und ausbauen	6.48																																						
Akkutechnik	Ladezyklen testen und ggf. verbessern	0.72																																						
Bediensoftware	Entwicklung und Programmierung der Desktopsoftware	8.40																																						
Druckgehäuse	anfertigen lassen	0.30																																						
Zusammenführen einzelner Teilkomponenten	experimenteller Aufbau im Labor zum Test zusammenhängender Funktionen mit dem Sensorpaket	1.70																																						
Evaluierung der Teilstücke	alle Teilstücke im Drucktank testen	0.30																																						
Endmontage der Teilstücke	zusammenfügen zum Demonstrator und ggf. nachbessern	1.50																																						
erste Evaluierung des Demonstrators	System im Drucktank o.ä. testen	1.00																																						
<b>4. Arbeitspaket</b>	<b>Evaluierung des Demonstrators in Einsatzumgebung</b>																																							
Projektbegleitende Arbeiten	Dokumentation, Leitung, Kommunikation, Verwaltung, Koordination	1.80																																						
Steuerelektronik / Datenerfassung	ggf. Modifikation & Optimierung der Teilstücke vornehmen aufgrund der Ergebnisse der Labor- & Einsatztests	1.20																																						
Akkutechnik		0.36																																						
Bediensoftware		2.64																																						
Testeinsatz Flachwasser	Schiffsausfahrt in Nordsee oder Ostsee	2.95																																						
Testeinsatz Tiefsee	Schiffsausfahrt in Tiefseegebiet, Test der allgemeine Funktionalität insbesondere in großen Tiefen (Drucksicherheit)	2.95																																						
wissenschaftliche Ergebnisse	Publikation & Präsentation	0.10																																						
<b>Summe Personenmonate</b>		<b>69.0</b>																																						

Abbildung 1: Ursprünglicher Zeitplan mit wesentlichen Abweichungen in Rot markiert. Die obere gestrichelte Box markiert Verzögerungen durch lange Lieferzeiten von Bauteilen, die untere gestrichelte Box eine kurzfristige alternative Fahrtoption (aus Pandemiegründen) für einen Testeinsatz, die aber letztlich nicht umgesetzt wurde. Stattdessen wurde der ursprüngliche Plan wieder aufgenommen und umgesetzt. Durchgezogene rote Boxen stehen für größere Abweichungen vom Zeitplan.

#### 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bereits bei Projektbeginn gab es zwei bestehende Systeme für die gleiche Aufgabenstellung: Modelle der Fa. Challenger Oceanic, die schon lange nicht mehr am Markt ist- die Systeme werden daher weiter gewartet, stellen aber keine Konkurrenz dar. Hauptmerkmal aus heutiger Sicht ist hohes Gewicht (>40 kg) durch verlötete Bleiakkus und zunehmende Unzuverlässigkeit beim Starten. Der einzige Anbieter am Markt, der solche Probennahmesysteme aktuell anbietet (nach bestem Wissen des Projektpartners auch Stand heute) ist die Fa. McLane (USA). Hier haben sich in der Vergangenheit ebenfalls Nachteile in der Stromversorgung (bevorzugt durch Batterien in großen Mengen), im Gewicht, in der vorprogrammierten Steuerung, im Preis und in der beschränkten Tiefe gezeigt. Die Systeme von McLane gelten als zuverlässig. Beide Systeme werden am Alfred-Wegener-Institut betrieben.

Die Vorrecherche beruhte größtenteils auf langjähriger Kenntnis der Systeme als Nutzer (AWI) und in der Wartung (Fielax GmbH) und internationale Vernetzung mit etlichen Nutzern durch das koordinierte Projekt GEOTRACES ([www.geotraces.org](http://www.geotraces.org)), welches inzwischen auch Teil der UN Oceans Decade ist. Aktuelle Publikationen mit Bezug auf Probennahmesysteme für Partikel allgemein und das System von McLane sind z.B. Lam et al. (2017) oder (allgemein zur Partikelbeprobung incl. Pumpsysteme am Markt) Cutter et al. (2017).

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde hauptsächlich durch die Projektpartner AWI und Fielax GmbH realisiert. Für die Drucktests des Gesamtsystems bis 1000 bar wurden die Dienste der Fa. Nautilus- GmbH (Buxtehude) in Anspruch genommen. Die Testfahrt wurde auf dem Forschungsschiff Sonne (SO289) unter Fahrtleitung von Prof. Achterberg (GEOMAR/Universität Kiel) im Rahmen eines GEOTRACES (s.o.) - Projekts realisiert. Auch die geplante wissenschaftliche Veröffentlichung spiegelt diese Zusammenarbeit wider.

## II Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Folgenden wird, nach Komponenten aufgeschlüsselt, dargestellt, welche Zielvorgaben zu welchen Umsetzungen geführt haben.

#### Pumpmechanismus

Für den Pumpmechanismus wurden verschiedene Pumptypen (Kreiselpumpen, Verdränger, Impeller) in Betracht bezogen, beispielhaft für eine Untersuchung beschafft und bezüglich ihrer relevanten Eigenschaften untersucht. Auch der Bau einer eigenen Pumpe wurde erwogen, aber wegen der optimierten Effizienz und Robustheit bereits am Markt befindlicher Systeme verworfen. Letztlich stellten sich in der Kombination der Zielvorgaben bezüglich Energieverbrauch, Ansaugen der Probe, Steuerbarkeit, potentielle Tiefseeignung nach Umbau, Korrosionsbeständigkeit, Gewicht, Preis, zwei verschieden dimensionierte Modelle einer Kreiselpumpe eines etablierten Herstellers von Maschinen und elektronisch gesteuerten Maschinenbauteilen als am geeignetsten heraus. Diese Pumpe wurde druckneutral umgebaut und ausgiebig getestet, zunächst im kleinen Drucktank am Alfred-Wegener-Institut. Für die Kontaminationsfreiheit wurde die Pumpe hinter Filter und Adsorber platziert. Die Ziele bezüglich Pumpmechanismus wurden für den Demonstrator erreicht und bezüglich Größe, Kosten und Möglichkeit zur Modularität übertroffen, ebenso bzgl. Druckbeständigkeit (s.u.). Auf eine genaue Darstellung des Modells, der Anpassung und des Einbaus wird hier im Sinne der Geheimhaltungspflicht hier nicht eingegangen.

#### Externe Sensoren (Typenabhängig)

Die Sensorik sollte a) in verschiedenen Varianten realisiert werden (basic, advanced, smart) und b) aktiv für die Steuerung der Filtration benutzt werden können. Der Schwerpunkt der Entwicklung wurde zunächst auf die smart-Variante gelegt, da hier auch der Entwicklungsschwerpunkt (und anspruchsvollste Teil) für den Projektpartner lag. Hierfür musste zunächst das wissenschaftliche Sensorpaket beschafft werden. Schwerpunkt hierbei war einerseits die Druckanforderung bis 10000 m Tiefe, andererseits eine geeignete Sensorik für die Steuerung. Viele Sensoren sind nicht bis 10000 m ausgelegt, so dass die Anzahl und Art der Sensoren für das „smart“ Modell je nach potentieller Nutzung frei konfigurierbar sein musste. Für das „advanced“ Modell wurden miniaturisierte Sensoren für die wesentlichsten Messgrößen ausgewählt, mit beschränkter Tiefentauglichkeit (bis 6000 m). Das Modell „basic“ ist praktisch nur programmierbar, aber nicht sensorgesteuert zu betreiben-dafür aber voll druckbeständig. Die Sensoren/Anschlüsse wurden beim Gerätedesign so in den Deckel des Druckgehäuses integriert, dass ein wesentlicher Teil des Systems für die verschiedenen Varianten unverändert bleiben konnte. Die Ziele für die Sensorik wurden voll erreicht, allerdings sind nicht alle Messgrößen bis 10000 m verfügbar, da man hier auf die am Markt befindlichen Lösungen zurückgreifen muss.

#### Filterkopf

Für den Filterkopf war das Ziel, gleichmäßige Filtration auf der gesamten Fläche des Filtermaterials zu erreichen, bei kontaminationsfreier Beprobung. Für den Filterkopf wurde daher ein bereits am AWI entwickeltes Design weiter optimiert, gezeichnet und schließlich in der

Werkstatt gebaut. Besondere Entwicklungsschwerpunkte waren die Unterlage für die Filter und die gleichmäßige Anströmung. Dieses Ziel wurde erreicht. Auch diese technische Lösung wird hier im Sinne der wirtschaftlichen Interessen des Projektpartners nicht gezeigt.

### Trägerstruktur

Die Trägerstruktur konnte erst spät entwickelt werden, da erst beim Vorliegen aller übrigen Komponenten und ihrer Anordnung eine Planung möglich war. Für den Demonstrator wurde ein Design gewählt, das leicht ist, flexibel, Schutz vor mechanischer Beschädigung bietet und bei dem die Komponenten gut zugänglich sind. Hier wären in der Zukunft bei einer Weiterentwicklung zu einem Prototypen auch andere Kriterien stärker zu berücksichtigen (z.B. Standfestigkeit, Bedienerfreundlichkeit). Das Ziel der Kontaminationsfreiheit konnte durch die Anordnung (Pumpen nach den Filtern/ Adsorbern) nach derzeitigem Stand für Spurenmetalle gut erreicht werden, allerdings muss je nach zukünftiger Zielmessgröße (Kohlenstoffkomponenten/ Spurenmetalle/ Mikroplastik/ Kohlenwasserstoffe) in Zukunft ein für den jeweiligen Zweck geeignetes Material eingesetzt werden-kein Material genügt allen möglichen Anforderungen gleichzeitig.

### Druckbeständigkeit bis 10000 m

Ein Kernziel des Projekts, das schon im Projekttitle festgehalten wurde, war die Eignung für hadale Tiefen (bis 10000 m). Dieses Ziel stellte besondere Anforderungen an die Auswahl des Pumpmechanismus, da die Dicke eines geeigneten Gehäuses und die Transmission der Energie ins Wasser ggf. im Widerspruch stehen. Das Problem wurde letztlich technisch gelöst, wie die Zertifikate für die Drucktests der Fa. Nautilus (Abbildung 2) zeigen. Beständigkeit bis 1000 bar bedeutet, dass das „smart“ System bis 10000 m Tiefe eingesetzt werden kann. Das „advanced“ System wurde spezifikationsgemäß bis 600 bar (äquivalent 6000 m) getestet. Bei der Testfahrt in den Südpazifik konnten letztlich in Ermangelung eines Drahtes mit passender Länge keine Tiefen >6000 m erreicht werden, aber weder im Drucktest bis 1000 bar (10000 m) noch im realen Einsatz bis 6000 m war Druck jemals ein Problem. Damit kann dieses ambitionierte Ziel als vollständig erreicht angesehen werden.

### Test Item

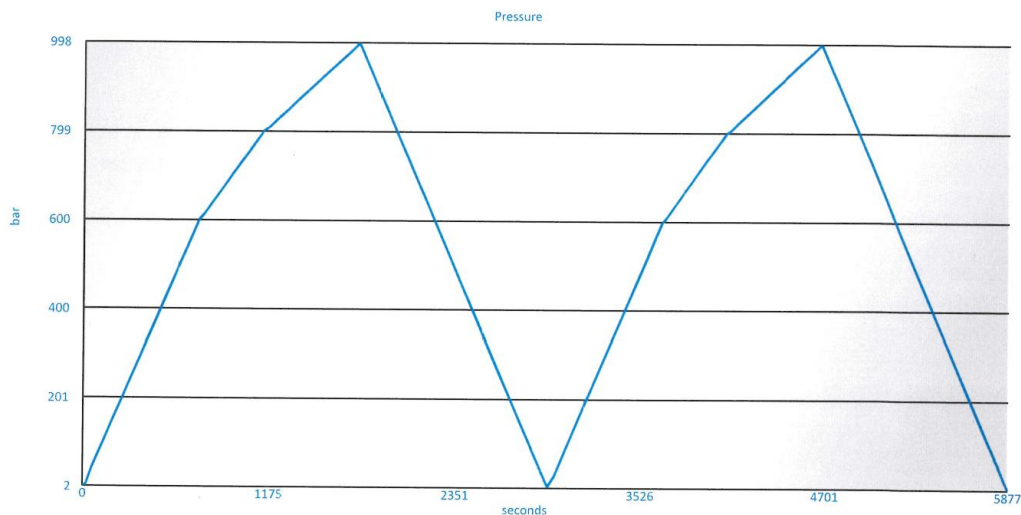
PN: SeaFeather\_10k      Description: Auftr-Nr-301256\_AWI\_Bestellung\_39/0045145244/NB      Profile: PT-NMS-1000\_bar\_AWI\_4  
 SN:      Report: 004

### System

#### Pressure Sensor

Serial Number: D18170022  
 Last maintenance: Maintenance 23/01/2021 13:00:00  
 Next maintenance: Maintenance 23/01/2022 13:00:00

### Test Results




Comments:		
<p>Items herein have been tested according to the test procedure, pressure and temperature conditions stated in the certificate</p> <p>the item(s) have been further evaluated according to the acceptance criteria and have:</p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> Passed      <input type="checkbox"/> Failed  <input type="checkbox"/> Failed, rework retest      <input type="checkbox"/> Other, see comments         </p>	<p>Signature: <i>[Handwritten Signature]</i>      Date: 08.11.2021</p> <p>Test Engineer _____</p> <p>Client Approval _____      Date _____</p>	

Abbildung 2: Eines der Zertifikate von Fa. Nautilus GmbH für die durchgeführten Drucktests bis zum Druckäquivalent von 10000 m (zwei volle Druckzyklen). Die Geräte zeichneten während des Drucktests auch erfolgreich Daten auf.

## Auswahl/Einbau Akkus

Bei den Akkus standen, in Abstimmung mit der Wahl der Pumpe und ihrer entsprechenden Leistungsaufnahme, verschiedenen Typen zur Auswahl. Letztlich wurde trotz der hohen Leistungsdichte aus Sicherheits- und Transportgesichtspunkten Abstand von Lithiumakkus genommen. Weiterhin war die Temperaturentwicklung beim Laden und Entladen zu beachten. In den realisierten Demonstratoren leisten die Akkus komfortabel genug, um ca. 2-3 Stunden in der Tiefsee zu pumpen, was ohnehin etwa einer Sättigung der Filteroberfläche entspricht. Geladen wird bei geschlossenem Deckel des Druckgehäuses, was eine wesentliche Verbesserung gegenüber bestehenden Systemen bedeutet.

## Modularität

Insgesamt ist das System hoch modular. Sensoren können beim Typ „smart“ zu- und abgewählt werden, und die Typen sind mit dem Tausch nur weniger Bauteile von einer in die andere Variante umzuwandeln. Schlüssel hierzu ist einerseits die mechanische Konstruktion dieses Teilprojekts, andererseits die Umsetzung der Software und Elektronik des Projektpartners.

## Verwendung bei wissenschaftlichem Einsatz

Zwei Varianten des neu entwickelten Filtrationssystems („smart“ und „advanced“) wurden erfolgreich parallel zu bestehenden Filtrationssystemen bei der Fahrt SO289 (Achterberg, 2022), einem außergewöhnlich langen Schnitt von Chile nach Neukaledonien, eingesetzt. Im Vergleich ergaben sich im Mittel höhere Volumenströme als bei McLane-Filtern, die typischerweise bei 300-500 L/h liegen, während Seafeather 320-1032 L/h lieferte, typischerweise 400-700 L/h.

### Übersicht der Einsätze

Station	Pumpe	Tiefe	Filter	Einsatzdauer	Pumpendauer	Volumen	L/h
8	CTD	150	PES	6	30	516	1032
	MiniCTD	600	PES		30	419	838
12	CTD	150	PES	6	180	964	321
	MiniCTD	550	PES		180	1198	400
16	MiniCTD	150	PES	5	Logfile defekt	2198	
	CTD	550	PES		180	1139	380
19	MinCTD	600	PES	4.5	134	986	441
	CTD	2300	PES		180	2086	695
22	MiniCTD	2150	PES	5	Logfile defekt	683	
	CTD	2300	PES		180	1256	418
24	MiniCTD	2000	PES	5	151	1181	469
	CTD	2300	PES		180	1465	488
28	MiniCTD	2000	PES	6	136	1094	483
	CTD	2300	PES		164	1360	497
31	MiniCTD	400	PES	5	141	1703	725
	CTD	2300	PES		176	2168	739
33	MiniCTD	170	QMA	3	0	2	
	CTD	400	QMA		Logfile defekt	1829	
36	CTD	400	PES	7	161	1456	543
39	CTD	5975	PES	3	60	416	416
42	CTD	400	PES	4.5	163	1441	530

Tabelle 1: Übersicht über die Einsätze bei SO289. „CTD“ bezeichnet die Variante „smart“ (da sie mit einer wissenschaftlichen CTD mit Sensorpaket ausgestattet ist), „Mini-CTD“ die Variante „advanced“ mit einem kleineren, einfacheren Sensorpaket.

Das Filterbild war gleichmäßig und zufriedenstellend, vergleichbar mit dem bei McLane-Filtern (Abbildung 3). Sechs konstruktionsbedingte Punkte mit verminderter Bedeckung wurden beobachtet, wofür inzwischen ein leicht verändertes Design entwickelt wurde (geändertes Stützsieb). Dennoch sind die gewonnenen Filter wissenschaftlich voll nutzbar. In Abbildung 4 ist beispielhaft die Untersuchung von Filteroberflächen mit dem Elektronenmikroskop mit Elementkartierung (REM-EDX) gezeigt, die inzwischen an den bei SO289 gewonnenen Proben vollständig durchgeführt wurde und in Kürze publiziert werden soll.

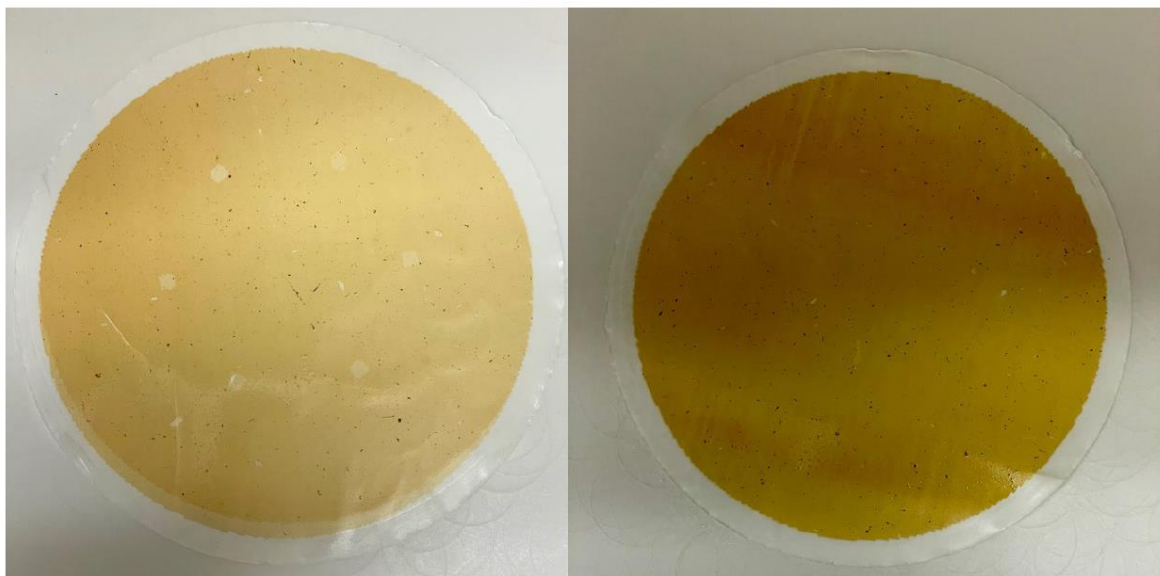




Abbildung 3: Filterbild von Seafeather10k (links) und McLane (rechts) an unterschiedlichen Stellen der Wassersäule während SO289. Beide Filterbilder sind gleichmäßig. Bei Seafeather10k ergaben sich noch 6 Punkte mit verminderter Bedeckung durch das Stützsieb, wofür inzwischen ein leicht verändertes Design entwickelt wurde.

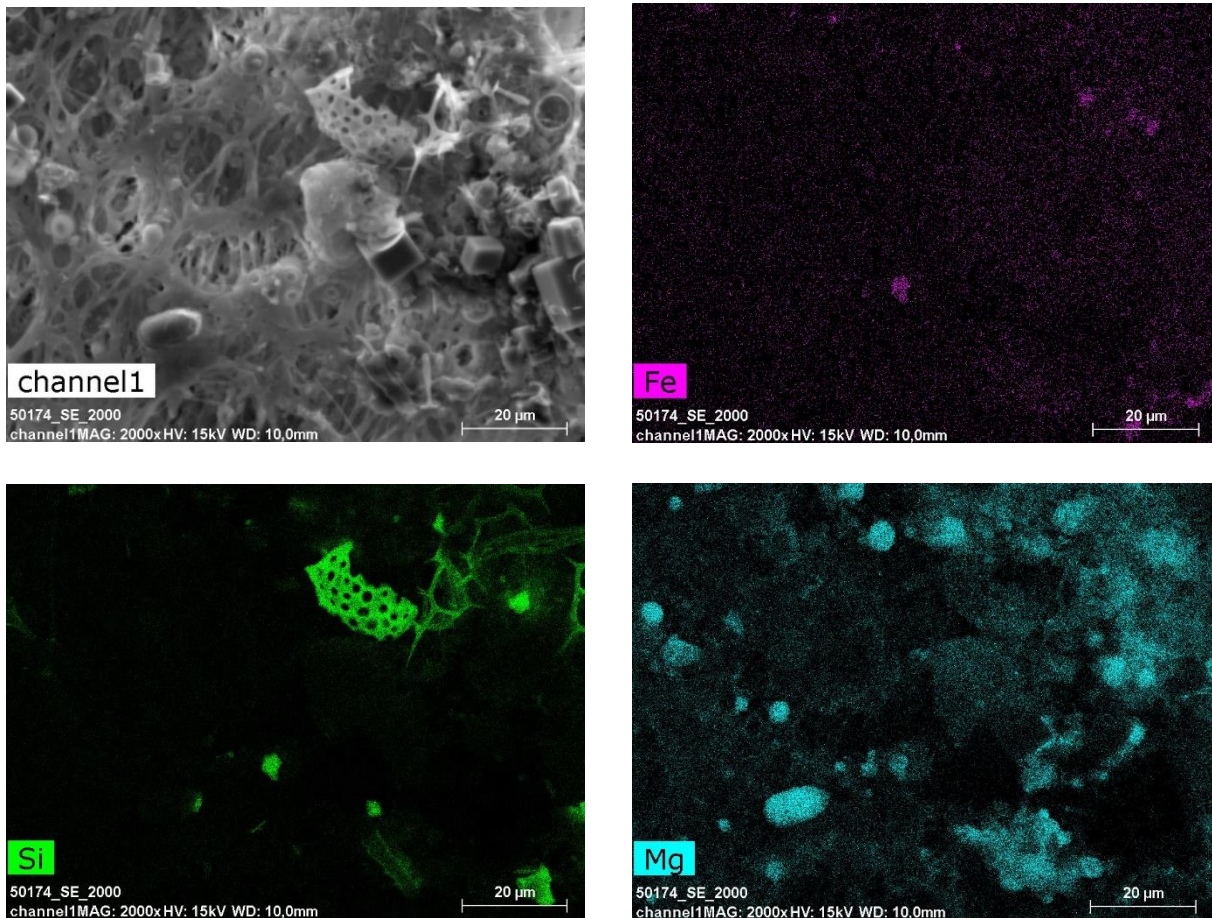


Abbildung 4: Aufnahme einer Filteroberfläche mit dem Rasterelektronenmikroskop und Beispiel für die Kartierung der Elementverteilung in der Probe mittels „EDX“ (energiedispersive Röntgenspektroskopie). In der Darstellung der Oberfläche (oben links) erkennt man im Hintergrund das Filtergewebe aus Polyethersulfon, außerdem würfelige Salzkristalle vom getrockneten Meerwasser sowie das eigentliche Ziel der wissenschaftlichen Untersuchung, marine Partikel. Elemente – Mikronährstoffe ebenso wie Kontaminationen- können so bestimmten Partikelarten zugeordnet werden. Die drei dargestellten Elemente wurden aus einer größeren Anzahl gemessener Elemente beispielhaft ausgewählt.

#### Gepiante verwendung tur wissenschaftliche Publikation

Die oben gezeigten Ergebnisse sollen im Rahmen einer wissenschaftlichen Publikation dargestellt werden. Die Möglichkeit der Gewinnung von solchen Proben aus Tiefen >6500 m ist neu, ebenso ist die systematische Untersuchung mit REM-EDX unseres Wissens noch nicht erfolgt und dargestellt. Der direkte Vergleich mit anderen Herstellern erlaubt auch den Beweis, dass den Projektpartnern der Bau des derzeit leistungsfähigsten Systems als Demonstrator gelungen ist. Zum Zeitpunkt der Berichtsabgabe ist das System vor Südgeorgien mit FS „Polarstern“ im Einsatz (PS133/2 „Islandimpact“). Die für einen Demonstrator erwartbaren wissenschaftlichen Ergebnisse wurden damit erheblich übertroffen.

## 2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der größte Einzelposten der Förderung waren die Personalkosten (Pos. 831), 325087 € waren bis Ende 2022 abgerufen. Diese Kosten wurden im vollen Umfang und ohne größere Abweichungen genutzt. Ein weiterer erheblicher Posten war der Bau der Anlage, Pos. 847 (Demonstrator „Seafeather10k“). Hier waren 113240 € veranschlagt, tatsächlich abgerufen waren bis Ende 2022 78939 €. Ursache für die Einsparung war zum größten Teil die Auswahl des Pumpmechanismus. Hier war im Antrag eine Option einer Pumpe im Druckzylinder vorgesehen, modelliert nach dem Preis eines kommerziellen Anbieters. Nachdem Voruntersuchungen ergeben hatten, dass druckneutrales Vergießen eine gangbare Option war, wurde dieser günstigere Weg weiterverfolgt. Weiterhin wurde durch die Wahl der modularen Bauweise ein Kostenvorteil erzielt. Der Hauptposten blieb das

wissenschaftliche Sensorpaket, nahe am veranschlagten Preis. Die Reisekosten waren erheblich niedriger als veranschlagt, da das Projekt in eine Zeit pandemiebedingt eingeschränkter Reisetätigkeit fiel. Lediglich die Reisen zum Drucktest und Kosten für die Testeinsätze entstanden hier wie geplant.

### 3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeit folgte eng dem vorgesehenen Plan. Da es sich um eine Neuentwicklung handelte, war die Untersuchung verschiedener möglicher Lösungen erforderlich, und es war bereits bei der Planung erwartet, dass auch letztlich nicht umzusetzende Entwicklungen Bestandteil der untersuchten Lösungen sein mussten, um das Optimum zu finden. Die eingeschlagenen Wege waren daher alle notwendig. Die Beschäftigung eines Mitarbeiters in Vollzeit war auch erforderlich, da die Planungsarbeit mehrere Varianten (smart, advanced, basic), mehrere Pumpmechanismen, mehrere Akkuklösungen, mehrere Filtersysteme, mehrere Trägerstrukturen etc. umfasste, die in allen möglichen Kombinationen durchdacht und geplant werden mussten. Die Beteiligung der AWI-Werkstatt im CAD- Design und dem Bau des Demonstrators war unverzichtbar, ebenso die Projektorganisation (Fahrtpassung, Besprechungen, Verwaltung- insbesondere durch den Eigenanteil). Messungen der Proben und Reisevorbereitungen waren ebenfalls notwendig. In der Summe wurde die zur Aufgabenstellung notwendige und angemessene Arbeit geleistet.

### 4. Des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des festgeschriebenen Verwertungsplans

Das Ergebnis ist aus wissenschaftlicher Sicht klar verwertbar (siehe oben) und die Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift wie im Verwertungsplan vorgesehen zeitnah geplant. Bezüglich der wirtschaftlichen Verwertung verweisen wir auf den leitenden Projektpartner aus der Wirtschaft.

### 5. Der während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Uns ist kein Fortschritt anderer Stellen im Bezug auf das Vorhaben bekannt.

### 6. Der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses nach Nr.11

Die Veröffentlichung des Ergebnisses ist noch nicht erfolgt, aber geplant.

## III Erfolgskontrollbericht

### 1. Bezug auf förderpolitische Ziele

Im Rahmen des Projektes konnten erfolgreich „smarte“ Technologien für die Tiefsee mit innovativen Ansätzen entwickelt werden. Die entwickelte Probenahmetechnik ist wesentlich für die Überwachung von Umweltstandards im Meer (z.B. zu Mikroplastik, partikelgebundene Schadstoffe, Belastung mit Umweltradioaktivität). Die Förderung hat die Zusammenarbeit zwischen einem KMU und einer wissenschaftlichen Einrichtung direkt zur Entwicklung solcher Technologien gefördert und vorangebracht. Insofern sind -aus Sicht des Zuwendungsempfängers- die förderpolitischen Ziele voll erreicht.

Allerdings muss herausgehoben werden, dass der geforderte Eigenanteil des Projekts den Verwaltungsanteil und -aufwand durch die damit erforderlichen verschiedenen Kostenträger wesentlich erhöht hat. Die Durchführung eines solchen Projekts mit Eigenanteil muss daher in der Zukunft- unabhängig von dessen Höhe- sorgfältig auf die zeitliche Machbarkeit der Projektadministration geprüft werden.

### 2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens

Ursprüngliches Ziel des Projektes „Seafeather10k“ war die Entwicklung eines Demonstrators eines Tiefsee-Filtrationsgeräts für den wissenschaftlichen Einsatz. Dieser sollte bestimmte innovative Leistungsmerkmale aufweisen: Es sollte den Bereich der erreichbaren Tiefe auf 10000 m Meerestiefe

(1000 bar) erweitern, wiederaufladbar sein, Kommunikationsschnittstellen für Sensorik haben und entsprechend steuerbar/programmierbar sein, regulierbare Filterleistung haben, möglichst gewichtsarm sein und kontaminationsfreie Probenentnahme ermöglichen. Diese Ziele wurde alle erreicht. Trotz gewisser Verzögerungen (Pandemie und damit einhergehende Lieferengpässe, verschobene Fahrten) konnten letztlich alle Meilensteine fristgerecht erreicht werden.

Besonders hervorzuheben ist der erste flache Testeinsatz auf dem kleinen Forschungsschiff Uthörn, dann der Druck- und Funktionstest im Tank bei Fa. Nautilus bis 1000 bar (mit mehreren Druckzyklen), und letztlich der Einsatz im Rahmen einer langen wissenschaftlichen Expedition im Südpazifik (SO289 mit FS „Sonne“), parallel zu mehreren am Markt befindlichen Systemen, mit sehr gutem Ergebnis.

Es wurden drei Varianten entwickelt (zwei davon mit dem bestehenden Material gleichzeitig realisierbar): Eine „basic“ Variante, die einfach nach Programm pumpt; eine tiefenlimitierte „Advanced“-Variante, die eingebaute Sensoren hat und damit softwaregesteuert Proben nehmen kann, und eine „smart“ Variante, die eine vollwertiges wissenschaftliches Sensorkpaket bis 10000 m Einsatztiefe zusätzlich zum Pumpsystem mitbringt.

Als Schlüssel zu Druckbeständigkeit, Energieeffizienz und Gewichtsersparnis erwies sich bei allen Varianten das Konzept der druckneutral vergossenen Pumpe, die auch ein Alleinstellungsmerkmal am Markt darstellen würde. Während die Software, Kommunikation und Elektronik -ebenfalls ein Alleinstellungsmerkmal- bei Fa. Fielax entwickelt wurde, wurden im Rahmen dieses Teilprojekts (Alfred-Wegener-Institut) die mechanischen Aspekte des Filtrationssystems unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten entwickelt.

Schwachpunkte des entwickelten Systems sind- wie zu erwarten für das Demonstrator-Stadium- die Belastbarkeit im Dauereinsatz (nur eines von zwei Systemen war über die gesamte Fahrtdauer von SO289 einsetzbar, das andere für etwa 2/3), und das Design des Rahmens aus Gesichtspunkten des Handlings (Schwerpunkt zu weit oben). Die Verfügbarkeit kritischer Kleinbauteile war teilweise bestimmend für die Bauzeit. Hier liegt auch weiterer Klärungsbedarf im Hinblick auf die zukünftige Fertigung.

Wissenschaftlich konnten hervorragende Probensätze gewonnen werden, die nun im Vergleich mit am Markt etablierten Systemen ausgewertet werden. Hierzu wurden Spurenelemente auf den erhaltenen Filtern gemessen, Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop gemacht und Elementverteilungen im Mikrometer-Maßstab kartiert. Der wissenschaftliche Teil des Projekts wird mit der Publikation dieser Ergebnisse erfolgreich abgeschlossen sein.

### 3. Die Fortschreibung des Verwertungsplans mit

#### Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Eine Lizenzvereinbarung mit Fa. Fielax GmbH wird derzeit vorbereitet. Von unserer Seite sind derzeit keine Schutzrechtsanmeldungen geplant, allerdings können wir keine Aussagen für die Projektbestandteile unseres Partners treffen.

#### Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Hier verweisen wir auf den Partner und Koordinator des Verbundprojektes, Fa. Fielax GmbH.

#### Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende.

Die Entwicklung von „Seafeather10k“ versetzt die Wissenschaft erstmals in die Lage, suspendiertes Material von hunderten Litern Meerwasser aus den größten Tiefen des Ozeans zu sammeln, in Begleitung von Sensordaten. Damit werden neue Messgrößen zugänglich (z.B. organische Moleküle, Radionuklide, partikulär gebundene Schwermetalle). In Abhängigkeit von den wirtschaftlich gesteuerten Entscheidungen des Projektpartners werden diese Möglichkeiten der Wissenschaft in Zukunft zur Verfügung stehen.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase  
Die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit muss vom Projektkoordinator des Verbundprojektes beurteilt werden. Wissenschaftlich sind etliche Weiterentwicklungen denkbar, z.B. das Sammeln von Zeitreihen, autonomere Probennahme, oder verbesserte Kommunikationsmöglichkeiten mit dem Gerät über die Distanz.

#### 4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Alle Arbeiten sind erfolgreich beendet worden.

#### 5. Präsentationsmöglichkeiten für mögl. Nutzer z.B. Anwenderkonferenzen

In Kürze wird das Projekt bei der Statustagung maritime Technologien vom Projektpartner vorgestellt. Für den Kontakt mit Partnern aus der Wirtschaft wird auf den Projektpartner verwiesen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden kurz beim Treffen des Steering-Komitees des Internationalen GEOTRACES-Projektes gezeigt und sollen in Kürze in einer Fachpublikation veröffentlicht werden.

#### 6. Die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Hier wird auf den Schlussbericht oben verwiesen. Insgesamt wurde das Projekt trotz pandemiebedingter Einschränkungen zeitgerecht und mit wenigen Abweichungen erfolgreich abgeschlossen. Finanziell ergab sich beim Bau der Anlage (des Demonstrators) ein gewisser Minderbedarf, da nicht alle im Antrag berücksichtigten potentiell nötigen Lösungen erforderlich wurden. Ebenso wurden Reisemittel pandemiebedingt nicht voll abgerufen. Die Personalmittel waren in vollem Umfang erforderlich.

## IV. Kurzfassung (Berichtsblatt)

s.Anl.

## Literaturangaben

- Achterberg, E. P. S., Z.; Galley, C. (2022). *Sonne -Berichte South Pacific GEOTRACES Cruise No. SO289 - 18.02.2022-08.04.2022 Valparaiso (Chile) – Noumea (New Caledonia) GEOTRACES GP21*. Retrieved from
- Cutter, G., Casciotti, K., Croot, P., Geibert, W., Heimbürger, L.-E., Lohan, M., et al. (2017). Sampling and Sample-handling Protocols for GEOTRACES Cruises. Version 3, August 2017.
- Lam, P. J., Lee, J.-M., Heller, M. I., Mehic, S., Xiang, Y., & Bates, N. R. (2017). Size-fractionated distributions of suspended particle concentration and major phase composition from the U.S. GEOTRACES Eastern Pacific Zonal Transect (GP16). *Marine Chemistry*.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304420317301585>

## Anhang: Verwertungsplan mit Zeithorizont

### FKZ 03SX480D

<b>Lfd.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Zeithorizont</b>
1	Einsatz zur Probennahme	18.2.2022-8.4.2022 mit FS „Sonne“ im Südpazifik
2	Einsatz zur Probennahme	Seit 20.11.2022 mit FS „Polarstern“ im Südozean
3	Wissenschaftliche Publikation zum Einsatz auf FS „Sonne“	Bis 28.2.2023
4	Wissenschaftliche Publikation zum Einsatz auf FS „Polarstern“	2024

Für die wirtschaftliche Verwertung wird auf den Projektpartner und Koordinator, Fa. Fielax GmbH, verwiesen.