

Meereswissenschaftliche Berichte

Marine Science Reports



No 97 2015

Aquatische Optische Technologien in Deutschland

Jan Schulz et al.

"Marine Science Reports" publishes monographs and data reports written by scientists of the Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde and their co-workers. Volumes are published at irregular intervals and numbered consecutively. The content is entirely in the responsibility of the authors.

Schriftleitung: Dr. Norbert Wasmund

[\(norbert.wasmund@io-warnemuende.de\)](mailto:norbert.wasmund@io-warnemuende.de)

Die elektronische Version ist verfügbar unter / The electronic version is available on:
<http://www.io-warnemuende.de/meereswissenschaftliche-berichte.html>



© Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 International. Mit dieser Lizenz sind die Verbreitung und das Teilen erlaubt unter den Bedingungen: Namensnennung - Nicht-kommerziell - Keine Bearbeitung.

© This work is distributed under the Creative Commons License which permits to copy and redistribute the material in any medium or format, requiring attribution to the original author, but no derivatives and no commercial use is allowed, see:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

ISSN 2195-657X

Dieser Artikel wird zitiert als / This paper should be cited as:

Jan Schulz¹, Klas Ove Möller², Astrid Bracher³, Martin Hieronymi⁴, Boris Cisewski⁵, Oliver Zielinski¹, Daniela Voss¹, Enrico Gutzeit⁶, Tim Dolereit⁶, Gerd Niedzwiedz⁷, Gesche Kohlberg⁷, Dirk Schories⁸, Rainer Kiko⁹, Arne Körtzinger⁹, Claas Falldorf¹⁰, Philipp Fischer³, Nicolas Nowald¹¹, Kolja Beisiegel¹², Pedro Martinez-Arbizu¹³, Nick Rüssmeier¹, Rüdiger Röttgers⁴, Jan Büdenbender⁹, Anne Jordt-Sedlazeck^{14,9}, Reinhard Koch¹⁴, Ulf Riebesell⁹, Morten Hvitfeldt Iversen^{11,3}, Kevin Köser⁹, Tom Kwasnitschka⁹, Jens Wellhausen¹⁵, Kristina Barz¹⁶, Sven Rohde¹, Tim W. Nattkemper¹⁷, Timm Schoening⁹, Frank Peeters¹⁸, Hilmar Hofmann¹⁸, Julia A. Busch¹, Hans-Jürgen Hirche³, Barbara Niehoff³, Nicole Hildebrandt³, Erik Stohr¹², Christian Winter¹¹, Gabriel Herbst¹¹, Christian Konrad¹¹, Mark Schmidt⁹, Peter Linke⁹, Thomas Brey³, Hermann W. Bange⁹, Lars Nolle¹⁵, Sören Krägefsky³, Joachim Gröger^{5,7}, Eberhard Sauter^{3,19}, Miriam Schulz²⁰, Jens Müller¹², Gregor Rehder¹², Daniel Stepputtis¹⁶, Bank Beszteri³, Michael Kloster²¹, Gerhard Kauer²¹, Anna Göritz²², Peter Gege²³, Uwe Freiherr von Lukas⁶, Ulrich Bathmann¹²: Aquatische Optische Technologien in Deutschland. Meereswiss. Ber., Warnemünde, 97(2015)

DOI: 10.12754/msr-2015-0097

Institutionen der Autoren:

¹ Universität Oldenburg , Institut für Chemie und Biologie des Meeres, Wilhelmshaven

² Universität Hamburg, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften, Hamburg

³ Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

⁴ Helmholtz Zentrum Geesthacht, Institut für Küstenforschung, Geesthacht

⁵ Thünen-Institut für Seefischerei, Hamburg

⁶ Fraunhofer Institut, Institut für graphische Datenverarbeitung, Rostock

⁷ Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Rostock

⁸ Projektträger Jülich, Rostock

⁹ GEOMAR, Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung, Kiel

¹⁰ Bremer Institut für angewandte Strahltechnik, Bremen

¹¹ Universität Bremen, MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Bremen

¹² Leibniz-Institut für Ostseeforschung, Warnemünde

¹³ Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven

¹⁴ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Informatik, Kiel

¹⁵ Jade-Hochschule, Wilhelmshaven

¹⁶ Thünen-Institut für Ostseefischerei, Rostock

¹⁷ Universität Bielefeld, Technische Fakultät, AG Biodata Mining, Bielefeld

¹⁸ Limnologisches Institut, Universität Konstanz, Konstanz

¹⁹ Hochschule Bremerhaven, Studiengang Maritime Technologien, Bremerhaven

²⁰ Novartis, Animal Health, München

²¹ Hochschule Emden/Leer, Emden

²² Technische Universität München c/o Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, IGSSE, Lehrstuhl für Methodik der Fernerkundung, München

²³ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) , Institut für Methodik der Fernerkundung, Experimentelle Verfahren, Oberpfaffenhofen

E-mail des verantwortlichen Autors: jan.schulz@uni-oldenburg.de

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	7
Verwendete Abkürzungen	8
1. Hintergrund	10
1.1. Arbeitskreis „Messsysteme Zooplankton/Fisch/Wassersäule“	10
2. Marine optische Technologien in Deutschland	12
2.1. Plattformen und Trägersysteme	12
2.1.1. Autonome Systeme	12
2.1.2. FerryBoxen und autonome Durchflusssysteme	12
2.1.3. Kabelgebundene Systeme	13
2.1.4. Langzeitstationen und Moorings	15
2.1.5. Luftgestützte Fernerkundung	18
2.1.6. Profilierende Systeme	19
2.1.7. Satelliten-Fernerkundung	19
2.1.8. Schiffe und feste Plattformen	20
2.1.9. Taucher	20
2.2. Fokusparameter	21
2.2.1. AOP & IOP	21
2.2.2. Benthosbesiedlung	22
2.2.3. Diatomeenanalyse	23
2.2.4. Gas und Ölaustritte	23
2.2.5. Gelöste Gase	24
2.2.6. Suspendierte Schadstoffe	26
2.2.7. Plankter und partikuläre Fracht	26
2.2.8. Wasseroberflächenmorphologie	27
2.3. Methoden	27
2.3.1. CEAS - Cavity-Enhanced-Absorptions-Spektroskopie	27
2.3.2. EEM - Emission-Excitation-Matrix Spektroskopie	28
2.3.3. Forel-Ule Skala	28
2.3.4. Holographie	28
2.3.5. IR – Infrarot Thermalsysteme	29
2.3.6. LIDAR - Light/Laser Detection And Ranging & Fluoreszenz-LIDAR	29
2.3.7. LOKI – Lightframe On-sight Keyspecies Investigation	30
2.3.8. Luftbilder	30

2.3.9.	NDIR-Absorptionsspektrometrie	31
2.3.10.	Optoden	31
2.3.11.	PSICAM – Point Source Integrating Cavity Absorption Meter	32
2.3.12.	Radiometrische Größen	32
2.3.13.	RemOS – Remote Optical System	32
2.3.14.	Satellitendaten	33
2.3.15.	Secchi-Tiefe	33
2.3.16.	Spektrophotometrische Methoden zur Messung von CO ₂ -System Parametern	34
2.3.17.	Time lapse-Analysen	34
2.3.18.	UVP – Underwater Vision Profiler	35
2.4.	Begleitende Parameter & Metadaten	35
3.	Gemeinsame Herausforderungen und Potentiale	37
4.	Nationale Projekte und Entwicklergruppen	41
4.1.	BeachCam, Kamera Observationssystem für Strandedynamik	41
4.2.	Digitale <i>in-situ</i> Holographie	42
4.3.	Erkennung von Unterwasser Lebewesen	43
4.4.	Flugzeuggestützte Hyperspektralmessungen mit Hilfe des Hypslex Sensors	44
4.5.	Georeferenziertes UW-Monitoring	45
4.6.	HISEM - High sensitive methane monitoring	47
4.7.	IRCam – Infrarot Kamerasystem zum Erfassung von „Flux Feeding“	48
4.8.	KielVision	49
4.9.	LOKI - Lightframe On-sight Keyspecies Investigation	50
4.10.	Luft-Fernerkundung der Oberflächenmorphologie von Gewässern und Küste	52
4.11.	ParCa Pro - Particle camera	53
4.12.	PCAM - Laser sheet camera	54
4.13.	Photogrammetrie und 3d Maschinensehen	55
4.14.	PSICAM – Point Source Integrating Cavity Absorption Meter	58
4.15.	PVS - Particle Video Recording System	58
4.16.	RemOs System am Unterwasserknoten Helgoland	59
4.17.	SHERPA – Shape Recognition, Processing and Analysis	61
4.18.	Unterwasser-Bildannotation	62
4.19.	Unterwasser-Bildverarbeitung/-analyse	63
4.20.	Unterwasserbildverbesserung	65
4.21.	Unterwasser-Kamerakalibrierung	66
4.22.	WASI - Water Colour Simulator	68
4.23.	Zooplankton Observatorium	69
5.	Logistik & Infrastruktur	72

5.1.	Gerätelisten nach Institutionen	72
5.1.1.	Plattformen	72
5.1.2.	Sensoren	73
5.2.	Zentral verwaltete Schiffe & Boote	75
5.3.	Dezentrale koordinierte Schiffe & Boote	75
5.3.1.	Klaashahn	75
5.3.2.	Mya I / Mya II	75
5.3.3.	Otzum	76
5.3.4.	Seabull	76
6.	Erstes bundesweites Treffen ‚Aquatiscche optische Technologien‘	77
6.1.	Zielsetzung	77
6.2.	Ort und Zeit	77
6.3.	Teilnehmer	77
6.4.	Vorstellung der einzelnen Arbeitsgruppen & Schwerpunkte der Teilnehmer	78
7.	Runde Tische ‚Aquatiscche optische Technologien‘	80
7.1.	Runder Tisch ‚Spektrale Verfahren‘	80
7.2.	Runder Tisch ‚Bildauswertung und Computer Vision‘	80
8.	Referenzen	82

Kurzfassung

Optische Technologien und Verfahren sind sowohl in der limnischen als auch marinen Forschung Deutschlands über alle Bereiche und Skalen etabliert und entwickeln sich rasant weiter. Die Arbeitsgruppe „Aquatische Optische Technologien“ (AOT) will Forschern und Anwendern eine Plattform bieten, die Wissenstransfer fördert, der nationalen Entwicklungsgemeinschaft ein synergistisches Umfeld eröffnet und die internationale Sichtbarkeit der deutschen Aktivitäten in diesem Forschungsfeld erhöht.

Diese Zusammenfassung dokumentiert erstmalig die AOT-Verfahren und -Technologien, die von nationalen Forschungsinstitutionen eingesetzt werden. Wir erwarten, dass die Dokumentation einen Trend in Richtung institutsübergreifender Harmonisierung initiiert. Dies wird die Etablierung offener Standards, eine Verbesserung im Zugang zu Dokumentationen und gegenseitige technischer Hilfestellung bei (System-) Integrationen ermöglichen. Effizienz und Leistungsfähigkeit der AOT-Entwicklung und Anwendung auf nationaler Ebene werden von diesen Bestrebungen profitieren.

Weitere Arbeitsgruppen und Entwickler werden ausdrücklich ermutigt, Kontakt aufzunehmen, um in einer späteren Auflage berücksichtigt zu werden.

Das Dokument gliedert sich in mehrere Teile:

Plattformen und Trägersysteme zeigt, wie optische Sensoren häufig eingesetzt werden, aus welchen Medien heraus und mit welcher Hintergrund-Technologie.

Fokusparameter beschreibt die Größen, die mit Hilfe optischer Verfahren gemessen werden und zeigt, inwiefern diese Größen eine gesellschaftspolitische Dimension besitzen.

Methoden stellt die einzelnen optischen Sensoren und die zu Grunde liegenden physikalischen Verfahren vor.

Gemeinsamkeiten beschreibt die nationale Schnittmenge an AOT-Themen, -Verfahren und – Anwendungen.

Nationale Entwicklungen listet eine Vielzahl von Projekten und Entwicklergruppen auf, die optische Hoch-Technologie für den limnischen und marinen Einsatz entwickeln.

Aufgrund dieser Gliederung lassen sich im Text inhaltliche Wiederholungen nicht vermeiden, da z.B. bei der Darstellung der Parameter die verwendeten Methoden und deren Einsatz auf Geräteträgern angesprochen werden. Bei einer Aufzählung von Untersuchungsmethoden gilt dies entsprechend umgekehrt. Wir haben aus Gründen der Lesbarkeit und Eigenständigkeit der einzelnen Abschnitte diese Wiederholungen bewusst in Kauf genommen und ggf. Querverweise eingefügt.

Abstract

Optic technologies and methods/procedures are established across all areas and scales in limnic and marine research in Germany and develop further continuously. The working group “Aquatic Optic Technologies” (AOT) constitutes a common platform for knowledge transfer among scientists and users, provides a synergistic environment for the national developer community and will enhance the international visibility of the German activities in this field.

This document summarizes the AOT-procedures and -techniques applied by national research institutions. We expect to initiate a trend towards harmonization across institutes. This will facilitate the establishment of open standards, provide better access to documentation, and render technical assistance for systems integration.

The document consists of the parts:

Platforms and carrier systems outlines the main application areas and the used technologies.

Focus parameters specifies the parameters measured by means of optical methods/techniques and indicates to which extent these parameters have a socio-political dimension.

Methods presents the individual optical sensors and their underlying physical methods.

Similarities denominates the common space of AOT-techniques and applications.

National developments lists projects and developer groups in Germany designing optical high-technologies for limnic and marine scientific purposes.

Verwendete Abkürzungen

2d-DCT	Zweidimensionale Cosinustransformation
2d-FFT	Zweidimensionale Fouriertransformation
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AOP	Apparent Optical Properties
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
AUV	Autonomous Underwater Vehicles
AWI	Alfred-Wegener-Institut
BIAS	Bremer Institut für angewandte Strahltechnik
CDOM	Colored dissolved organic matter
CEAS	Cavity Enhanced Absorption Spectroscopy
COSYNA	Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas
CRDS	Cavity Ring Down Spectroscopy
CTD	Conductivity Temperature Depth
CVAUI	Computer Vision for Analysis of Underwater Imagery
CVPR	Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
DIAS	Discol Image Annotation System
DVL	Doppler Velocity Log
EEM	Emission Excitation Matrix Spectroscopy
GODESS	Gotland Deep Environmental Sampling Station
HZG	Helmholtz-Zentrum Geesthacht
ICBM	Institut für Chemie und Biologie des Meeres
ICOS	Integrated Cavity Output Spectroscopy
IHF	Institut für Hydrobiologie und Fischerei
IHF-HH	Institut für Hydrobiologie und Fischerei-wissenschaft an der Universität Hamburg
IOP	inherent optical property
IOW	Institut für Ostseeforschung Warnemünde
IRCam	Infrarot Kamerasystem
ISPA	Image and Signal Processing and Analysis
LBL	Long Baseline
LIDAR	Light/Laser Detection And Ranging & Fluoreszenz
LOKI	Lightframe On-sight Keyspecies Investigation
MAMAS	Informationssystem
MKW	Mineralölkohlenwasserstoff
MLWS	Mean Low Water Spring
MOKI	Verankertes LOKI System (Moored On-sight Keyspecies Investigation)
MTF	Modular Transfer-Funktion
NDIR	Non Dispersive Infrared
OA-ICOS	off-axis integrated cavity Output spectroscopy
OFOS	Ocean Floor Observation System
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PAM	Pulse-Amplitude-Modulation
PAR	Photosynthetic Active Radiation

ParCa Pro	Particle camera
PCAM	Laser sheet camera
PIP	Profiling Instrumentation Platform
PSICAM	Point Source Integrating Cavity Absorption Meter
PVS	Particle Video Recording System
RemOS	Remote Optical System
ROV	Remotely Operated Vehicles
SeaPump	Seasonal and regional food web interactions with the biological pump
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDL	Tuneable Diode Laser
TI-OF	Thünen-Institut für Ostseefischerei
TI-SF	Thünen-Institut für Seefischerei
TMG	Reisemotorsegler
USBL	Ultra Short Baseline
UVP	Underwater Vision Profiler
VPR	Video Plankton Recorder
WASI	Water Colour Simulator

1. Hintergrund

1.1. Arbeitskreis „Messsysteme Zooplankton/Fisch/Wassersäule“

Der Arbeitskreis (AK) ‚Messsysteme Zooplankton/Fisch/Wassersäule‘ hat sich auf Initiative von Prof. Dr. Ulrich Bathmann (Institut für Ostseeforschung, Warnemünde) und Dr. Sören Krägefsky (Alfred Wegener Institut, Bremerhaven) konstituiert. Dem Arbeitskreis gehören Wissenschaftler und Techniker großer deutscher Meeresforschungsinstitute an.

Neben der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen und deren Optimierung soll das Gebiet der aquatischen Technologien auf nationaler Ebene gestärkt und weiter ausgebaut werden. In den letzten Jahrzehnten ist ein Trend zu beobachten, dass sich viele Zweige der Technologieentwicklung außerhalb Deutschlands gefestigt und in einzelnen Fällen monopolisiert haben. Hierdurch ist eine Vielzahl von Abhängigkeiten entstanden. Als Beispiel seien an dieser Stelle spezialisierte Mess-Sonden ohne offenliegende Kommunikationsprotokolle, die oftmals nur mit der Herstellersoftware zu betreiben sind, zu nennen. Diese für Drittentwickler geschlossenen Systeme erschweren eine Integration in Multi-Sensornetzwerke oder multifunktionale Trägerplattformen. Eine mögliche Lösung dieses Problems könnte darin bestehen, dass neue Ansätze und Ideen in diesem AK bzw. innerhalb der neu eingerichteten Arbeitsgruppen entwickelt werden und in Kooperation mit hiesigen nationalen Einrichtungen (z.B. Hochschulen und Forschungszentren) und Firmen mittel- bis langfristig umgesetzt werden.

Ziele des Arbeitskreises

- Etablierung von offenen Standards, zugänglicher Dokumentation und gegenseitiger Hilfestellung bei (System-)Integrationen.
- Bereitstellung und Nutzung von vorhandenen Geräten und Ressourcen innerhalb des AKs für Schiffseinsätze
- Reduzierung von nutzungsfreie Zeiten von Großgeräten
- Standardisierung von Messverfahren und -Systemen auf seegehenden Expeditionen, wie auch auf sonstigen Feldkampagnen und im Labor, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.
- Nationale Technologie-, Sensor- und Algorithmenentwicklung unterstützen und forcieren.
- Verbesserung und Stärkung des Informationsaustausches und der Zusammenarbeit einzelner deutscher Institutionen.
- Sichtbarkeit von etablierten Standards und Verfahren ermöglichen und optimieren. Vermeidung von Parallelentwicklungen, Förderung der Entwicklung innovativer Systeme und damit bidirektionalem Wissens- und Technologietransfer innerhalb der Wissenschaft sowie zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

Arbeitsgruppen

Inzwischen haben sich drei Arbeitsgruppen innerhalb des Arbeitskreises etabliert:

„AG - Aquatische optische Systeme“

Sprecher: Jan Schulz (ICBM Universität Oldenburg) und Klas Ove Möller (Universität Hamburg / IHF)

„AG - Hydroakustische Messverfahren“

Sprecher: Sören Krägefsky (AWI) und Matthias Schaber (TI-SF)

„AG - Geräteträger / Messplattform“

Sprecher: Daniel Stepputtis (TI-OF) und Sören Krägefsky (AWI)

2. Marine optische Technologien in Deutschland

Im Folgenden wird ein allgemeiner Überblick und eine Standortbestimmung zum Einsatz optischer Technologien in der deutschen Meeresforschungslandschaft gegeben. Diese Liste kann weder vollständig sein, noch können alle Aspekte behandelt werden. Das Dokument stellt eine möglichst breite Grundlage über den Wissensstand an Optischen Verfahren 2015 zusammen.

2.1. Plattformen und Trägersysteme

2.1.1. Autonome Systeme

Verschiedene Institute setzen **Autonomous Underwater Vehicle (AUV)**, **Glider**, **Wave Glider** oder **Drifter** zur Probennahme ein. Auf diesen Geräten sind vielfach optische Sensoren installiert (z.B. Fluorometer, Optoden, Radiometer, Trübungsgehalt- und Rückstremesssysteme, bildgebende Systeme). Die Energielimitierung der Systeme verbietet zumeist den Einsatz von bildgebenden Systemen.

2.1.2. FerryBoxen und autonome Durchflusssysteme

Die **FerryBox ist ein autonomes Messsystem** zur Bestimmung von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern im Meerwasser. Es ist für Schiffe ohne wissenschaftliche Besatzung entwickelt worden. Auf Forschungsfahrten wird die FerryBox dazu verwendet, Rahmenparameter (Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Trübung, Chlorophyll-a-Fluoreszenz und CDOM Fluoreszenz) zu messen, um einen Überblick der Hydrographie im Oberflächenwasser zu erhalten. Je nach Konfiguration können mehrere andere Sensoren mit in den Kreislauf eingebunden werden. Speziell im Bereich der marinen CO₂-Forschung kommen ähnliche autonome Durchflusssysteme für den Messparameter pCO₂ zum Einsatz, in deren Peripherie ebenfalls optische Technologien für die oben genannten Rahmenparameter betrieben werden. Seit 2003 betreibt das IOW eine pCO₂ Messeinrichtung auf dem VOS Finnmaid¹, das zweimal wöchentlich zwischen Helsinki und Travemünde verkehrt (SCHNEIDER et al. 2005). Derzeit wird im Rahmen des PINBAL² Projektes ein spektrophotometrisches pH-Messgerät entwickelt, das zukünftig auf der Finnmaid zum Einsatz kommen und zur umfassenderen Charakterisierung des marinen CO₂-Systems der Ostsee beitragen soll. Neben dem Schiffsbetrieb werden FerryBox-Systeme auch an landgestützten Meeresmessstationen eingesetzt. Darüber hinaus werden FerryBoxen mit

¹ <http://www.io-warnemuende.de/Finnmaid.html>

² <http://www.io-warnemuende.de/pinbal-home.html>

diversen optischen Sensoren im COSYNA³ (Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas) Meßnetz der HZG eingesetzt.

2.1.3. Kabelgebundene Systeme

Unter den kabelgebundenen Systemen besitzen **passiv geschleppte Geräteträger** eine hohe Bedeutung. Die Sensor-Ausstattung variiert je nach wissenschaftlicher Fragestellung (hydrographische vs. biologische Parameter und diese wiederum je nach trophischer Ebene und Organismen/Partikel Größe). Viele Geräteträger sind kommerziell zu beziehen und werden entsprechend Kundenwunsch mit zusätzlichen Optionen ausgestattet. Die Spanne genutzter Geräteträger reicht von einfachen Systemen ohne Steuermöglichkeiten bis hin zu autonom in der Wassersäule agierenden Fahrzeugen:

- **Einfache Schleppfische** aus Stahl, die am Draht geschleppt werden. Die Arbeitstiefe wird über die Drahtlänge, teils zusammen mit Scherfuss, vorgegeben. Diese Rahmen werden meist in den Werkstätten der jeweiligen Institute gebaut. **Energieversorgung** kann über den Einleiter sichergestellt werden. In einzelnen Fällen wird über spezielle Modems ein **Datensignal** auf die Spannungsversorgung aufmoduliert. Hierdurch kann eine transparente TCP/IP Verbindung bis zur Unterwassereinheit aufgebaut werden. Die Datenverbindung kann in optimalen Szenarien eine Durchsatzrate von bis zu 100MBit erreichen, die über mehrere Kilometer Kupfer-Koaxial Kabel auf der Winde übertragen werden kann.
- Geschleppte **Oberflächenfahrzeuge** werden vielfach eingesetzt, um oberflächennah Parameter zu messen. Um die Parameter unbeeinflusst durch das vorausfahrende Schiff zu erhalten, müssen die geschleppten Fahrzeuge versetzt gefahren werden, um aus dem Bereich des Schraubenwassers heraus zu kommen. Durch ihre verhältnismäßig gute Stabilität werden hierzu an vielen Standorten Katamarane eingesetzt. Je nach Ausführung wird die **Energieversorgung** an Bord untergebracht oder über den Schleppdraht gewährleistet.
- **Benthoschlitten** sinken bis auf den Grund und werden durch den Draht gezogen. Ähnlich wie bei vorher aufgeführten Systemen existieren mit spezialisierten Winden kaum Einschränkungen bezüglich **Energie und Datenvolumen**. Zur benthischen Abundanz- und Diversitätserfassung eignen sich bildgebende Verfahren. Andernfalls gilt das gleiche wie für die vorher genannten Systeme. Neben den Benthoschlitten werden auch ROVs und AUVs im benthischen Bereich eingesetzt.

In den vergangenen Jahren haben sich zudem **aktive, geschleppte Geräteträger** etabliert, die bei entsprechender Anströmung/Schleppgeschwindigkeit ihre Position in der Wassersäule nach Vorgabe verändern können:

³ http://www.hzg.de/institutes_platforms/cosyna/index.php.de

- Beim **Scanfish** (MacArtney, Dänemark) handelt es sich um eine Geräteträgerplattform, die selbsttätig in der Wassersäule undulieren kann. Eine Software auf einem bordseitigen Rechner kontrolliert die aktuellen Tiefe und/oder Abstand zum Grund und **steuert den Scanfish in nutzervorgegebenen Intervallen** mit ausreichend Sicherheitsabstand zur Meeresoberfläche und zum Grund. Entsprechend den ROVs wird auch hier eine erhöhte Anforderung an die Kommunikation gestellt.
- Das **Triaxus-System** (MacArtney, Dänemark) ist eine geschleppte Geräteträgerplattform, die derzeit einen der höchsten Entwicklungsstände aufweist. Das Triaxus-System ist modular aufgebaut hat Steuerflächen und unabhängig ansteuerbare Propeller und wird von einer autonomen Software in den Grundzuständen kontrolliert. Ursprünglich für die Offshore Industrie zur Inspektion von Pipelines, Kabeln oder Installationen entwickelt, kann der Triaxus horizontal und vertikal im Wasser versetzt gefahren werden. Neben der rein vertikalen Komponente wie beim Scanfish kann das Triaxus-System sein „**Flugverhalten**“ **in Abhängigkeit von Nutzervorgaben** auch horizontal steuern. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass das System außerhalb des Schraubenwassers arbeitet und bei entsprechender Drahtführung auch Einsätze unter dem Eisrand möglich werden.
- Eine **aktiv gesteuerte Geräteplattform** der Firma SubAtlantic (Aberdeen, GB) wurde zur Beobachtung von Schleppnetzen entwickelt. Die Steuerung erfolgt dabei – im Gegensatz zu den beiden oben genannten Geräten - nicht über steuerbare Flügel, sondern durch aktiv betriebene Flettner-Rotoren. Damit lässt sich das Gerät ähnlich dem Triaxus (s.o.) sowohl vertikal als auch horizontal steuern. Entsprechend ist es möglich, um das Schleppnetz „herumzufliegen“.

Den geschleppten Systemen stehen die **ferngesteuerten Geräteträger** gegenüber. Diese werden von einem Operator gesteuert und können bei stehendem Schiff oder im Einsatz von einer Station aus Ziele innerhalb des Aktionsradius erreichen. Neben der Kabellänge gibt die Motorisierung eine Einsatzbegrenzung gegenüber der Strömung vor. Für entsprechende Einsätze unter rauen Bedingungen existieren Seegangs-Kompensationen, die es den Geräteträgern ermöglicht Tiefen entsprechend zu halten:

- **Remotely Operated Vehicles** (ROV) verschiedener Hersteller ermöglichen unter Wasser die gezielte Ansteuerung und Untersuchung interessanter Bereiche. Neben der grundlegenden **sensorischen Ausstattung** trägt die Mehrzahl der ROVs Kamertechnik, die dem Operator an der Oberfläche einen guten Eindruck der Situation vor Ort gibt.

Sowohl die **aktiven, geschleppten Geräteträger wie auch die ferngesteuerten stellen** eine deutlich **höhere Anforderung an die Kommunikation** mit der steuernden Station/Schiff, als über viele Winden und vorhandene Einleiterdrähte auf deutschen Forschungsschiffen derzeit möglich ist. Auf der Mehrheit der bundesdeutschen Forschungsschiffe ist noch keine Lichtwellenleiterübertragung standardmäßig vorhanden (dies wird sich im Rahmen der

Erneuerung der deutschen Forschungsflotte perspektivisch ändern). Hierzu werden **Spezialwinden** benötigt, die für die jeweilige Expedition an Bord installiert werden.

Neben AUV und ROV werden auch **geschleppte Oberflächenfahrzeuge** eingesetzt, die mit umfangreicher Messsensorik und teils autarker Energieversorgung ausgestattet sind. Viele Institute verfügen z.B. über **Katamarane** für entsprechende Einsätze.

Ein neuartiges Telemetriesystem, das auf der DSL-Technik basiert, wurde erfolgreich an verschiedenen kabelgebundenen Systemen mit online Video-Überwachung, hoher Datenübertragung und Energieversorgung via Standard Koaxialdrähten bis 8000 m Länge eingesetzt (LINKE et al., 2015). Das System wurde zur Untersuchung und Beprobung der extrem salinen und heißen Tiefenfluiden im Roten Meer und zur Detektion von Gasfreisetzungen an verlassenen Bohrlöchern in der Nordsee angewendet. Bei beiden Anwendungen wurde das Telemetriesystem in einem **Kranzwasserschöpfer mit CTD** integriert. Dies ermöglicht sowohl online Video-Übertragung und interne Speicherung von kommerziellen HD- und Analog-Kameras als auch eine simultane Datenübertragung von einer Vielzahl von Sensoren, um die Verteilung und Beprobung von gelösten Gasen (z.B. CO₂, CH₄, PAH) zusammen mit den ozeanografischen Parametern zu erfassen. Diese Kombination macht dieses System zu einem idealen Vermessungs- und Überwachungsinstrument auch unter extremen submarinen Umweltbedingungen. Das Telemetriesystem wurde ebenfalls zum video-geführten Absetzen von verschiedenen Lander-Systemen mit einer kabelgebundenen Absetzvorrichtung eingesetzt und ermöglicht damit ein gezieltes und sanftes Absetzen der Lander am Meeresboden (LINKE et al. 2015).

2.1.4. Langzeitstationen und Moorings

Eine Vielzahl von optischen Sensoren ist auf Verankerungen (Moorings) installiert. Da das Ausbringen entsprechender Verankerungen meist eine **Energielimitierung** mit sich bringt, dominieren hier einfache Sensoren, deren Energieverbrauch gering ist. **Bildgebende Verfahren können** auf Grund des höheren Energiebedarfs und der vergleichsweise hohen Datenmenge **nicht überall betrieben werden**. Wenn, dann sind sie eher auf kurzzeitig ausgebrachten Moorings zu finden, oder dann, wenn eine entsprechende Energieversorgung sichergestellt werden kann. Diese wird dann oft aus der in der Nähe erreichbaren Infrastruktur (z.B. Messpfählen mit Energieversorgung, Plattformen, Landanbindung) gespeist. Je nach Position ist damit die Einsatzbreite begrenzt. Teilweise sind auf Moorings auch **profilierende Systeme** installiert. Die Technologien reichen dabei von mechanisch installierten Schienensystemen bis hin zu Bojensystemen mit positivem Auftrieb, die mittels Winden auf Tiefe gebracht werden.

Das Projekt GODESS wird seit 2009 vom IOW betrieben und ist seit 2010 im Einsatz. **Die profilierende Verankerung im Gotlandbecken GODESS** (Gotland Deep Environmental Sampling Station) nimmt mit einer profilierenden Plattform, die die Messinstrumente

enthält, zu vorher programmierten Zeiten (oder Zeitintervallen) Profile durch die Wassersäule auf. Während eines Einsatzes der Verankerung (typischerweise 3 bis 6 Monate) werden so wiederholt Vertikalprofile der gemessenen Parameter gewonnen, so dass Informationen über die Dynamik und die Änderungen dieser Parameter erfasst werden. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Redoxkline im Gotlandbecken, zwischen den sauerstoffreichen Oberflächen- und den anoxischen Tiefenschichten. GODESS besteht aus einem Grundgewicht, das die Station auf Position hält, einem akustischen Auslöser mit aufgerollter Bergungsleine, einer Unterwasserwinde und der profilierenden Plattform mit den Messinstrumenten. Die **profilierende Plattform (PIP, profiling instrumentation platform)** wurde am IOW entworfen. Sie basiert auf einem Titanrahmen für die CTDs, der modifiziert und mit Auftriebsplatten aus syntaktischem Schaum versehen wurde. Die Instrumentierung besteht derzeit aus einer Sea & Sun Technology CTD 90 M mit folgenden Sensoren für CT (Sea & Sun), p (Keller, 50 bar, 5 MPa), Trübung (Seapoint), Chl a Fluoreszenz (Turner Designs, Cyclops 7), Oxidations-Reduktions-Potenzial (AMT) und pH (AMT). Zusätzlich ist eine Sauerstoff-Optode (JFE Advantech Co. Ltd., Japan), installiert, die mit der CTD verbunden ist. Eine neue profilierende Plattform, PIP2, wird derzeit gebaut und bietet Platz für zusätzliche Instrumente sowie einen zentralen Datenlogger mit Stromversorgung⁴.

Das **Projekt MarGate** wurde 2010 vom AWI initiiert, mit dem Ziel ein **experimentelles *in-situ* Untersuchungsgebiet** in einem sonst sehr unzugänglichen, da von **starken Strömungen und oftmals schlechten Wetterbedingungen** gekennzeichneten, Gebiet zu installieren⁵. Das Untersuchungsgebiet MarGate ist 270 x 60 m groß und liegt 400 m nördlich der Insel Helgoland. Ziel ist, eine Plattform zu bieten, um Ökosystemprozesse in Hochenergiegebieten flacher Schelfmeere zu untersuchen und um moderne Sensoren unter extremen Bedingungen zu testen. Das Unterwasserexperimentalfeld **wird als Versuchsanlage kontinuierlich weiterentwickelt**. Das Gebiet besteht aus 3 Tetrapoden-Feldern (vierfüßigen Beton-Wellenbrecher) in je 5 und 10 m Wassertiefe (MLWS), die ihrerseits Untersuchungsobjekte darstellen, um die Auswirkungen komplexer Strukturen auf die Fisch- und Makrozoobenthos-Gemeinschaft der Nordsee zu studieren (WEHKAMP & FISCHER 2013a; WEHKAMP & FISCHER 2013b; WEHKAMP & FISCHER 2013c).

Seit Sommer 2012 ist **im MarGate Unterwasserexperimentalfeld das erste deutsche COSYNA (Küstenbeobachtungssysteme für nördliche und arktische Meere⁶) Unterwasser-Knoten-System** installiert. Dieses System bietet unter Wasser Zugang zu Strom- und Datenverbindung (Gbit Ethernet) und dient als „Datensteckdose“ für alle gängigen Unterwassersensoren (CTD, ADCP, MOKI, RemOs1 etc.). Das System ist mit einer Glasfaserverbindung mit einem landseitigen Server verbunden und bietet damit die Möglichkeit auf installierte Sensorik online zugreifen zu können. Seit 2012 werden mit diesem System kontinuierlich die wichtigsten abiotischen und biotischen Variablen

⁴ http://www.io-warnemuende.de/Profilierende_Verankerung.html/

⁵ http://www.awi.de/en/research/research_divisions/biosciences/shelf_sea_ecology/physiology_and_community_ecology/in_situ_ecology_scientific_diving_fischer_group/infrastructure/margate_an_underwater_experimental_field/

⁶ www.cosyna.de

(Temperatur, Salzgehalt, Tiefe, Gezeiten, Trübung, Sauerstoff, Chl-a Fluoreszenz, 3D-Strom) in Echtzeit (1 Hz) gemessen sowie spezifische Projekte zur raum-zeitlichen Dynamik der Fisch- und Makrozoobenthos-Gemeinschaft durchgeführt (siehe System RemOs). Neue Projekte an der Knoten-Infrastruktur konzentrieren sich auf online-Zooplankton-Überwachung und die Optimierung von Fischobservatorien.

Das System des COSYNA Unterwasserknotens wird vom HZG in enger Zusammenarbeit mit dem AWI betrieben. Das AWI-Zentrum für Wissenschaftliches Tauchen auf der Insel Helgoland bietet dazu ganzjährig den Zugang. Das Versuchsfeld MarGate und seine technologische Komponenten sind speziell für die nationale und internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Küstenforschung konzipiert und bietet Wissenschaftlern national und international eine logistische Forschungsinfrastruktur. Seit 2012 betreibt das AWI zusammen mit dem HZG ganzjährig ein Schwestersystem des Helgoland Unterwasserknoten in Spitzbergen (Arktis) in der Nähe von NyAlesund^{7,8}.

Um ein besseres Verständnis des Ökosystems Wattenmeer zu erlangen wird seit Herbst 2002 vom ICBM eine Dauermessstation im Seegatt zwischen den Ostfriesischen Inseln Langeoog und Spiekeroog betrieben. Die Messstation ist mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet, die in unterschiedlichen Tiefen kontinuierlich Daten liefern. Geochemiker, Sedimentologen, Meeresphysiker, Mikrobiologen und mathematische Modellierer nutzen diese Plattform für die Wattenmeerforschung. Die fachübergreifende Zusammenarbeit wurde im Winter 2012 mit dem ersten Norddeutschen Wissenschaftspreis ausgezeichnet. Die Messstation dient neben ihrer Schlüsselfunktion der aktuellen Nordseeforschung auch der Ausbildung von Studierenden.

Die **Zeitserienstation Boknis Eck**⁹ liegt am nordöstlichen Ausgang der Eckernförder Buch (SW Ostsee) und wird vom GEOMAR betrieben. Monatliche Messungen in sechs Standardtiefen (von 1 bis 25 m) von physikalischen (CTD), chemischen (gelöste Nährstoffe und Sauerstoff) und biologischen (Chlorophyll) Parametern werden seit 1957 durchgeführt. Damit gehört Boknis Eck -neben Helgoland Reede- zu den längsten regelmäßig beprobte Zeitserien in deutschen Küstengewässern. Zu den monatlichen Langzeitmessungen an Boknis Eck gehört auch die Bestimmung der Secchi-Sichttiefe, die seit 1986 durchgeführt werden. Zusätzlich zu den Kernparametern werden eine Vielzahl weiterer Messungen (z.B. Spurengase, molekular-biologische Untersuchungen, chem. Zusammensetzung der Oberflächengrenzschicht, Stoffflüsse im Sediment u.a.) durchgeführt, die von verschiedenen laufenden Projekten zugeordnet werden können.

In Zusammenarbeit mit dem COSYNA Projekt wurde 2014/15 ein Unterwasserknoten für Boknis Eck konzipiert und gebaut, der im Laufe des Jahres 2015 in unmittelbarer Nähe zu dem Ort der Messungen der Langzeitstation installiert werden soll. Der Unterwasserknoten

⁷ http://www.hzg.de/institutes_platforms/cosyna/observations/underwater_node/index.php.de

⁸ http://www.awi.de/en/research/research_divisions/biosciences/shelf_sea_ecology/physiology_and_community_ecology/in_situ_ecology_scientific_diving_fischer_group/infrastructure/cosyna_underwater_nodes/

⁹ <http://www.bokniseck.de>

von Boknis Eck ist vom technischen Aufbau und Auslegung weitgehend identisch mit dem Knoten bei Helgoland (siehe MarGate). Die Sensor-Grundausrüstung des Unterwasserknoten Boknis Eck umfasst CTD (inkl. Aanderaa O₂-Optode: MicroCAT SBE37-SMB-ODO), ADCP, eine weitere O₂-Optode (Aanderaa Optode 4330), CO₂-Sensor (Hydro C-CO₂, CONTROS) und CH₄-Sensor (Hydro C-Plus-CH₄, CONTROS). Der Unterwasserknoten wird nach der Auslegung vom GEOMAR betrieben und wird die Möglichkeit bieten, noch zusätzliche Sensoren, Kameras etc. zu installieren. Wie der Helgoländer Knoten ist der Knoten Boknis Eck für nationale und internationale Kooperationen konzipiert und bietet eine entsprechende Forschungsinfrastruktur.

Des Weiteren werden am Meeresgrund abgesetzte und autonom arbeitende Langzeitbeobachtungsstationen (sog. **Lander**) als Trägerplattformen für optische Sensoren und Kamerasysteme verwendet. Im Rahmen des MoLab-Projektes wurden modulare Landersysteme z. B. für ca. 100 Tage an einem Kaltwasserkorallenriff im Stjærnsund (Norwegen) verankert. Die Lander waren neben der Standard CTD-Sensorik mit pH- und Fluoreszenzsensoren sowie ADCPs ausgestattet, um die Umweltbedingungen und Steuerparameter für die Ansiedlung und die Entwicklung dieser speziellen Ökosysteme besser verstehen zu können. Der zentrale Lander trug, neben einer Sinkstofffalle, ein Kamerasystem, dessen Bilder in komprimierter Form über ein akustisches Modem an die Oberfläche übertragen wurden. Ebenso waren 2 ozeanografische Verankerungen mit einer ähnlichen Sensorik über akustische Modems in die Langzeitbeobachtungsstation eingebunden. Weiterhin werden Lander auch für *in-situ* Gasmessungen (O₂, CO₂, CH₄) und für Bestimmungen benthischer Abbau- und Sediment/Meerwasser Austausch-Prozesse eingesetzt (z.B. SCHMIDT et al. 2013).

2.1.5. Luftgestützte Fernerkundung

Aquatische optische Fernerkundung wird auch von **Flugzeugen, Helikoptern und kleinen Flugdrohnen** aus betrieben. Auch hier kommen hyperspektrale und bildgebende Verfahren, aber auch LIDAR-Systeme zum Einsatz. Verfügbarkeit und Nutzerkreis sind meist geringer, und der Zugang zu den Daten ist dadurch eingeschränkt. Je nach Fragestellung definieren sich die Aufnahmehöhe und damit der Ausschnitt und die resultierende Auflösung.

Stand der Technik im Bereich zivil verfügbarer Flugdrohnen sind **Multikopter**, die Nutzlasten von wenigen Kilogramm Masse über Flugzeiten von üblicherweise deutlich unterhalb einer Stunde bewegen können. Damit sind diese Geräte für die kleinräumige luftgestützte Fernerkundung mit einfacher Sensorik geeignet. Der Flugbetrieb unterliegt jedoch rechtlichen Einschränkungen. So dürfen Flugdrohnen nur innerhalb der Sichtweite des Piloten bewegt werden und unterliegen einer Flughöhenbeschränkung. Weitere Einschränkungen des Flugbetriebs resultieren insbesondere im Küstenbereich aus der Windempfindlichkeit der Fluggeräte.

Für die Fernerkundung aus **manntragenden Flugzeugen** ist im wissenschaftlichen Bereich die Flugzeugklasse der Reisemotorsegler (TMG) besonders interessant. Diese Flugzeugklasse vereint kostengünstigen und flexiblen Flugbetrieb mit Nutzlasten von ca. 100 kg, Flugzeiten von mehreren Stunden und Reichweiten im Bereich von 1000 km.

Die Jade Hochschule in Wilhelmshaven betreibt zurzeit eine Beschaffung von sowohl einer Drohne für kleinräumige Fernerkundung sowie eines Reisemotorseglers zur kostengünstigen großräumigen Fernerkundung. Durch die Verfügbarkeit eines Flugzeugs an der Hochschule kann bei Messkampagnen flexibel reagiert werden.

2.1.6. Profilierende Systeme

Die **Datenerhebung in der Wassersäule** zeigt naturgemäß die höchste Diversität an Plattformen. Die Ausstattung einer klassischen **CTD-Rosette mit optischen Sensoren** ist weit verbreitet. Die Sensoren sind dabei meist in das Gesamtsystem eingebunden und der Operator kann, wenn die Ausstattung dies zulässt, über den Einleiter die Messwerte in Echtzeit verfolgen. Entsprechende Geräte werden normalerweise über Seilwinden zur profilierenden Aufnahme von diversen Parametern auf Tiefe gebracht.

- CTD-Sonden/Rosetten als Trägersysteme.
- Gerätespezifische Trägerplattformen.
- Auf Langzeitstationen können auch feste Schienen und Führungssysteme installiert sein.
- Frei driftende profilierende Floats wurden bereits unter „Autonome Systeme“ aufgeführt.
- Verankerte profilierende Systeme wurden bereits unter „Langzeitstationen und Moorings“ erwähnt.
- Neuere Entwicklungen beinhalten CTD-Systeme, die über einen Pumpmechanismus aus definierten Tiefenschichten Wasser in die Laboratorien pumpen, während die Sonde profilierend arbeitet. Hochgenaue vertikale Auflösungen von Salz-, Nährsalz-, Sauerstoff-, und Organismenschichtungen (z.B. Bakterien) lassen sich Dezimetergenau auflösen. Die Geräte sind erfolgreich in Ostsee und Schwarzen Meer eingesetzt worden (IOW).

2.1.7. Satelliten-Fernerkundung

Ein Bereich ist die **Datenerhebung an der Gewässeroberfläche aus der Luft bzw. dem Weltraum**. Diese Verfahren liefern Daten über die obersten Schichten, können aber nur in Ausnahmefällen mehr als einige Dezimeter tief in Gewässer hineinsehen. Bei der **satellitengestützten Datenaufnahme** werden spektrale, hyperspektrale und bildgebende Verfahren (UV-VIS-IR) genutzt. Satelliten ermöglichen großflächige und langzeitige Daten-

Aufnahmen. Diese Verfahren sind gut etabliert, werden mit hohem Aufwand gepflegt und primäre Verarbeitungsstellen sind zentralisiert. Die **Farbe des Meeres („Ocean Colour“)** und **damit Informationen über die Wasserinhaltsstoffe** können von optischen Sensoren auf Satelliten und luftgestützten Plattformen gewonnen werden. Deutschland ist über die Europäische Weltraumagentur ESA und das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum DLR an verschiedenen Satellitenmissionen beteiligt. Beispiele hierfür sind der mittlerweile nicht mehr operationelle ENVISAT mit den Sensoren MERIS und SCIAMACHY, sowie zukünftig Sentinel-3/OLCI, Sentinel-5-P TROPOMI oder die deutsche EnMAP-Mission. **Insbesondere von MERIS sind durch das ESA Projekt CoastColour zahlreiche Produkte für Küstenzonen verfügbar¹⁰.** Die polare (und sonnensynchrone) Umlaufbahn der meisten Satelliten beschränkt aber oftmals die Erfassung von Variationen im Tagesverlauf.

2.1.8. Schiffe und feste Plattformen

Neben den **mittleren und großen deutschen Forschungsschiffen** kommen im küstennahen Einsatz eine Vielzahl von **institutseigenen Booten und Kuttern** zum Einsatz (siehe Abschnitt Logistik & Infrastruktur/Schiffe & Boote). Während die bei den großen und mittleren Schiffen die Beantragungszeiträume über die Steuerungsgruppen mehrere Jahre Vorausplanung erfordern, unterliegen die kleinen Schiffe meist der Institutsverwaltung. Hierdurch kann flexibel reagiert werden und es können kurzfristige Einsätze realisiert werden. **Die Flotte kleiner Boote und Kutter ermöglicht zudem das Erreichen von Teilen der deutschen Küstengewässer, die von den großen Schiffen nicht angesteuert werden können.** Dies wären zum Beispiel Küstenabschnitte mit weniger als 10 m Wassertiefe, die Seegatten zwischen den Inseln, die Übergangszone zum Strand, etc.

2.1.9. Taucher

Wissenschaftliche Taucheinsätze werden in Deutschland durch geprüfte Forschungstaucher durchgeführt. Forschungstaucher sind in der Regel selbst Wissenschaftler/innen verschiedenster Fachrichtungen, die durch ihre taucherische und wissenschaftliche Ausbildung (z.B. AWI-Helgoland, Univ. Kiel, Univ. Rostock) in der Lage sind wissenschaftliche Fragestellungen direkt unter Wasser zu bearbeiten. **Die Arbeitsmethoden umfassen die Installation und Wartung von Versuchseinrichtungen, biologische, chemische, physikalische und geologische Probennahmen, sowie Vermessungen und Dokumentationen vielfältigster Art.** Der Taucher ‚vor Ort‘ ermöglicht eine direkte und selektive visuelle Dokumentation, die durch weitere optische Techniken unterstützt werden kann. So wurde die UW-Fotographie und Videographie in den letzten Jahren intensiv weiterentwickelt. Auch für spezielle Anwendungen wie (PAM-) Fluorometrie wurden UW-taugliche Geräte entwickelt,

¹⁰ <http://www.coastcolour.org/>

die von Tauchern eingesetzt werden können. Deren Einsatz erfordert **Kompetenzen, die von Forschungstauchern erbracht werden können und sie von Berufstauchern abgrenzen.**

2.2. Fokusparameter

2.2.1. AOP & IOP

Anhand von passiven Systemen, z. B. Radiometern, kann die Gesamtstrahlung über den optischen Bereich (PAR) oder hochaufgelöst für jede Wellenlänge entweder als Strahlungsflussdichte (Irradianz) oder als Strahldichte (Radianz) gemessen werden. Aus diesen Messungen kann dann die diffuse Abschwächung (Attenuation) des Lichts oder die Reflektanz abgeleitet werden, die als **scheinbare-apparente-optische Eigenschaften (AOP)** bezeichnet werden. AOP beinhalten sowohl die IOP als auch die Umweltbedingungen des Unterwasserlichtfeldes (für die Beobachtungsgeometrie und die Bewegung des Wassers, aufgrund von Strömungen oder Winden, entscheidend sind). AOP Messungen sind durch die Bildung von Verhältnissen und Gradienten relativ unempfindlich für Degradation der Sensorik, bedürfen aber guter Modelle um daraus Quantitäten von Wasserinhaltsstoffen abzuleiten.

Anhand von aktiven optischen Messsystemen wie Fluorimetern, Transmissiometern und Rückstremmessgeräten können die **inherenten optischen Eigenschaften (IOP)** gemessen werden, die Auskunft über die **Attenuation, Absorption und (Rück-) Streuung des Lichtes** geben. Je nachdem wie die Messungen durchgeführt werden (direkt im Wasser oder an der gesamten Wasserprobe oder nur am Filtrat oder Filter), können die Eigenschaften als Gesamteigenschaft für die optisch aktiven Wasserinhaltsstoffe und Wasser gemessen werden oder für bestimmte Wasserinhaltsstoffe (alle Partikel, nur Phytoplankton, gelöste optische Substanzen -> Gelbstoff oder CDOM). Die **IOP sind charakteristisch für die quantitative Zusammensetzung der Wasserinhaltsstoffe und solche Messungen bieten die Möglichkeit, diese zu quantifizieren.** Leider bedürfen sie einer andauernden Kalibration, da es absolute Messungen sind.

Die optische Erfassung **gelöster organischer Substanzen**, insbesondere von Gelbstoff und poly-aromatischen Kohlenwasserstoffen, wird durch charakteristische Substanzeigenschaften via Absorption und/oder Fluoreszenz realisiert. Die Sensitivität ist gerade in der Absorption u.a. stark von der Weglänge des Lichts abhängig. **Integrating Cavity Spektroskopie** aber auch flüssigkeitsgefüllte Lichtwellenleiter können hier Abhilfe schaffen. Eine Reihe von *in-situ* Geräten zur Erfassung ganzer Absorptionsspektren (Integrating Cavity Absorption Meter: z.B. **PSICAM**, HZG; **Oscar**, TriOS GmbH; **ICAM**, Turner Designs) bis hin zur Detektion einzelner charakteristischen Wellenlängen (u.a. **EnviroFlu HC**, TriOS GmbH; **MicroFlu CDOM**, TriOS GmbH; **Cyclops-7**, Turner Designs) stehen zur Verfügung.

2.2.2. Benthosbesiedlung

Neben im Pelagial geschleppten oder stationären Systemen werden **optische Systeme vielfach zur Untersuchung der meeresbodenassoziierten Lebensgemeinschaften** eingesetzt. Sowohl in küstennahen Gewässern, wie auch in der Tiefsee, bieten bildgebende Verfahren gegenüber konventionellen Beprobungsgeräten (wie Greifer, Dredge usw.) den Vorteil, dass sie eine nicht-invasive Erfassung und Beobachtung der benthischen Arten erlauben. Es können sowohl epibenthische und sessile Lebewesen, als auch die mobile Megafauna untersucht werden; Infauna wird allerdings nur bedingt erfasst. Neben der **generellen Identifizierung von Arten** und der Beobachtung von Verhaltensmustern kann eine **Einschätzung der Abundanz und des Bedeckungsgrads** erfolgen. Hierzu werden häufig definierte Flächen fotografiert oder entlang von Transekten gefilmt. Generell eignen sich solche bildgebenden Verfahren vorzugsweise zur flächenhaften Untersuchung von benthischen Biotopen, da sie im Gegensatz zu mechanischen Beprobungstechniken einen Gesamteindruck der Fläche mit einer hohen räumlichen Auflösung vermitteln. Besonders erfolgreich erweist sich Foto- und Videotechnik bei der Erfassung und Zustandsbeschreibung von Artgemeinschaften auf Hartsubstraten, insbesondere Riffflächen, da diese fast ausschließlich epibenthische Gemeinschaften aufweisen und durch ihre dreidimensionale Struktur für andere Geräte schwer zugänglich sind. Dabei kann **neben der Biologie oft auch eine grobe Klassifizierung des Substrats** vorgenommen werden. Häufig erlaubt das Material eine Einschätzung der Korngröße sowie eine Kartierung auffälliger geologischer Strukturen am Meeresboden (z.B. Rippelfelder, hydrothermale Quellen usw.).

Die **Auflösung des Foto- und Videomaterials ist ein entscheidender Faktor und limitiert die Einsatzmöglichkeiten**. Während die Megafauna nahezu vollständig beschrieben werden kann, kann schon das Makrozoobenthos (ab 0,5 mm) nicht mehr in Gänze erfasst werden. Die technischen Entwicklungen der letzten Jahre, insbesondere im Bereich der Videoauflösung (HD, 2K, 4K, usw.), halfen hier bestehende Defizite auszugleichen. Eine **weitere Schwierigkeit stellen die Sichtbedingungen im bodennahen Wasserkörper** dar. Insbesondere in Schelf- und Küstenmeeren ist eine Trübung **durch Primärproduktion, Sedimentation und Resuspension** ein großes Problem für die optische Erfassung der Benthosgemeinschaften. Oft muss hier sehr nah am Meeresboden operiert werden, was den Sichtbereich empfindlich einschränkt.

Gängige Geräteträger für die Foto- und Videotechnik umfassen passive, geschleppte Plattformen, ROVs, AUVs sowie Benthoschlitten und Lander, wobei letztere bodenberührend und somit invasiv arbeiten. Ausgenommen von AUVs, operieren alle Plattformen kabelgebunden und liefern ein Bild des Meeresbodens in Echtzeit. Somit kann eine grobe Kartierung bereits an Bord der Forschungsschiffe vorgenommen werden, Hindernissen kann, in Abhängigkeit des benutzten Systems, ausgewichen werden und Ziele für genauere Untersuchungen ausgewählt werden. **Während für zielgenaue Untersuchungen von bestimmten Arten oder geologischen Merkmalen ein gesteuerter Geräteträger**

unabdingbar ist, kann für die flächenhafte Erfassung und Erkundung ein deutlich kostengünstigeres passives Schleppsystem zum Einsatz kommen. Ein Vergleich der gängigen Geräteträger in Bezug auf Einsatzmöglichkeiten, Effizienz und Kosten findet sich im ICES-Bericht No. 42 (REES 2009).

2.2.3. Diatomeenanalyse

Diatomeen sind aus wissenschaftlicher Sicht eine der wichtigsten Phytoplanktongruppen, während sie sich aus praktischer Sicht durch einige spezielle Vorteile bei bildbasierten Analysen auszeichnen. So ist es z.B. möglich, aus ihren Silikatschalen für Jahrhunderte haltbare Dauerpräparate herzustellen, deren lichtmikroskopische Analysen eine Diversitätserfassung bei hoher taxonomischen Auflösung ermöglicht. Auf solche Präparate können bildgebende Methoden aus der virtuellen Pathologie/Histologie übertragen werden („Slide scanning“: die Erfassung von kompletten mikroskopischen Präparaten in überlappenden Sichtfeldern, die zu großen hochauflösenden Übersichtsbildern, sog. ‚virtuellen Slides‘ zusammengefügt werden). Die Analyse dieser Bilder bringt auch spezielle Herausforderungen mit sich (v.a. den schwachen optischen Kontrast der Silikatschalen und die Schwierigkeiten der Erfassung mancher klassischen Bestimmungsmerkmale über herkömmliche Bildanalysemethoden); die Entwicklung einer frei verfügbaren Bildanalyse-Software für dieses Zweck erfolgte in einer Norddeutschen Kooperation (KLOSTER et al. 2014).

2.2.4. Gas und Ölaustritte

Natürliche und anthropogene Austritte von Gas und Öl sind von hoher Relevanz für die Klimaforschung und die Öl & Gas Erkundung bzw. deren Förderung (im Sinne eines Monitoring). Die Quantifizierung und Charakterisierung dieser Austritte geschieht u.a. durch Verwendung von **Videoaufnahmen**, die, wenn mit Maßstäben versehen, auch zur Vermessung genutzt werden. Diese werden oftmals mit akustischen Methoden verglichen (MOUSTIER et al. 2013), welche eine größere Reichweite haben. Generell unterscheidet man zwischen Beleuchtung von hinten (THOMANEK et al. 2010) und von vorne (Zielinski et al. 2010). Letztere ermöglicht den Einsatz von Standard ROVs mit entsprechender Kameratechnik. Aktuelle Entwicklungen gibt es im Bereich der gepulsten Beleuchtung (BOELMANN et al. in Vorbereitung) und bei 3D-Aufnahmen mittels Stereokameras.

Neben den hydroakustischen und optischen Messverfahren, die im Wesentlichen Gasblasen in der Wassersäule detektieren, kommen bei der **Früherkennung von Leckagen** und in der Messung der Ausbreitung einer Kohlenwasserstoffkontamination Unterwasser-Gassensoren zum Einsatz (z.B. SCHMIDT et al. 2013). Die verwendeten Methansensoren besitzen inzwischen eine hinreichende Empfindlichkeit, um auch geringste Abweichungen in der CH₄-Konzentration von natürlichen Hintergrundwerten detektieren zu können (z.B. ESSER et al. 2013). Erste Indikationen für Ölaustritte (gelöste Phase, Tropfenform) können mittels ROV-gestützter UV/VIS-Fluoreszenz Sensorik festgestellt werden. Da diese Technik allerdings

hohe Querempfindlichkeiten auf z.B. natürliche Aromatenverbindungen oder Partikel aufweist, sollten die Sensordaten mittels Laboranalysen von entsprechenden Proben (Wasser, Sediment) verifiziert werden.

Unterwassergassensoren für gelöstes CO₂ werden im Bereich der Leckageerkennung und pCO₂-Plume-Ausbreitung in der offshore CCS-Technik verwendet. Hierzu können sowohl geschleppte Systeme als auch stationäre Messstationen am Meeresboden Verwendung finden (z.B. SCHMIDT et al. 2015; ATAMANCHUK et al. 2014). Neuere Entwicklungen z.B. der Fraunhofer Institute (für Bildverarbeitung in Rostock) verwenden solche Daten, um ein animiertes Überwachungssystem in Echtzeit zu speisen, mit dem mögliche Leckagen punktgenau identifiziert und mögliche Ausbreitungen von Schadstoffen (z.B. Öl Lecks) optisch simuliert und dargestellt werden.

2.2.5. Gelöste Gase

Im Bereich der **gelösten Gase** werden vielfach **Optoden** eingesetzt, die ein Fluoreszenzsignal in Bezug zur Konzentration des Analyten auswerten. Diese werden durch unterschiedliche Hersteller für den marinen und limnischen Bereich angeboten und in zunehmendem Maße und für eine wachsende Zahl von Messparametern eingesetzt. Besonders im Bereich der Sauerstoffmessungen werden heute weitverbreitet Optoden eingesetzt. Weitere **Spurengase** werden im Normalfall über Gaschromatographie nachgewiesen.

Eine weitere optische Technologie zur Messung von im Wasser gelösten Gasen (vor allem CO₂) beruht auf Absorptionsspektroskopie in einem equilibrierten Gasstrom bzw. Headspace. Beispiele dafür sind Durchflusssysteme (siehe Kapitel „FerryBoxen und ähnliche autonome Durchflusssysteme“), bei denen eine (häufig rezirkulierte) Gasphase mit einem kontinuierlichen Strom von Oberflächenwasser in ein chemisches Gleichgewicht gebracht wird. Bei dieser dynamischen Headspace-Methode wird ein Gas-Wasser-Equilibrierer eingesetzt und das equilibrierte Gas anschließend mit Hilfe eines **NDIR-Absorptionsspektrometers** (z.B. LiCOR, CONTROS, subCtech) vermessen.

Unterwasserversionen dieser Gassensoren (CO₂, CH₄) benutzen planare oder auch schlauchförmige semipermeable Membranen zur Separation von Wasser- und Luftphase, über die dann eine Equilibration des sensorinternen Luftvolumens an das Umgebungswasser stattfindet. Auch hier kommen NDIR-Absorptionsspektrometer (z.B. CONTROS, subCtech, ProOceanus) zum Einsatz. Die vergleichsweise langen Antwortzeiten dieser membranbasierten Gassensoren schränken den Einsatz auf mobilen und profilierenden Plattform ein. Durch den Einsatz von Unterwasserpumpen zum Anströmen der Membran mit dem Probenwasser lassen sich die Antwortzeiten jedoch deutlich reduzieren. Durch diese und weitere Optimierungen konnte gezeigt werden, dass CO₂-Messungen von langsam profilierenden Plattformen wie Floats möglich sind (Fiedler et al., 2012). Deutlich kürzere Ansprechzeiten von bis zu 0,5 Hz (alle 2 sec eine Messung) bei Unterwasser-

Gelöstgas-Messungen können mittels Unterwassermassenspektrometrie UWMS erzielt werden (GENTZ & SCHLÜTER 2012; SubSeaSpec). Mittels dieser Methodik sind räumlich hochauflösende Profilierungen von gelösten Gasen wie CH_4 und CO_2 z.B. von AUVs und ROVs aus möglich.

Eine bereits vor ca. 20 Jahren etablierte Variante von Unterwassersensoren für CO_2 (Sunburst Sensors) basiert auf der Equilibrierung eines wässrigen, in einem dünnen semipermeablen Silikonschlauch eingeschlossenen Mediums mit dem Umgebungswasser. Die sich hierbei in diesem Medium ergebenden pH-Änderungen führen zu Farbänderungen in dem ebenfalls zugegebenen pH-Indikator, die dann spektrophotometrisch erfasst werden. Diese Technologie erlaubt recht präzise Langzeitmessungen des *in-situ* CO_2 -Partialdrucks.

Neben der marinen Anwendung finden sich NDIR und TDL Verfahren auch im limnischen und im Brauchwasserbereich. Anwendungen dieser Messtechniken finden z.B. bei Faulgasmessungen (CO_2 , CH_4) in Flüssen, Seen und an Staustufen (z.B. MCGINNIS et al. 2015; MAECK et al. 2013), Messung der Ozeanversauerung, hier insbesondere des CO_2 -Austausches zwischen Atmosphäre und Ozean (z.B. XUE et al., 2014; FIEDLER et al. 2013), oder der pCO_2 -Steuerprozesse im benthischen marinen Bereich (z.B. SADERNE et al. 2013).

In direktem Zusammenhang zum CO_2 -Partialdruck eines Wasserkörpers steht dessen pH-Wert. Neben der klassischen potentiometrischen Messung des pH-Wertes, gewinnt die spektrophotometrische Methode zunehmend an Bedeutung. Sie basiert auf der Zugabe eines pH-sensitiven Farbstoffs (z.B. m-Cresol purple) zur Wasserprobe und anschließender Bestimmung des Protonierungsgrades mittels Absorptionsmessung. Die hierbei erreichten Messgenauigkeiten im Bereich von 0.001 pH Einheiten erlauben die Einbeziehung des bestimmten pH-Wertes in die weiterführende Charakterisierung des marinen CO_2 -Systems. Spektrophotometrische pH Messsysteme sind besonders für den Einsatz in FerryBox-Systemen (siehe 1.1.2) und in Kombination mit Pump-CTDs (1.1.6) geeignet, da sie automatisiert und im Durchfluss betrieben werden können (ABMANN et al. 2011).

Nährstoffe

Insbesondere **Nitrat** und **Nitrit** eignen sich für die Reagenzien freie optische Detektion, da sie Absorptionsbanden im tiefen UV (210-230 nm) besitzen. Verschiedene kommerzielle Sensoren (ProPS, TrioS Germany; SUNA/ISUS, Satlantic Canada) sind für die UV-Photometrie verfügbar. Die Algorithmen sind speziell in Anwesenheit von Seesalz komplexer, da sich durch das Bromid im Seesalz eine starke Absorptionsbande bei 210 nm ergibt (siehe FRANK et al. 2014; ZIELINSKI et al. 2012). Weitere Projekte existieren, um Nährstoffe mit opto-chemischen Verfahren zu messen, in der Regel aber unter Zugabe von Reagenzien (PRIEN 2013).

2.2.6. Suspendierte Schadstoffe

Im Rahmen der Detektion **suspendierter Schadstoffe** und deren Ausbreitung im offenen Ozean wurden in den letzten Jahren optische Methoden erfolgreich eingesetzt. Hier wurden unter anderem Video Plankton Recorder und andere bildgebende Verfahren auf ROVs nach einer Havarie einer Ölbohrplattform im Golf von Mexiko eingesetzt, um die Menge und Ausbreitung sogenannter „Oil-droplets“ in der Wassersäule abzuschätzen. Ein Einsatz dieser Methoden wäre im Rahmen eines zukünftig intensivierten Monitorings der Nord- und Ostseeküsten und insbesondere der Schifffahrtswege denkbar.

Das aktuelle Thema **Mikroplastik** rückt in den Fokus verschiedener Arbeitsgruppen. Bei den **bildgebenden Verfahren** (LOKI, VPR, UVP) werden einzelne Objekte mit detektiert. Besonders Fasern sind meist deutlich zu identifizieren. Eine konkrete Auswertung dieser Objekte erfolgt noch nicht. Die Möglichkeiten bildgebender Verfahren könnten hier zu einem besseren Verständnis horizontaler und vertikaler Dispersionswege führen.

2.2.7. Plankter und partikuläre Fracht

Auf organismischer Ebene werden Plankter und Fische ebenfalls durch bildgebende Verfahren erfasst. Profilierende Kamerasysteme können die Organismen- und Partikelverteilung in der gesamten Wassersäule optisch auflösen (e.g. LOKI – Lightframe On-sight Keyspecies Investigation¹¹; ParCa¹²; Underwater Vision Profiler 5; Video Plankton Recorder). In anderen Fällen werden Organismenbilder aus traditionell erhobenen Proben (z.B. über Planktonnetze) aufgenommen, danach aber durch ähnliche Methoden (Segmentierung, Feature-Extraktion, Klassifikation) analysiert (z.B. *ex situ* FlowCam, Einscannen von Diatomeenpräparaten und Bildanalyse durch SHERPA¹³ (KLOSTER et al. 2014)).

Neben Organismen spielt die Observation von **Partikeln und Marine Snow** eine wichtige Rolle – diese Aggregate tragen eine entscheidende Rolle im Transfer von Kohlenstoff zum Meeresboden und damit der Festlegung von CO₂ und biologischen Stoffkreisläufen. In vielen Gewässern weltweit findet sich eine inhomogene Artenzusammensetzung in unterschiedlichen Tiefen. Diese ist durch häufig gesteuert durch vertikale Änderung der Temperatur, des Salzgehaltes oder der Sauerstoffkonzentration. Besonders in Gegenwart starker Gradienten ist zu vermuten, dass dies Einfluss auf die Verfügbarkeit und somit das spezifisch verfügbare Beutefeld in unterschiedlichen Tiefen hat (e.g. SCHULZ et al. 2007; SCHULZ et al. 2012). Ebenso können starke Gradienten eine Dichtbarriere für absinkende Partikel darstellen. Traditionelle Methoden der Flux-Messung beinhalten **Sedimentfallen** oder **taucherische Einsätze** in der flachen Wassersäule welche Aggregate mit Gefäßen beprobt haben. Die Auswertung erfolgt teils unter dem **Binokular**, teils als **ausgewogene Nass/Trockenmasse**. **Bildgebende Verfahren** erlauben hier eine quantitative Beprobung

¹¹ Siehe Abschnitt ‚Nationale Entwicklungen und Entwicklergruppen‘ - LOKI

¹² Siehe Abschnitt ‚Nationale Entwicklungen und Entwicklergruppen‘ - ParCa

¹³ Siehe Abschnitt ‚Nationale Entwicklungen und Entwicklergruppen‘ - SHERPA

dieser **fragilen** Aggregate und Organismen, welche in traditionellen Methoden nur unzureichend repräsentiert werden und in unserem bisherigen Verständnis der Ozeane vermutlich nicht ausreichend berücksichtigt sind. Die Partikelverteilung in der gesamten Wassersäule kann mittels oben erwähnter profilierender Kamerasysteme geschehen und **über Annahmen zur Masse und Sinkgeschwindigkeit der observierten Partikel kann der Partikelfluss abgeschätzt werden.** Gegenüber den herkömmlichen Verfahren der Beprobung mit Sedimentfallen, hat dies den Vorteil, dass der Partikelfluss räumlich und zeitlich hoch aufgelöst dargestellt werden kann. Des Weiteren können anhand der optischen Partikeleigenschaften Rückschlüsse auf Ursachen zur Änderungen des Partikelflusses gezogen werden.

2.2.8. Wasseroberflächenmorphologie

Seegang und Seegangsfelder werden vor der deutschen Küste primär durch radargestützte Methoden erfasst. Diese Methoden liefern in rauen Umgebungen schnelle und gute Abschätzungen der Situation vor Ort. Neben diesen etablierten Verfahren besteht zudem die Möglichkeit, diese Parameter auch in hoher zeitlicher Auflösung, optisch durch Flugplattformen zu erfassen. Die optische Erfassung zielt auf die Charakterisierung des Wasserkörpers **durch Bildanalyse der erfassbaren Oberflächeneigenschaften. Dies sind Wellenrichtung, Wellenlänge und Wellenform.** Der situationsbedingte Einsatz entsprechender optischer Methoden erfordert gewisse wettertechnische Bedingungen. Großflächig durch Fernerkundung erfasst, finden diese Parameter Anwendung in Fragestellungen im Bereich Küstenschutz und Geomorphologie.

2.3. Methoden

2.3.1. CEAS - Cavity-Enhanced-Absorptions-Spektroskopie

Die Cavity-Enhanced-Absorptions-Spektroskopie im weiteren Sinne ist eine Gruppe von **Methoden der resonatorverstärkten Absorptionsspektroskopie.** Hierzu zählen insbesondere die Cavity-Ring-Down-Spektroskopie (CRDS) und Integrated-Cavity-Output-Spektroskopie (ICOS). Diese Verfahren haben aufgrund der rasanten technischen und preislichen Entwicklung laseroptischer Bauteile inzwischen eine hohe Marktreife erreicht, und verschiedene Hersteller (z.B. Picarro, Los Gatos Research) bieten eine ganze Reihe kommerzieller Systeme **für die Messung von Spurengasen (H₂O, CO, CO₂, CH₄, N₂O, NH₃ etc.) und ihre Isotopie (¹³C, ¹⁵N, ¹⁸O etc.)** an. Die vorwiegend für Luftmessungen konzipierten Systeme lassen sich auch durch Kombination mit Equilibratorsystemen für die Messung im Meerwasser gelöster Spurengase (vor allem CO, CO₂, CH₄, N₂O) einsetzen (FRIEDRICHS et al. 2010; GÜLZOW et al. 2011; BECKER et al. 2012; AREVALO-MARTINEZ et al. 2013).

2.3.2. EEM - Emission-Excitation-Matrix Spektroskopie

Laborgestützte **Emission-Excitation-Matrix (EEM)** Spektroskopie (u.a. **AquaLog**, HORIBA Jobin Yvon) ermöglichen eine schnelle, reagenzien-freie und genaue Charakterisierung organischer Stoffe in verschiedenen Gewässertypen (marin bis limnisch). Hierbei wird für einen breiten Bereich mit verschiedenen Anregungswellenlängen die charakteristische Antwort-Fluoreszenz erfasst. Die Erfassung verschiedener fluoreszenztechnischer Peaks kann einzelnen organischen Substanzen oder Substanzgruppen zugeordnet werden (COBLE 2007; HUDSON et al. 2007).

Das EU Projekt NeXOS befasst sich u.a. mit der Entwicklung eines Matrix-Fluoreszenz Sensors zur Detektion und Charakterisierung von **FCDOM** und **PAHs auf Basis der EEM** Spektroskopie. Durch die Auswahl charakteristischer Wellenlängen wird ein sogenanntes „quasi-EEM“ erzeugt. Im Rahmen dieses Projektes erfolgt auch die Weiterentwicklung der PSICAM, u.a. auch zur Phytoplankton Erfassung und Diskriminierung¹⁴ in Kombination mit weiteren Parametern. Die zu entwickelnden Matrix Sensoren sollen u.a. auf diversen autonomen Plattformen zum Einsatz kommen, z.B. Glidern (u.a. SeaExplorer) und Floats.

2.3.3. Forel-Ule Skala

Ein neueres Produkt der radiometrischen Reflektanzmessungen ist die Berechnung der **Wasserfarbe entsprechend der Forel-Ule Skala**, deren historische Beobachtungen über 100 Jahre zurück reichen (WERNAND 2011). Durch diese vergleichsweise frühe Anwendung liegen für einzelne Meeresgebiete Schätzwerte für Veränderungen vor, die in der Zeit weit vor die standardisierte Beprobung zurückreichen. Die **Kombination der traditionellen Farbskalen mit modernen Reflektanzmessungen** (z.B. NOVOA et al. 2013; WERNAND et al. 2013; GARABA et al. 2014) ist ein junger Zweig der Ocean-Colour-Methoden. Im EU Projekt Citclops¹⁵ wird derzeit die Realisierung von Farbmessungen anhand von RGB-Bildern realisiert (NOVOA et al. 2015), welche auch die Einbindung von Bürgern in Meeresbeobachtungen (Citizen Science) ermöglicht.

2.3.4. Holographie

(Digitale) In-situ Holographie eignet sich im Gegensatz zur Fotografie dazu, ganze Volumina mit nur einer Aufzeichnung zu erfassen (SCHNARS et al. 2014). Auf Basis des aufgezeichneten Hologramms können im Anschluss an die Messung mit Hilfe numerischer Methoden beliebige Bildebenen im erfassten Volumen scharf abgebildet werden. Die digitale Holografie eignet sich daher zur zeitaufgelösten Partikeldetektion im Volumen (KAMAU et al. 2013) und ist damit eine vielversprechende Technik zur Erfassung von Plankton, wofür sie derzeit in Deutschland jedoch wenig eingesetzt wird. Es existieren vereinzelte Arbeitsgruppen die sich hiermit beschäftigen. In den letzten Jahren sind vereinzelt Projekte

¹⁴ www.nexosproject.eu

¹⁵ www.citclops.eu

hierzu durchgeführt worden. Ein Einsatz auf breiter operationeller Basis findet derzeit nicht statt. Auch sind die Refraktionsartefakte um aufgenommene Objekte herum schwierig mit automatisierten Verfahren zu verarbeiten. Derzeit erfolgt kein großflächiger Einsatz dieser Methode.

2.3.5. IR – Infrarot Thermalsysteme

Infrarot Thermalkameras werden von unterschiedlichen Plattformen (Messstation, Schiff, Land) aus eingesetzt. Zielmessgröße ist die oberflächennahe Wassertemperatur. Die Temperaturauflösung beträgt je nach Gerät etwa 0,1 K - 0,04 K, in einem Messbereich von -20 °C bis 100 °C. Der genutzte Wellenlängenbereich im Infraroten beträgt 7 µm - 13 µm. Zeit- und Orts-aufgelöste Fragestellungen an der Grenzschicht Meer / Atmosphäre werden damit untersucht. Abgeleitete Informationen über die IR-Emission geben Aufschluss über Verunreinigungen wie beispielsweise Ölfilme. Andere Anwendungen betreffen die Detektion von Meeressäugern an der Wasseroberfläche.

Fluggestützte IR Scanner in der Fernerkundung werden ohne externe Anregung betrieben und nutzen die natürliche IR-Emission der Umgebung. Die Erfassung erfolgt zeilenweise und nicht als Array wie bei den Thermalkameras. Der genutzte Wellenlängenbereich im Infraroten beträgt 8 µm – 12 µm. Die Fragestellungen sind analog zu den IR- Thermalkamerasystemen wobei die thermische Auflösung und Stabilität solcher Systeme nicht mit den preiswerten Kamerasystemen verglichen werden kann. In Deutschland werden LFS Systeme vom Marinefliegergeschwader 3 (MFG 3) „Graf Zeppelin“ in Nordholz betrieben. Diese Systeme sind nur eingeschränkt für den Wissenschaftsbereich verfügbar.

2.3.6. LIDAR - Light/Laser Detection And Ranging & Fluoreszenz-LIDAR

In der Fernerkundung eingesetzte **LSF – Laser Fluoreszenz Systeme** werden zur Identifikation und Klassifizierung von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW), Chemikalien-Verunreinigungen sowie u.a. CDOM, Trübung, Chlorophyll-a in oberflächennahen Filmen verwendet. Mittels gepulsten Laserstrahl(en) werden im Wasser befindliche Stoffe zur Fluoreszenz angeregt. Die Detektion der Fluoreszenz findet üblicherweise auf mehreren Wellenlängen (Kanälen) zwischen 332-685 nm statt. In Deutschland werden LFS Systeme vom Marinefliegergeschwader 3 (MFG 3) „Graf Zeppelin“ in Nordholz betrieben (siehe oben).

Fluggestütztes Topo Bathymetrie Hydromapping wird vorwiegend im Bereich limnischer Systeme eingesetzt zur Erstellung von 3D Topographie-Gewässerkarten und angrenzender Landmassen. Fragestellungen sind dabei im Allgemeinen die geometrische Ausformung von Gewässern/Ästuarien, Geschiebemanagement, Hochwasserschutz und die zeitliche Veränderung dieser Systeme. Bei einer Flughöhe von 600 m beträgt die Objektauflösung unter Wasser ca. 90x90 cm. Mit Wassereindringtiefen im Bereich von 15 cm bis 10 m, je nach

Wassertrübung, ist diese Methode jedoch eingeschränkt. Datenkombinationen mit Echolot schließen tieferliegende Schichten mit ein (DOBLER et al. 2013).

2.3.7. LOKI – Lightframe On-sight Keyspecies Investigation

Das **Lightframe On-sight Keyspecies Investigation System** ist eine national entwickelte Technologie, die **zur Erfassung von Planktern und Partikeln** in der Wassersäule eingesetzt wird. Parallel werden die umgebenden Umweltparameter aufgezeichnet. Der Einsatz erfolgt vertikal profilierend oder geschleppt. Das modulare und austauschbare Aufnahmekopfsystem ermöglicht weiterhin die Umrüstung für einen Einsatz auf Moorings.

In einer Echtzeit-Extraktion in der Unterwassereinheit werden aus den einzelnen Frames Objekte extrahiert und über einen Zeitstempel mit der Sensorik verbunden. Somit ist es möglich, ähnlich dem VPR-System, Objekte und Plankter sehr exakt in der Wassersäule zu verorten. Neben der Option, Daten per Glasfaser zur Deckseinheit zu schicken, können die Daten auch in der Unterwassereinheit gespeichert werden, wodurch ein Einsatz von kleinen Schiffen ohne entsprechende Einleiterkabel möglich ist. Gegenüber dem VPR verwendet das LOKI-System eine physikalische Begrenzung des Aufnahmevolumens bezüglich der Tiefenschärfenebene. Hierdurch können störende Objekte außerhalb der Fokusebene ausgeblendet werden und es ergibt sich eine höhere Bildqualität. Auf der anderen Seite werden Objekte nicht direkt in einem ungestörten Wasservolumen detektiert.

Das System ist komplett in der deutschen Nordwest-Region Meeresforschung entwickelt worden. Details finden sich unter ‚Nationale Entwicklungen und Entwicklergruppen - LOKI‘.

2.3.8. Luftbilder

Kameras im sichtbaren Bereich über Wasser werden von unterschiedlichen Plattformen (Messstation, Schiff, Land, Luft) aus eingesetzt. Die Bildauswertung wird auf gezielte Fragestellungen wie z.B. Wasserfarbe, oberflächennahe Sedimentwolken, Strömungsvisualisierung, Objekterkennung oder Morphologie von Küstenerosion angepasst (ALMAR et al. 2008). Mit den nicht so weit verbreiteten, Stereokamerasystemen werden Untersuchungen zu Wellendynamik und dem meteorologischen Einflüssen bearbeitet.

Die Bildauswertung durch Transformation in den Frequenzbereich **mittels zweidimensionaler Fouriertransformation (2d-FFT) oder Cosinustransformation (2d-DCT)** liefert **Informationen über Wellenlängen, Wellenrichtungen und spektrale Zusammensetzung der Gewässeroberflächen-Morphologie** (WELLHAUSEN & SCHULZ 2015). Die Auswertung erfolgt dabei blockweise im Bildbereich und kann über große Flächen durchgeführt werden. Die Analyse der spektralen Zusammensetzung von Wellen liefert

Informationen über die Wellenform. Damit können Wechselwirkungen zwischen Welle und Untergrund analysiert werden.

2.3.9. NDIR-Absorptionsspektrometrie

Gelöste Gase wie CO₂ und CH₄ (s. auch Kapitel 2.2.4) lassen sich **mit der Methode der NDIR-Absorptionsspektrometrie zuverlässig bestimmen**. Hierbei kommen nicht-dispersive Infrarotdetektoren zum Einsatz, die jedoch nur in der Luftphase messen können. Die Anwendung dieser Technologie für im Wasser gelöste Gase bedarf einer Equilibrierung der Wasserprobe mit dem eigentlichen Messgas. Dabei muss dafür Sorge getragen werden, dass die Anpassung des (möglichst kleinen) Messgasvolumens an das (möglichst große) Wasserprobenvolumen ohne messbare Veränderung der Eigenschaften des Letzteren erfolgt. Dieses kann in Durchflusssystemen mit Luft-Wasser-Equilibratoren oder über Membraninterfaces erfolgen. Dieses kann in Durchflusssystemen mit Luft-Wasser-Equilibratoren oder über Membraninterfaces erfolgen. Die Trennung von Meerwasser und Gasphase (Sensoreinheit) wird bei Unterwassermessungen über eine (selektiv) gasdurchlässige Membran gewährleistet (z.B. FIETZEK et al. 2014). Für nähere Informationen siehe „Gelöste Gase“.

In der *in-situ* Spurengasanalytik werden **Non Dispersive Infrared** und **Tunable Diode Laser Spektrometrische Absorptionsverfahren** eingesetzt. Insbesondere Methan und CO₂ haben im Infrarot-Bereich charakteristische Molekülschwingungen, wodurch sie über ihre konzentrationsabhängige Lichtschwächung (Absorption) in der Gasphase nachgewiesen werden können. Hierbei kommen nicht-dispersive Infrarotdetektoren zum Einsatz, die jedoch nur in der Luftphase messen können.

2.3.10. Optoden

Optoden benutzen **chemische Transducer um bestimmte Stoffe mit hoher Spezifität optisch nachweisbar zu machen**. Hierzu wird vorwiegend ein **Lumineszenzverfahren** eingesetzt, wobei sich die nachweisbare optische Eigenschaft (z.B. Fluoreszenzantwort) eines Stoffes in Abhängigkeit des Analyten ändert. Ein bekanntes Problem ist die **Trägheit vieler Polymer-Matrices auf den Analyten**. Bei Systemen die schnell durch Gradienten bewegt werden ist **auf eine entsprechend ausreichende Angleichzeit zu achten**. Neuere Entwicklungen etwa im Bereich der Sauerstoffoptoden haben durch verschiedene Maßnahmen (dünne Luminophormatrices/Aanderaa, Coatings von Luminophor auf Glasoptiken/CONTROS und RINKO oder Einsatz in gepumpten Durchflusszellen/Sea-Bird) inzwischen recht kurze Zeitkonstanten erreicht, die auch den Einsatz auf profilierenden Plattformen wie Floats, Glidern und CTD-Sonden erlauben. Optoden sind daher ein zunehmend probates Mittel der limnischen und marinen Forschung. Ihre chemischen Transducer können entweder auf Glasfaser-Spitzen oder flächig auf Sensor-Glasfenster oder -Prismen aufgebracht werden. So

können mittels glasfaserbasierten Mikro-Optoden z.B. hochaufgelöste Sauerstoffmikrogradienten an der Sediment-Wasser-Grenzfläche oder Bulk-Messungen im Sediment bzw. der Wassersäule durchgeführt werden.

2.3.11. PSICAM – Point Source Integrating Cavity Absorption Meter

Verschiedene **Komponenten im Seewasser** können die **Lichtabsorption** in bestimmten Wellenlängenbereichen charakteristisch verändern. Zu diesen Komponenten zählen besonders Gelbstoffe, mineralische Schwebstoffe (Detritus) oder photosynthetisch aktive Pigmente. Messungen mit klassischen photometrischen Methoden gestalten sich, z.B. durch Lichtstreuung an Partikeln, als schwierig. Die PSICAM ermöglicht durch eine entsprechend geometrische Anordnung von Lichtquelle und Sensorik **entsprechend diskrete Messungen**.

2.3.12. Radiometrische Größen

Gemessene radiometrische Größen umfassen die **Strahldichten (radiance)**, **Strahlungsflussdichten (irradiance)** und davon abgeleitete Reflexionsverhältnisse. Hierfür sind verschiedene Sensoren von kommerziellen Anbietern verfügbar (z.B. TriOS, Deutschland oder Satlantic, Kanada) (vergleiche auch MOORE et al. 2009). Über Wasser eingesetzte Systeme werden entweder fest installiert (GARABA et al. 2014) oder nachgeführt, um einen festen/optimalen Winkel zur Sonne zu erreichen. *In-situ* Anwendungen finden teils vom Schiff per Winde aus statt, wobei der Schatten des Schiffes ein Problem darstellen kann. Als Alternative werden **driftende und freifallende Radiometer** eingesetzt, die nicht dem Schiffseinfluss unterliegen (GARABA et al. 2013). Alle diese Verfahren haben in der Regel einen **Irradianzensensor**, der oberhalb der Wasseroberfläche eine **Referenz** bildet. Durch die Effekte an der Oberfläche (z.B. Sonnenglitter, Reflexion der Himmelsstrahlung oder Lichtfokussierungen durch Wellen) sind **Korrekturen und Fehlererkennungen** notwendig, für die verschieden Ansätze existieren (GARABA et al. 2012; HIERONYMI et al. 2012; BUSCH et al. 2013).

2.3.13. RemOS – Remote Optical System

RemOs (**Remote Optical System**) steht für ein auf **optischer Stereoskopie** basierendes System zur quantitativen **Erfassung der Abundanzen und Längenhäufigkeitsverteilungen von Fischen und anderen Makrozoobenthosorganismen** im Flachwasserbereich von Küstensysteme. Das System wurde erstmals im Bodensee (Süddeutschland; FISCHER et al. 2007) eingesetzt und ab 2006 in einer weiteren Entwicklungsstufe (RemOs1 & RemOs2) an diesem Verhältnis der Nordsee und der Arktis angepasst (Wehkamp & Fischer 2014). Das System beinhaltet **zwei hochauflösende Kameras (Foto)**, die über eine spezielle Elektronik **zeitsynchron ausgelöst** werden und Bildpaare erzeugen, sie stereoskopisch ausgewertet

werden können. Die Bildpaare werden dabei entweder lokal im System zwischengespeichert oder über ein entsprechendes Kabelsystem (siehe Abschnitt Unterwasserknoten) an einen Server an Land übertragen. Mit entsprechender Software (siehe WEHKAMP & FISCHER 2014) können die Bildpaare quantitativ ausgewertet werden und somit Daten zur Artenzusammensetzung, zur tagesperiodischen und saisonalen Fischdynamik oder zur Häufigkeitsverteilung verschiedener Fischarten in einem Gebiet erfasst werden. Derzeit eingesetzte Systeme (Nordsee-Helgoland & Spitzbergen-NyAlesund) werden entweder vertikal (Spitzbergen) oder horizontal (Helgoland) profilierend eingesetzt. Eine genaue Beschreibung des Grundsystems sowie der zur Bildauswertung verwendeten Software ist verfügbar¹⁶.

2.3.14. Satellitendaten

Satelliten liefern **Bilder der Erdoberfläche, die in verschiedenen spektralen Bereichen aufgenommen werden**. Jeder Bildpunkt einer solchen Aufnahme entspricht damit dem lokal detektierten Integral der elektromagnetischen Strahlung des entsprechenden Wellenlängenbereiches.

Aus diesen Messungen können optischen Wasserinhaltsstoffe abgeleitet werden. Die Auswertung ist komplex v.a. wenn nicht nur die Gesamtbiomasse an Phytoplankton ausgewertet werden soll. Daher werden auch direkt am AWI (Gruppe Phytooptics) und dem HZG (Gruppe Remote Sensing) Verfahren entwickelt, um **Phytoplanktongruppen und Größenklassen** auswerten zu können, aber vor allem auch, um **in den Küstengebieten neue Datenprodukte mit besserer Qualität** zu gewinnen (BRACHER et al. 2009, BRACHER et al. 2015, SADEGHI et al. 2012, SOPPA et al. 2014).

2.3.15. Secchi-Tiefe

Über die **Secchi Scheibe** wird die **Sichttiefe in der Wassersäule** gemessen. Dies dient als **Proxy für Schwebstofffracht und/oder biologische Aktivität**. Ähnlich der Forel-Ule Skala liegen weltweite Messungen aus über 100 Jahren vor. Obgleich die Methode wenig über die Zusammensetzung aussagt, machen die einfache Handhabbarkeit und das Vorliegen von Messungen aus Zeiten, bevor standardisierte Verfahren etabliert wurden, lang zurückliegende Vergleiche möglich. Die internationale Beachtung dieser Methode ist eher gering, entsprechend gibt es wenig Gruppen, die mit diesen Daten arbeiten. Dennoch existieren in Deutschland einige Dauerstationen, auf denen dieser Parameter gemessen wird. So werden seit 1986 kontinuierlich Secchi-Sichttiefen an der Zeitserienstation Boknis Eck¹⁷ durchgeführt.

¹⁶ <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.782365>

¹⁷ Siehe Abschnitt ‚Langzeitstationen und Moorings‘, Boknis Eck

2.3.16. Spektrophotometrische Methoden zur Messung von CO₂-System Parametern

Ein Großteil der Methoden zur **Messung von CO₂-System Parametern basiert auf Absorptionsmessungen**. Dabei kommen Sulfophthalein-Farbstoffe zum Einsatz, die sich durch verschiedene Protonierungsstufen mit klar unterscheidbaren Absorptionsmaxima im sichtbaren Wellenlängenbereich auszeichnen. Aus dem Peak-Verhältnis lässt sich daher, über den Protonierungsgrad des Farbstoffes, der pH-Wert einer Seewasserprobe berechnen. Grundlegend hierfür ist die genaue Kenntnis der Dissoziationskonstanten des Farbstoffs sowie der Absorptionsspektren seiner Reinformen. Durch die Wahl eines geeigneten Farbstoffs kann ein weiter pH-Bereich abgedeckt werden.

Die **spektrophotometrische pH Messung** ist die direkte Anwendung des oben beschriebenen Verfahrens. Klassisch wird hierfür eine Seewasserprobe mit Indikatorlösung (m-Cresol purple, cresol red) versetzt und das Absorptionsspektrum analysiert. Derzeitige Entwicklungen zielen auf den Einsatz dieser Methode unter *in-situ* Bedingung oder in automatisierter Form, z.B. in FerryBox-Systemen (siehe 2.1.2) ab.

In abgewandelter Form **kann das Prinzip der spektrophotometrischen pH-Wert Messungen auch zur Bestimmung anderer Parameter des CO₂-Systems genutzt werden**. Eine Möglichkeit zur pCO₂- Messungen beruht auf der Immobilisierung des Farbstoffs in einem definierten Medium, das in einer CO₂-permeablen Membran eingeschlossen ist. Dabei verursachen Veränderung im CO₂-Partialdruck der Wasserprobe pH Änderung in dem eingeschlossenen Medium, die dann mittels spektrophotometrischer Messungen detektiert werden können (siehe Kapitel ‚Fokusparameter, Gelöste Gase‘). Auch bei der Bestimmung der Alkalinität einer Seewasserprobe kann die spektrophotometrische pH Messung angewendet werden. Hierbei wird die pH Änderung während der Titration durch Absorptionsmessungen eines geeigneten Farbstoffs (z.B. Bromocresol green) verfolgt.

2.3.17. Time lapse-Analysen

Die ersten **time lapse Analysen** beruhten auf der einfachen Beobachtung von Organismen über definierte Zeitintervalle, bei denen dann beispielsweise das Verhalten der Organismen notiert wurde. Diese Methode wird seit den 1960er Jahren regelmäßig bei mikroskopischen Analysen, sowie Aquarien-Versuchen und im Freiland angewendet. Das Anfertigen von Graphiken sowie die regelmäßige photographische Aufnahme geben Informationen zur Dynamik einzelner Zellen bis hin zu ganzen Populationen. Im Unterwasserbereich hat KENNETH READ (1967) wohl die ersten Zeitraffer-Aufnahmen zu Aktivitätsmustern von Seeigeln gemacht (MARX 1990).

Time lapse Analysen schließen eine Lücke zu anderen benthischen Studien, bei denen die Benthoszusammensetzung vorwiegend über Abundanz und Biomasse der epibenthischen Organismen definiert wird (BEUCHEL et al., 2010), indem sie ihnen eine **dynamische Komponente über ein definiertes Zeitintervall** hinzufügen. So haben STACHOWITSCH et al.

(2007) Sauerstoffzehrungs-Experimente durchgeführt und die Auswirkungen auf das Benthos anhand von time lapse Aufnahmen beschrieben. LAMPITT et al. (1984) zeigen, dass time lapse Aufnahmen nicht nur im flachen Sublittoral sondern auch in der Tiefsee eingesetzt werden können. Erste Untersuchungen der Universität Rostock wurden an antarktischen Napfschnecken, *Nacella concinna* sowie an Seeigeln, *Sterechinus neumayeri*, durchgeführt. Aktuell wird an benthisch limnischen und marinen Filtrieren in einem deutsch-chilenischen bilateralen Projekt gearbeitet.

2.3.18. UVP – Underwater Vision Profiler

Der **Underwater Vision Profiler 5** (UVP5; PICHERAL et al. 2010) dient zur **Bestimmung der Partikel- und Zooplanktonabundanz und –größe in der Wassersäule**. Das Gerät kann in die CTD Rosette eingebaut werden und setzt sich aus einer Kamera in einem druckfesten Gehäuse, wie auch zwei roten LED Einheiten zusammen. Das Instrument ist druckfest bis 6000 m Tiefe. Während des Einsatzes nimmt die Kamera alle paar Millisekunden ein Bild von dem durch die beiden LEDs beleuchteten Wasserkörper auf. Maximal ist eine Frequenz von 11 Bildern pro Sekunde möglich. Das abgebildete Volumen beträgt zwischen 0,86 und 0,93 L. Die Anzahl und Größe der auf dem Bild vorhandenen Partikel (0,06 mm bis ca. 5 cm) wird direkt von einem eingebauten Computer ermittelt. Bilder größerer Objekte (>0,5 cm) werden für eine spätere optische Identifizierung gespeichert.

2.4. Begleitende Parameter & Metadaten

Bei der Mehrheit der optischen *in-situ* Verfahren werden parallel ozeanographische Parameter gemessen. Standardmäßig umfassen die gemessenen **ozeanographischen Parameter** die CTD Parameter (Conductivity, Temperature, Depth from pressure). Aus diesen, oder unter Zuhilfenahme dieser Parameter, wird eine Reihe weiterer abgeleitet (Pressure -> Depth, Leitfähigkeit -> Salzgehalt). Die Messung erfolgt durch kommerziell vertriebene Sensoren. Dies geschieht besonders im Zusammenhang mit geo- & räumlich-kodierten, bildgebenden Verfahren.

Zur räumlichen **Verortung** wird vorwiegend das **GPS/WGS-84 Datum** benutzt. Die Verwendung des landeseigenen geodätischen Datums ist in der Grundlagenforschung selten.

Im Bereich der **akustischen Verfahren** begleiten optische Messungen häufig Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Hier erlaubt die optische Trübstoff-, Chlorophyll-, Fluoreszenzbestimmung eine genauere Charakterisierung der bewegten Wassermassen. HOFMANN & PEETERS (2013) nutzen im limnischen Bereich eine modifizierte Anwendung. Hier werden Daten von akustischen und optischen Verfahren genutzt, um die toxische

Cyanobakterie *P. rubescens* zu quantifizieren, welche in Seen sehr abundant vorkommen kann.

Im Bereich **bildgebender Verfahren** sind Sensorsysteme (z.B. UVP, LOKI, VPR) zur Detektion von Organismen und Partikeln mit einer Vielzahl weiterer Sensorik ausgestattet. Hier erzeugen die einzelnen Sensoren (eingeschlossen die vorgenannten nicht-bildgebenden optischen Sensoren) einen wissenschaftlichen Mehrwert gegenüber der reinen Bildakquise.

3. Gemeinsame Herausforderungen und Potentiale

Der AK hat richtungsweisend Zukunftsthemen identifiziert.

Limitierungen der besprochenen Verfahren werden weniger in der reinen Optik gesehen, sondern in nachgeschalteten Verarbeitungsschritten. Im Folgenden spiegelt die Aufzählungsreihenfolge grob die festgestellte Bedeutung der wichtigsten Themen wider.

Optische Verfahren benötigen oftmals eine aufwendige Qualitätssicherung. Um Daten mit der gleichen Geschwindigkeit, sowie Präzision und Richtigkeit (DIN-ISO 5725) liefern zu können, wie sie traditionelle ozeanographische Messungen aufweisen, werden **standardisierte und schnelle Verfahren zur Datenverarbeitung** benötigt. Hierzu ist es von Interesse, dass Institute/Arbeitsgruppen mit den gleichen Fokusparametern ihre **Protokolle und Qualitätssicherungen harmonisieren**.

Auf der praktischen Arbeitsebene findet sich oftmals **die Situation, dass Studenten einzig die rein fachbezogenen Kenntnisse vermittelt bekommen**. Somit haben junge Wissenschaftler aus optischen Fachrichtungen häufig keinerlei Bezug zu umweltrelevanten Fragestellungen der Biologie oder Ökologie. Auf der anderen Seite mangelt es jungen Umweltwissenschaftlern oftmals an grundlegenden opto-elektronischen Kenntnissen. Es ist wünschenswert, dass ein **intensivierter, horizontaler Wissenstransfer zwischen den Fachgebieten im Studium** erfolgt. Eine entsprechende Kompetenz führte in verschiedenen Projekten bereits zu deutlich wahrnehmbaren, synergistischen Effekten (z.B. Verkürzung von Entwicklungszyklen, präzisere Spezifikationen, frühes Erkennen von systematischen Limitierungen, bedarfsgerechtere Entwicklung, etc.).

Viele optische Sensoren und Sensorsysteme besitzen einen relativ hohen **Energiebedarf, die in energielimitierten Anwendungen problematisch sind**. Dies gilt besonders für bildgebende Verfahren mit starken Lichtquellen und rechenintensiver Verarbeitung in Echtzeit. Beim Einsatz vom Schiff oder an entsprechenden energieautarken Stationen stellt dies kein Problem dar. Es besteht aber ein breites Interesse **am Einsatz auf autonomen Stationen (Pfähle, Moorings, etc.) und Plattformen (z.B. Glider, Float, AUV)** mit limitierten Ressourcen. Zwar unterliegen viele Komponenten Industrienormen die einen gewissen ‚green‘ Standard vorsehen, bewegen sich von der spezifizierten und technisch möglichen Untergrenze der Energiekonsumption aber immer noch **um Größenordnungen über den Anforderungen von marinen und limnischen Komponenten**.

Für viele Arbeitsgruppen sind die Weiterentwicklung und der flächendeckende Ausbau von **hyperspektralen Verfahren** interessant. Im Fokus stehen Proxies, die als aussagekräftige Marker den Zustand und die Veränderung von Systemen dokumentieren können (Ocean colour, CDOM, Chl-*a*, Nährstoffe).

Auf lange Sicht werden **automatisierte Verfahren zur Datenverarbeitung** etabliert sein. Die moderne Meeresforschung stützt sich zunehmend auf **Sensorsysteme und Netzwerke, die**

semi- bis voll-autonom Daten liefern. Hier ist in den kommenden Jahrzehnten mit einem deutlichen Ausbau zu rechnen. Die zu erwartenden Datenmengen sind auf absehbare Zeit **mit dem nur langsam ansteigenden Personalkapazitäten nicht zu beherrschen.** Die Frage ist, wie dieser Problematik begegnet werden kann. Neben Harmonisierungen und Standardisierungen (s.o.) werden auch technische Möglichkeiten benötigt, um das Datenvolumen handhaben zu können. Dies Problem wird auch an anderen Stellen erkannt. Derzeit konstituiert sich in der Meeresforschung eine **Arbeitsgruppe zum Thema „Datenströme“**, die genau diese Aspekte thematisiert. Die Arbeitsgruppe wurde auf Initiative von Philipp Fischer (AWI) ins Leben gerufen.

Ein Spezialfall automatisierter Verfahren ist die **automatisierte, bildbasierte Objektdiskriminierung.** Besonders bei der *in-situ* Detektion von Organismen (z.B. Plankton und Fischlarven durch LOKI, VPR oder UVP) entstehen in kurzer Zeit große Bilddatenmengen. Diese sind **nicht mit vertretbarem Aufwand manuell zu sortieren.** Um einen entsprechenden Nutzen aus den hochaufgelösten und mit direkten Wasserparametern verbundenen Daten ziehen zu können, ist eine **automatische Sortierung zumindest in Großgruppen nötig.** Dies gestaltet sich in der Praxis immer noch schwierig. Frei in der Wassersäule schwimmende Objekte können mit einer beliebigen Orientierung der Körperachse zur Kamera aufgenommen werden. Hierdurch ist es für softwaregestützte Klassifikationssysteme schwer zufriedenstellende Klassifikationsraten zu erreichen. Viele Verfahren basieren zudem auf einer Extraktion von bildbeschreibenden Parametern, die **Momente der Grauwertverteilung und einfache Formfaktoren** nutzen. Diese numerischen Werte werden durch numerische Klassifikationsmodelle bewertet (z.B. **Diskriminanzanalyse, Forest/Tree-Verfahren, Support Vector Machines, verschiedene Typen neuronaler Netze, etc.**). Es gibt im Bereich der Planktondiskriminierung derzeit keine durchweg gut geeigneten oder etablierten Verfahrensketten, welche aus Form, Umrisslinie und allgemeinen Parametern zufriedenstellende, bildbeschreibende Parameter extrahieren und unterschiedliche Klassen mit hoher Präzision diskriminieren.

Eine physikalische **Limitierung bildgebender Verfahren** liegt im sich verringern den Schärfentiefebereich bei zunehmender Vergrößerung (Abbildungsmaßstab). Die hohe Vergrößerung setzt sehr kurze Belichtungszeiten voraus, um den großen Einfluss der **Bewegungsunschärfe** bereits bei geringen Schleppgeschwindigkeiten zu verhindern. Die kurzen **Belichtungszeiten** erfordern sehr hohe Blitzenergien, um einen ausreichenden Signal-Rausch Abstand zu gewährleisten. **Objekte außerhalb der Schärfentiefebene** können die Bildqualität stark beeinträchtigen. Zudem kann **Biofouling** auf optischen Fenstern Langzeiteinsätze ohne Reinigungsoptionen unmöglich machen. Die entsprechend **geringen Aufnahme- & Beprobungsvolumina** bergen die Gefahr, dass gering abundante Arten unterrepräsentiert sind. Es existieren aber Ansätze, Beprobungsvolumina, Schärfentiefebereiche, Belichtungszeiten und Reinigung bis an die technisch/physikalischen Grenzen heranzufahren und somit Abundanzen von Organismen größer 50 µm bis mehrere cm (z.B. Fischlarven) repräsentativ zu beproben.

Aufgrund der oftmals **niedrigeren taxonomischen Auflösung optischer Verfahren** ist ein „ground-truthing“ mittels **traditioneller Probennahmen** (z.B. Planktonnetze) nötig. Während bei bildgebenden Verfahren die einzelnen Objekte noch **visuell kontrolliert** werden können, ist dies bei Verfahren wie OPCs und LOPCs kaum möglich. Ein weiteres Problem beim Vergleich dieser drei Methoden besteht in der **häufigen Zerstörung fragiler Objekte und Aggregate in Netzproben**, so dass diese selten als Referenz herangezogen werden können.

Im **bodennahen Bereich** ist der Übergang vom Benthos zum Pelagial von besonderem Interesse. Hier wären **Beobachtungssysteme und bildgebende Verfahren wünschenswert, die möglichst nah an 4π Steradian erfassen** können. Hierdurch wäre es besser möglich räumliche Interaktionen eindeutig zu dokumentieren. Dies ist auch für die freie Wassersäule interessant.

Die bisher aufgeführten Verfahren zur Abbildung von Organismen und Partikeln in der Wassersäule können nur ihre aktuelle Lokation darstellen. Besonders **für partikuläres, absinkendes Material ist aber auch die Sinkgeschwindigkeit ein wichtiger Parameter**, da sich der Partikelfluss aus Masse des Partikels und Sinkgeschwindigkeit ergibt. Die Sinkgeschwindigkeit von Partikeln lässt sich im Labor z.B. mit einer FlowCam ermitteln (BACH et al. 2012), aber bei Probenahme und Präparation für diese Messung kann das Partikelgrössenspektrum verändert werden, da fragile Partikel eventuell zerstört und andererseits Partikel aggregieren können. Daher stellt die Ermittlung von *in-situ* Sinkgeschwindigkeiten – möglichst in hoher Auflösung – eine der großen Herausforderungen im Bereich optische Technologien dar. Einige **Systeme zur Messung von *in-situ* Sinkgeschwindigkeiten** wurden in der Vergangenheit entwickelt (e.g. ASPER & SMITH 2003; CARTWRIGHT et al. 2013; KARAKAS et al. 2009; PILSKALN et al. 1998), sind aber nicht für den Routineeinsatz verfügbar, technisch und logistisch sehr aufwändig und können meist nicht in der Tiefsee eingesetzt werden. Auch die Darstellung von Bewegungsgeschwindigkeiten von Zooplanktern durch optische Technologien wird im Labor durchgeführt. Auch hier ist eine *in-situ* Anwendung wünschenswert, da z.B. die täglichen **Vertikalwanderungen** des Zooplanktons und Nektons erhebliche Stoffflüsse mit sich bringen und **das größte globale Wanderungsphänomen überhaupt** darstellen.

Ein großes **Problem aller optischen Sensoren im Dauereinsatz ist das Bio-Fouling**. Biota können innerhalb weniger Tage die optischen Fenster, die die eigentliche Sensorik vom zu vermessenden (Meer-) Wasser trennt, besiedeln. Die **Besiedlung geschieht meist graduell**, so dass sich erst Mikrofilme bilden und sich langsam folgend Larven und Organismen auf die Flächen setzen. Bei fluoreszenztechnischen oder radiometrischen Messungen kann dies zu einer **starken Sensordrift** führen, im Fall von bildgebenden Verfahren zu einer deutlichen **Bildbeeinträchtigung oder partiellen Okklusion**. Dieser Effekt ist stark an die biologische Aktivität gebunden und setzt bei steigenden Temperaturen generell schneller ein. Die meisten bekannten **chemischen Verfahren gegen Bio-Fouling** weisen nur eine begrenzte Wirksamkeit auf. Zur **physikalischen Reinigung** werden Wischsysteme eingesetzt, deren Funktion aber ebenfalls durch Besiedlung der mechanischen Teile beeinträchtigt werden

kann. Gut funktioniert der **Einsatz von Tauchern**, die in entsprechenden Intervallen die optischen Fenster manuell reinigen. Vielversprechende erste Ergebnisse zeigt auch der Einsatz von **UV-LEDs** im Sensorumfeld. Die UV-Strahlung wirkt während des frühen Stadiums der Biofilmbildung abtötend auf Aufwuchsorganismen (ZOUAK et al. 2014; REEDEKER 2014).

Die Expertise des AK rekrutiert sich vornehmlich aus den meereskundlich forschenden Institutionen. Für viele zukunftsfähige Entwicklungen ist der „spin-off“ aus der industriellen Forschung notwendig. Mit wenigen Ausnahmen (z.B. Satelliten) sind die **finanziellen Budgets oder Stückzahlen der benötigten Systeme zu gering**, als das man entsprechende Wirtschaftskonsortien für die Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen gewinnen könnte. Letztlich sind viele Arbeitsgruppen darauf angewiesen, Entwicklungen aus anderen Bereichen für ihre eigenen Fragestellungen zu adaptieren. Entsprechende Entwicklungen erfolgen teilweise am finanziellen und personellen Limit einer Arbeitsgruppe. Diese Arbeiten entsprechen zumeist nicht den Kernaufgaben der Arbeitsgruppen, obgleich ein entsprechender Aufwand einen deutlichen Zugewinn an wissenschaftlicher Erkenntnis darstellt.

In der Diskussion bildgebender Verfahren wurde auf die Diskrepanz zwischen aktuellen High-End-Kameras und der Verfügbarkeit von Objektiven mit entsprechendem Auflösungsvermögen verwiesen. Es entwickelt sich ein Markt für **Objektive/Optiken**, die eine gute angepasste **Modular-Transfer-Funktion (MTF)** für große Mega-Pixel-Kameras liefern. Derzeitige Unterwasser-Systeme haben oftmals noch das Problem, dass ein Kompromiss zwischen Verfügbarkeit, Kosten und Adaptationsmöglichkeiten für vorhandene Unterwassergehäuse getroffen wird. Besonders bei hohen Vergrößerungen (Abbildungsmaßstab) und schwierigen Lichtverhältnissen im Unterwassereinsatz wirkt sich dies negativ auf Schärfe und Kontrast aus (z.B. SCHULZ 2013). Die Abbildungsleistung der eingesetzten Systeme wird oft durch die verwendete Optik beeinträchtigt.

Als weiteres wichtiges Thema werden **Lichtquellen** für bildgebende Verfahren gesehen, die eine ausreichende Beleuchtungsstärke für kurze Shutterzeiten bei vertretbarem Energieverbrauch ermöglichen. Hier wurde auf die Möglichkeit von ‚**stacked Laserbars**‘ hingewiesen. Dies ist eine Entwicklung, die für zukünftige Systemdesigns relevant sein könnte.

4. Nationale Projekte und Entwicklergruppen

(Stand Oktober 2015)

Im Folgenden werden nationale Entwicklungen auf dem Gebiet optischer Technologien zum marinen und limnischen Einsatz vorgestellt. Die entsprechenden Abschnitte sind durch die beteiligten Personen und Institutionen zur Verfügung gestellt worden und unterliegen nur einer geringen editoriiellen Bearbeitung. Die einzelnen Projekte benennen neben den Haupt-Ansprechpartnern die zugehörigen Institution und eine Kurzbeschreibung. Obgleich viele Projekte aus verschiedenen Fördertöpfen unterstützt werden, wurde hier auf eine explizite Listung der Projektmittelgeber und ihrer Logos verzichtet, da auf die technisch-wissenschaftlichen Expertise und Kompetenz fokussiert werden sollte.

Es ist klar, dass eine entsprechende Listung niemals vollständig die komplexe Bandbreite optischer Entwicklungen im marinen und limnischen Forschungsbereich abdecken kann.

Es ist geplant zu späteren Zeitpunkten eine entsprechende Zusammenstellung in einem angemessenen Rahmen erweitert aufzulegen.

4.1. BeachCam, Kamera Observationssystem für Stranddynamik

Institution: Zentrum für Marine Umweltwissenschaften (MARUM), Universität Bremen

Ansprechpartner: Christian Winter, Brice Blossier

Im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit mit Universitäten in Neuseeland, Frankreich und Kolumbien entwickelt die AG Küstendynamik am MARUM **gekoppelte Kamerasysteme** zur Beobachtung und Quantifizierung von küstendynamischen Prozessen an Stränden. Durch Kalibrierung, Rektifizierung und Georeferenzierung der Bilder und abgestimmte Auswertalgorithmen werden verschiedene Zustandsgrößen der Wellen und die Morphologie des Strandes erfasst. Es werden so Aussagen zum Zustand und Dynamik der Küstenlinie und der Barren / Sandbänke, zur kleinskaligen Strandmorphologie, zu Wellenlängen und -perioden, und zur Charakteristik des Auf- und Ablaufens der Wellen getroffen. Durch die Kombination mit regelmäßigen konventionellen terrestrischen und schiffsgestützten Messkampagnen lassen sich Daten quasi-kontinuierlich interpolieren (Abb. 1).

Das System **BeachCam** wird für verschiedene Anwendungsgebiete im operationellen Monitoring und für grundlagenorientierte Forschung an morphodynamischen Prozessen optimiert. Ein Schwerpunkt ist die Erfassung von Prozessen bei Extremereignissen. Ein Prototyp System ist seit 2010 in Zusammenarbeit mit HZG im Verbundprojekt COSYNA an einem Strand auf Sylt installiert.

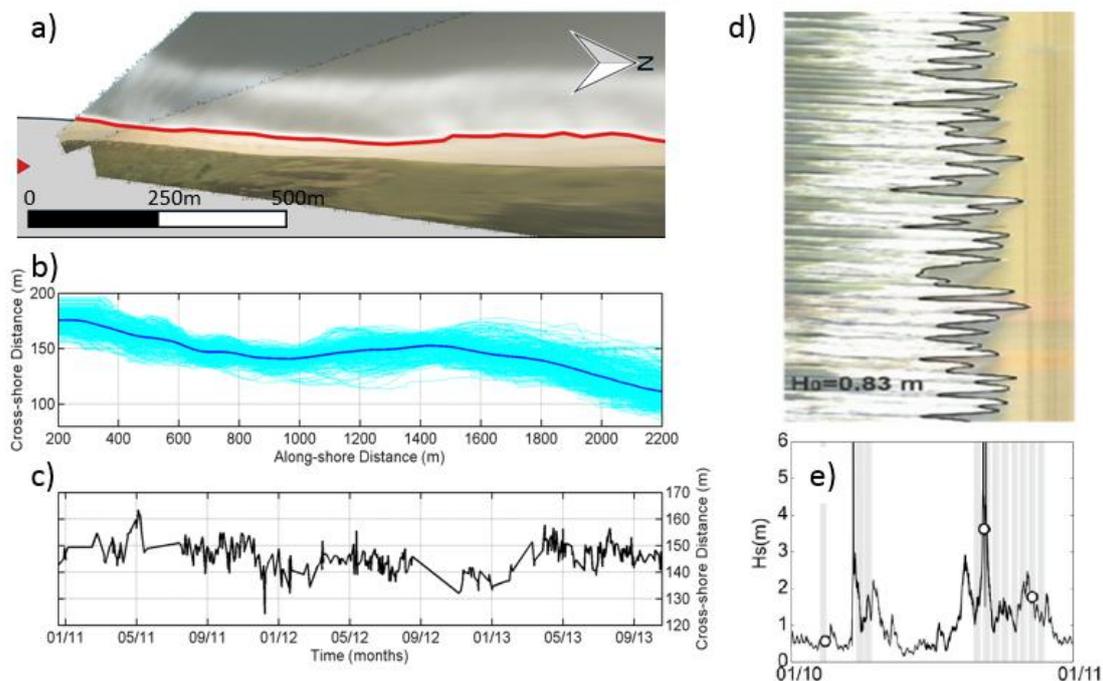


Abbildung 1: Beispiele für BeachCam Daten: a) Zeitgemittelte kombinierte Kamerabilder vom Strandabschnitt Sylt und erkannte und georeferenzierte Küstenlinie (rot); b) Variation und Mittelwert der Küstenlinie; c) Zeitreihe der Lage der gemittelten Küstenlinie; d) Zeitreihe auflaufender Wellen; e) Zeitreihe abgeleiteter Wellenparameter (signifikante Wellenhöhe).

Figure 1: Examples for BeachCam data: a) Timex combined camera footage in Sylt island, detected and georeferenced shoreline (red); b) variation and average location of coastline; c) time series of longshore averaged location of coastline; d) timestack of wave run-up; e) exemplary time series of derived wave parameters (significant wave height).

4.2. Digitale *in-situ* Holographie

Institution(en): BIAS

Ansprechpartner: Claas Falldorf

Am Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik (BIAS) wurde ein **digital-holografisches Sensorsystem zur Detektion von Partikeln** im Volumen entwickelt. Das System kann sowohl zur Erfassung von Partikeln in der Wassersäule, als auch in der Atmosphäre eingesetzt werden. Es ist für den Einsatz in der Mikroskopie konzipiert, so dass das erfassbare Volumen auf ca. $10 \times 10 \times 20 \text{ mm}^3$ beschränkt ist. Das Auflösungsvermögen liegt im Bereich $d_{\min} = 10 - 15 \text{ }\mu\text{m}$ (abhängig von der Ebene die im Volumen scharf abgebildet erscheint). Zur Erfassung aller Partikel innerhalb des Volumens genügt eine einzige Aufnahme, so dass auch bewegte/dynamische Szenen untersucht werden können.

4.3. Erkennung von Unterwasser Lebewesen

Institution(en): FhG-IGD

Ansprechpartner: Enrico Gutzeit, Uwe Freiherr von Lukas

Anwendungsbeispiele für die Erkennung von UW-Lebewesen sind die Erkennung, die Zählung und das Monitoring von Fischen oder Zooplankton. Die Grundlage zur (Halb)-Automatisierung dieser Anwendungen auf Basis von Videos oder Einzelbildern bilden Algorithmen aus dem Forschungsbereich Computer Vision. Das Spektrum der Computer-Vision Methoden ist riesig. Dennoch ergibt sich in der Regel eine gängige Pipeline bestehend aus Bildvorverarbeitung, Segmentierung, Tracking und Klassifikation der UW-Lebewesen. Kernpunkt der Pipeline bildet die Segmentierung und folglich die Separierung der entsprechenden Pixel eines Lebewesens im Bild. Je nach Rahmenbedingungen unterscheiden sich die grundlegenden Algorithmen. Unter der Zielstellung der Segmentierung von sich bewegenden Fischen unter Wasser ist eine Segmentierung basierend auf Bildänderungen sinnvoll. Eine Segmentierung von Fischen auf Förderbändern ist hingegen nur anhand von Vorwissen, in Form von Modellen von zu segmentierenden Fischen und/oder vom Hintergrund, möglich. Im aktuellen Stand der Technik werden zur Segmentierung von Fischen oder ZooPlankton häufig Methoden der Hintergrundsubtraktion unter bekanntem oder eingemessenem Hintergrund eingesetzt (z.B. GORSKY 2010; WHITE et al., 2006). Die Segmentierung auf unbekanntem Hintergrund ist weniger adressiert und ein Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer IGD (GUTZEIT et al. 2015).

Ein speziell adressierter Schwerpunkt ist die Segmentierung und Erkennung von ZooPlankton in großen Bilddaten (GUTZEIT et al. 2014; RUST et al. 2013). Das selbstlernende ZooCount-System vereinfacht die Zählung und Klassifikation von Zooplankton in mikroskopischen Aufnahmen von Zählkammern durch einfache Nutzerführung, Datenverwaltung und (halb)-automatischer Klassifikation (siehe Abb. 2).

Ein weiterer Fokus des Fraunhofer IGD liegt in der Detektion und dem Tracking von Fischen in Videos. Um eine größtmögliche Flexibilität bei der Detektion zu gewährleisten, und nicht auf einzelne Fischarten oder spezielle Rahmenbedingungen festgelegt zu sein, wird an allgemeinen Verfahren der Segmentierung geforscht (RADOLKO et al. 2015).

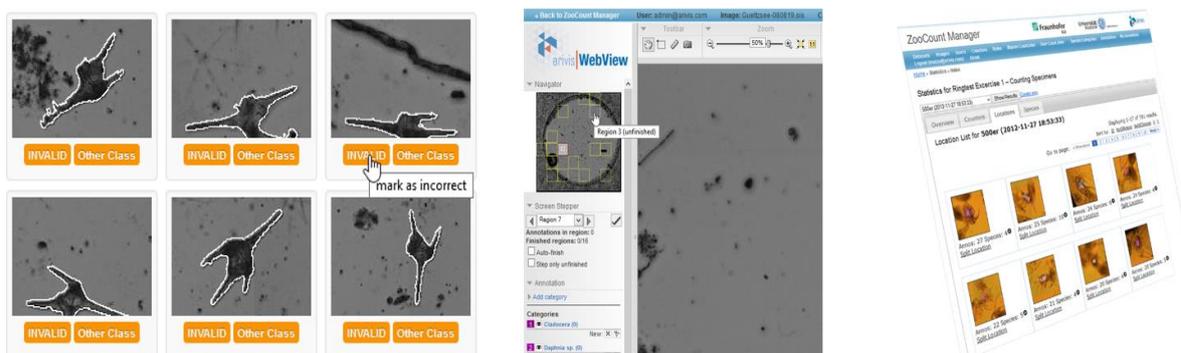
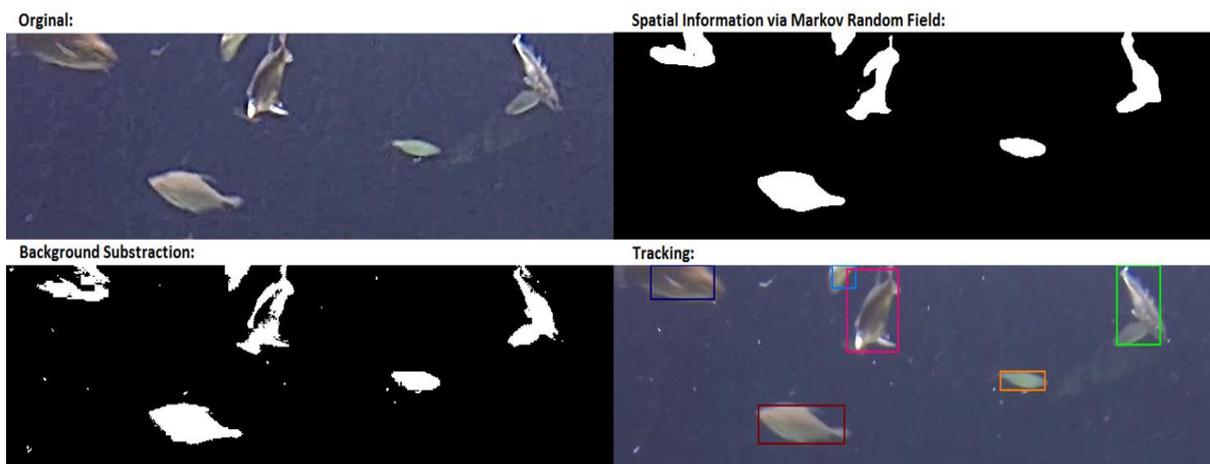


Abbildung 2: Forschungsarbeiten des Fraunhofer IGD im Bereich der Fischsegmentierung und Tracking (obere Reihe) und einige Elemente der graphischen Benutzerschnittstelle vom ZooCount-System (unterer Reihe).

Figure 2: Research of Fraunhofer IGD in the field of fish segmentation and tracking (upper row) and elements of the graphical user interface from ZooCount system (lower row).

4.4. Flugzeuggestützte Hyperspektralmessungen mit Hilfe des Hypspec Sensors

Institutionen: DLR

Ansprechpartner: C. Köhler

Das DLR betreibt im Rahmen des Nutzerservice OpAIRS einen Hyperspektralsensor vom Typ HySpex. Das von der Firma NEO hergestellte System besteht aus zwei Sensoren, die aufwärts gerichtete Radianzen im Spektralbereich vom Sichtbaren bis zum nahen Infrarot abdecken (420-2500 nm). Aus denen vom DLR prozessierten Level 2 Daten (atmosphärenkorrigierte, orthorektifizierte Reflektanz) lassen sich über verschiedene Inversionsverfahren u.a. Inhaltsstoffe und Tiefe von flachen Gewässern bestimmen.

4.5. Georeferenziertes UW-Monitoring

Institution(en): Uni-Rostock

Ansprechpartner: Gerd Niedzwiedz, Gesche Kohlberg, Dirk Schories

Bei normalen UW-Sichtweiten von 1-5 m (nur selten ist es mehr) fällt selbst erfahrenen Tauchern die Orientierung unter Wasser nicht leicht. Mehrmaliges Aufsuchen desselben Arbeitsplatzes in bestimmten zeitlichen Abständen ist entsprechend schwierig. Dies steht im Gegensatz zur Reproduzierbarkeit wissenschaftlicher Ergebnisse. Um die **taucherische Geo-Referenzierung zu verbessern, werden an der Uni-Rostock entsprechende Systeme entwickelt.**

Ein Verfahren, welches die Ortsbestimmung des Tauchers zu jedem Zeitpunkt des Tauchganges in Echtzeit oder nachgelagert erlaubt, wäre demnach eine grundlegende wissenschaftliche Methode zur Erhöhung der Qualität der wissenschaftlichen Taucherarbeit einerseits. Andererseits ist die verbesserte UW-Navigation für den Taucher auch immer eine Frage der Sicherheit: er sollte ja stets und zügig zum Ausgangspunkt (Schiffsposition) auch ohne fesselnde Signalleine zurückfinden.

Die Verwendung eines UW-GPS ist eigentlich eine naheliegende Lösung. Ein am FTZ entwickeltes System für georeferenziertes UW-Monitoring besteht gerätetechnisch aus:

- einem GPS-Handheld (Garmin 76er Serie) eingebaut in ein UW-Gehäuse (Sealux, Kempton) mit voller Bedienbarkeit durch den Taucher
- einer GPS-Antenne, platziert auf einer Oberflächenboje
- einem HF-tauglichen Verbindungskabel zwischen Antenne und Handheld
- und optional aus :
- UW-Foto / Videokamera
- CTD-Sonde zur Datenerfassung oder Tauchcomputer (Messung von Tiefe und Wassertemperatur)
- UW-Scooter

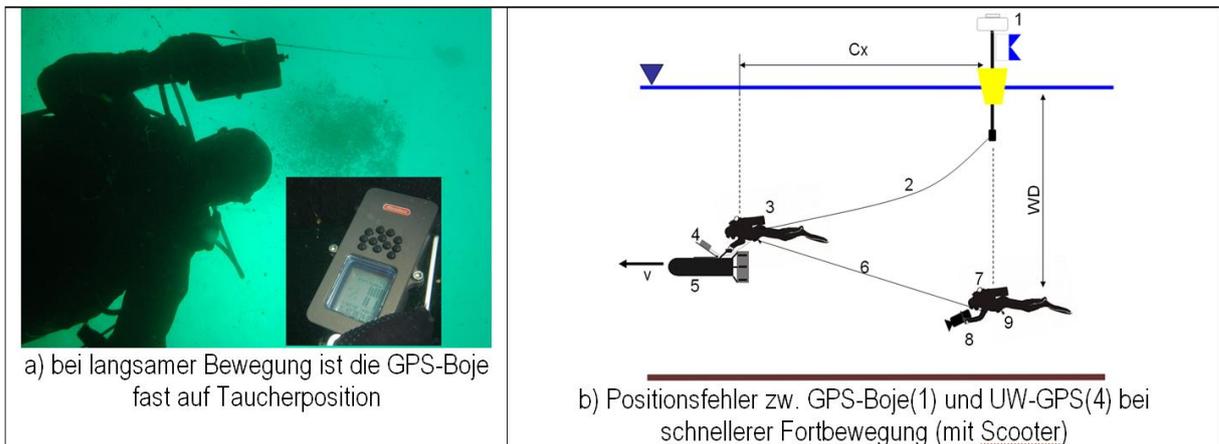


Abbildung 3: Unterwasser GPS-Einsatz.

Figure 3: Underwater use of GPS.

Besonderer Wert wurde (im Gegensatz zu vielen anderen Anwendungsideen) bei der Rostocker Lösung darauf gelegt, eine Korrektur der Taucherposition im Vergleich zur GPS-Bojenposition zu ermöglichen (vgl. Abb. 3). Ohne tiefer ins Detail zu gehen, kann mit dieser Technologie der Forschungstaucheinsatz qualitativ wesentlich verbessert werden:

- der Taucher findet immer (wie mit einem Straßen-Navi) sein Ziel.
- die Taucherposition ist und bleibt zu jedem Zeitpunkt des Tauchganges bekannt (als Trackdatei) aufgezeichneten Daten können geografische Position und Wassertiefe zugeordnet werden (georeferenzierte Umweltdaten, 3D-Rekonstruktion des Tauchganges ist möglich, Abb. 4).
- es entstehen georeferenzierte UW-Fotos und -Videos, darstellbar in anderer GIS-Software (auch in Google-Earth).

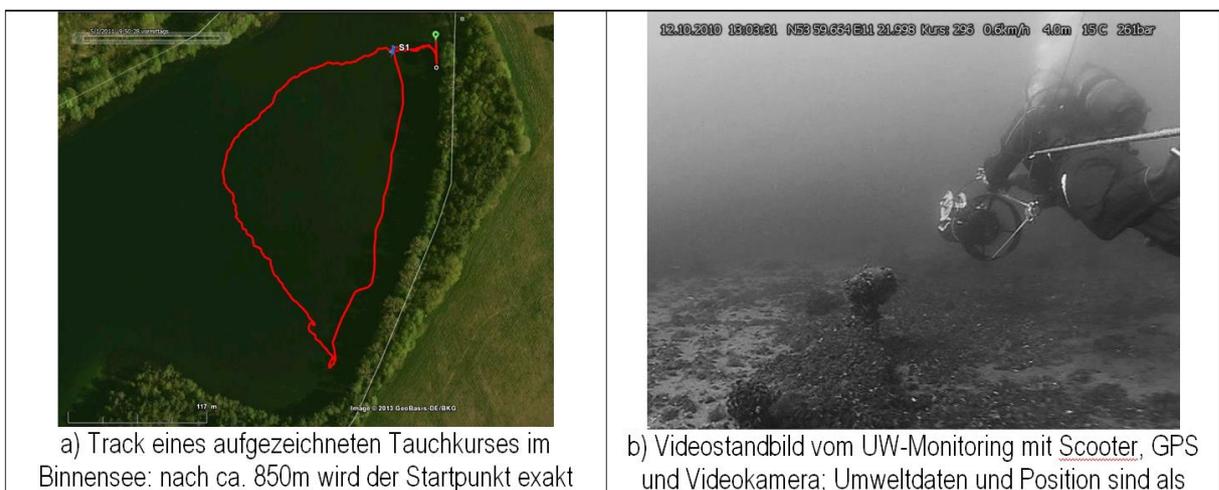


Abbildung 4: Praktischer UW-Einsatz

Figure 4: In-situ underwater use.

Die Gerätetechnik wird ergänzt durch eine teilweise am FTZ entwickelte Software, die alle während des Tauchganges erfassten Daten miteinander synchronisiert und in eine darstellbare Form bringt.

4.6. HISEM - High sensitive methane monitoring

Institution(en): GEOMAR

Ansprechpartner: Mark Schmidt

Ein neuartiges Unterwasser-Messsystem, welches sowohl für die Leckagemessungen im Bereich der Offshore Öl- und Gasförderung, als auch für ozeanographisch-wissenschaftliche Fragestellungen anwendbar ist, konnte im Rahmen der MARTECH-Förderung entwickelt werden (Abb. 5). Das Messprinzip basiert auf der Konzentrationsbestimmung von Methan (oder höherer Kohlenwasserstoffe) mittels durchstimmbarer Laserdioden Infrarot Spektrometrie. Das Messsystem deckt zurzeit einen Konzentrationsbereich von 1-40.000 ppm CH₄ ab und hat eine Reproduzierbarkeit von ± 1 ppm. Der Konzentrationsbereich entspricht einer im Meerwasser gelösten Methan-Konzentration von ca. 2 nM bis 75 μ M. Die Einsatztiefe beträgt zurzeit 3000 m und das System wurde erfolgreich im Rahmen einer ROV-Messkampagne (Simulation einer Leckage-Detektion im Santa Barbara Channel, USA) und einer Lander gestützten Dauermesseinrichtung (Blowout in der Nordsee, GB) getestet. Die im Rahmen dieses Projektes erzielten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse sind unter SCHMIDT et al. (2013) und ESSER et al. (2013) publiziert.

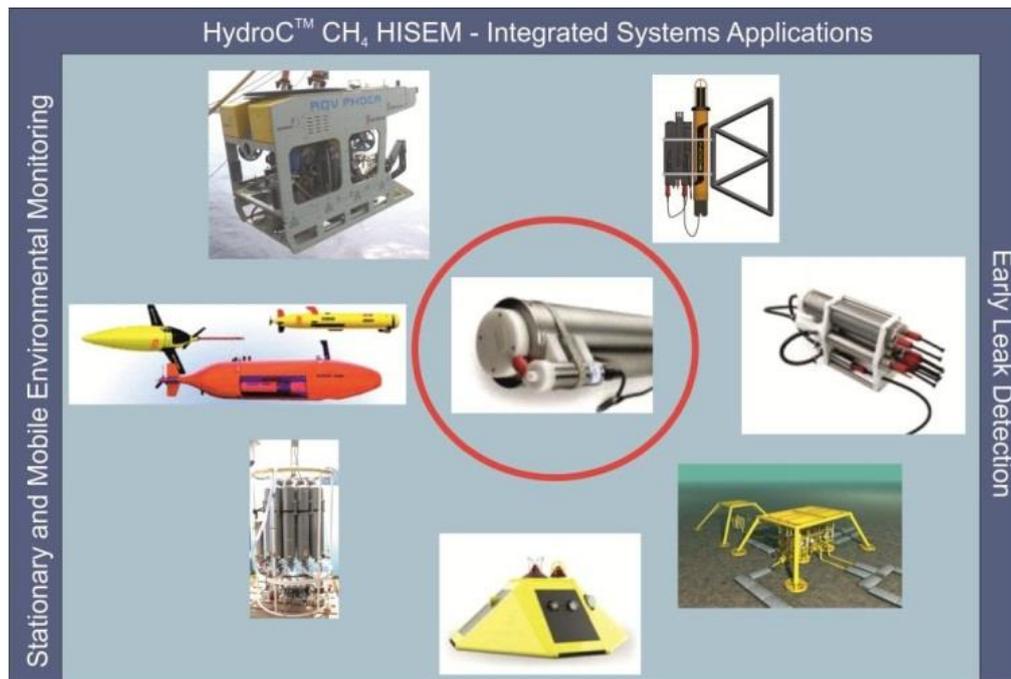


Abbildung 5: Integration des HISEM (HydroCplus) in verschiedene Geräteträger, wie sie, sowohl in der Öl- und Gasindustrie als auch in der marinen Forschung, Verwendung finden.

Figure 5: System integration of the ISEM (HydroCplus) into different carrier and platforms as used in oil and gas industries or marine research.

4.7. IRCam – Infrarot Kamerasystem zum Erfassung von „Flux Feeding“

Institution(en): AWI, MARUM, Uni-Bremen

Ansprechpartner: Christian Konrad, Morten Iversen

In der Helmholtz Nachwuchsgruppe SeaPump – Seasonal and regional food web interactions with the biological pump – der Universität Bremen, MARUM, und AWI werden automatisierte optische Unterwassermessgeräte für die Erfassung von sinkenden Partikeln und Zooplankton entwickelt. Die IRCam (Abb. 6) ist ein Kamerasystem mit einer infraroten Lichtquelle zur Bestimmung der Interaktion von sinkendem Meeresschnee (Marine Snow) und Zooplankton, sowie der *in-situ* Beobachtung des Fraßprozesses von Zooplankton an Partikeln. Die IRCam besteht aus eine Basler acA1300gc Kamera mit einem Festbrennweitenobjektiv (16 mm), sowie einem auf einem Raspberry PI B+ basierenden Steuersystem. Als Lichtquelle wird eine Flächenbeleuchtung mit infraroten LEDs eingesetzt, welche gegenüber der Kamera angeordnet ist. Das Einsatzgebiet der IRCam ist eine Plattform, welche in einer wählbaren Wassertiefe treibt (typisch direkt unter der photischen Zone). Typische Einsatzzeiten sind ca. 24h um Tag- und Nachtunterschiede im Aufenthalt von Zooplankton aufgrund vertikaler Wanderung zu erfassen. Das Kamerasystem treibt mit der Wasserströmung und macht drei Bilder pro Sekunde. Dadurch wird ein Partikel im

mehreren Bildern erfasst. Die Nutzung von infrarotem Licht beeinflusst das Verhalten von Zooplankton nicht und dessen natürliches Fraßverhalten kann erfasst werden.

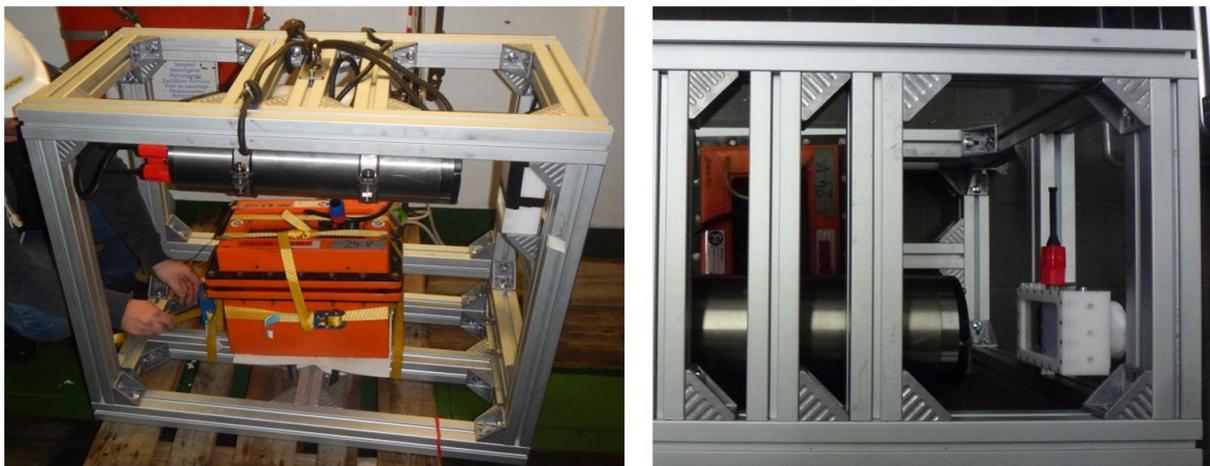


Abbildung 6: Links: IRCam an Deck von FS Poseidon. Rechts: IRCam von oben. Die Partikel, die zwischen der Kamera und der Lichtquelle sinken, werden in den Bildsequenzen erfasst.

Figure 6: Left: IRCam on board RV Poseidon. Right: IRCam top-view. The particles sinking between camera and light source are recorded in image sequences.

4.8. KielVision

Institution(en): Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR); Christian-Albrechts-Universität Kiel (Institut für Informatik)

Ansprechpartner: Jan Büdenbender, Anne Jordt-Sedlazeck, Rainer Kiko, Reinhard Koch, Ulf Riebesell

In Kooperation mit einem deutschen Ingenieurbüro (Develogic GmbH Subsea Systems, Hamburg) wurde ein **hoch auflösendes Kamerasystem für die nicht invasive, quantitative *in-situ* Vermessung von aquatischen Partikeln und Mesozooplankton in geringen Einsatz Tiefen** (momentan bis 50 m) entwickelt.

Die KielVision (Abb. 7) wiegt 20 kg, ist kabelgebunden und kann mit einer einfachen Autobatterie betrieben werden. Dennoch arbeitet in ihr eine High-End Kamera (Dalsa Falcon 2, monochrom, 12 MPix) und ein leistungsstarker Rechner der Bilddaten von bis zu 180 MB pro Sekunde verarbeiten kann (bei voller Auflösung 15 fps). Die aufgenommenen Bilder werden im Rohformat gespeichert. Eine gleichzeitig angelegte Log Datei enthält Bildindices, Zeit- und Tiefeninformationen und macht die erhobenen Daten kompatibel für automatisierte Bildanalyseverfahren wie z.B.: ZooProcess¹⁸.

¹⁸ <http://www.obs-vlfr.fr/LOV/ZooPart/ZooScan/>



Abbildung 7: Zeichnung (Develogic, 2013) und Foto (T. Boxhammer, 2014) des KielVision Systems bei einer Langzeitmesokosmen Studie auf den Kanaren.

Figure 7: Drawing (Develogic, 2013) and photo (T. Boxhammer, 2014) of the KielVision System in a long term mesocosm study on the Canaries.

Das **abgebildete Volumen kann zwischen ~ 1000 & 10 ml** variiert werden. Die untere Auflösungsgrenze liegt, in Abhängigkeit von dem eingestellten Volumen, zwischen 60 & 15 μm pro Pixel. Der Blitz wird durch einen quadratischen LED-Rahmen im **625 nm Wellenlängenbereich** generiert und erlaubt **Belichtungszeiten von 500 bis 100 μs** . Das System wurde speziell für den flexiblen Einsatz z.B. von einem Schlauchboot entwickelt und ist dadurch unabhängig von größeren Schiffen und Seilwinden und kann auch in Versuchsanlagen wie Mesokosmen eingesetzt werden. Eine Erweiterung um einen Akkupack ist möglich und würde auch größere Einsatziefen erlauben (das Gehäuse ist momentan für Tiefen bis 200 m konzipiert).

4.9. LOKI - Lightframe On-sight Keyspecies Investigation

Institution(en): AWI, ICBM

Ansprechpartner: Jan Schulz, Hans-Jürgen Hirche, Barbara Niehoff, Nicole Hildebrandt

Das **Lightframe On-Sight Keyspecies Investigation (LOKI) System** (SCHULZ et al. 2010) bezeichnet eine Technologie zur Beprobung von Partikeln und planktischen Organismen in der Wassersäule. Die Entwicklung begann 2003 und wird 2016 in einer Kooperation zwischen ICBM, AWI und dem KMU iSITEC (Bremerhaven) fortgeführt. Zielgrößen sind Objekte zwischen 100 μm und 25 mm. Entsprechende Anpassungen auf andere Bereiche sind möglich.

Der Workflow deckt dabei alle relevanten Schritte ab, von der eigentlichen sensorischen Detektion (Partikel, Biota und Umweltparametern), über die Kommunikation durch die Wasser/Luft-Schnittstelle, das primäre Prozessieren und das Extrahieren von relevanten Information für marine Fragestellungen (Abb. 8a).

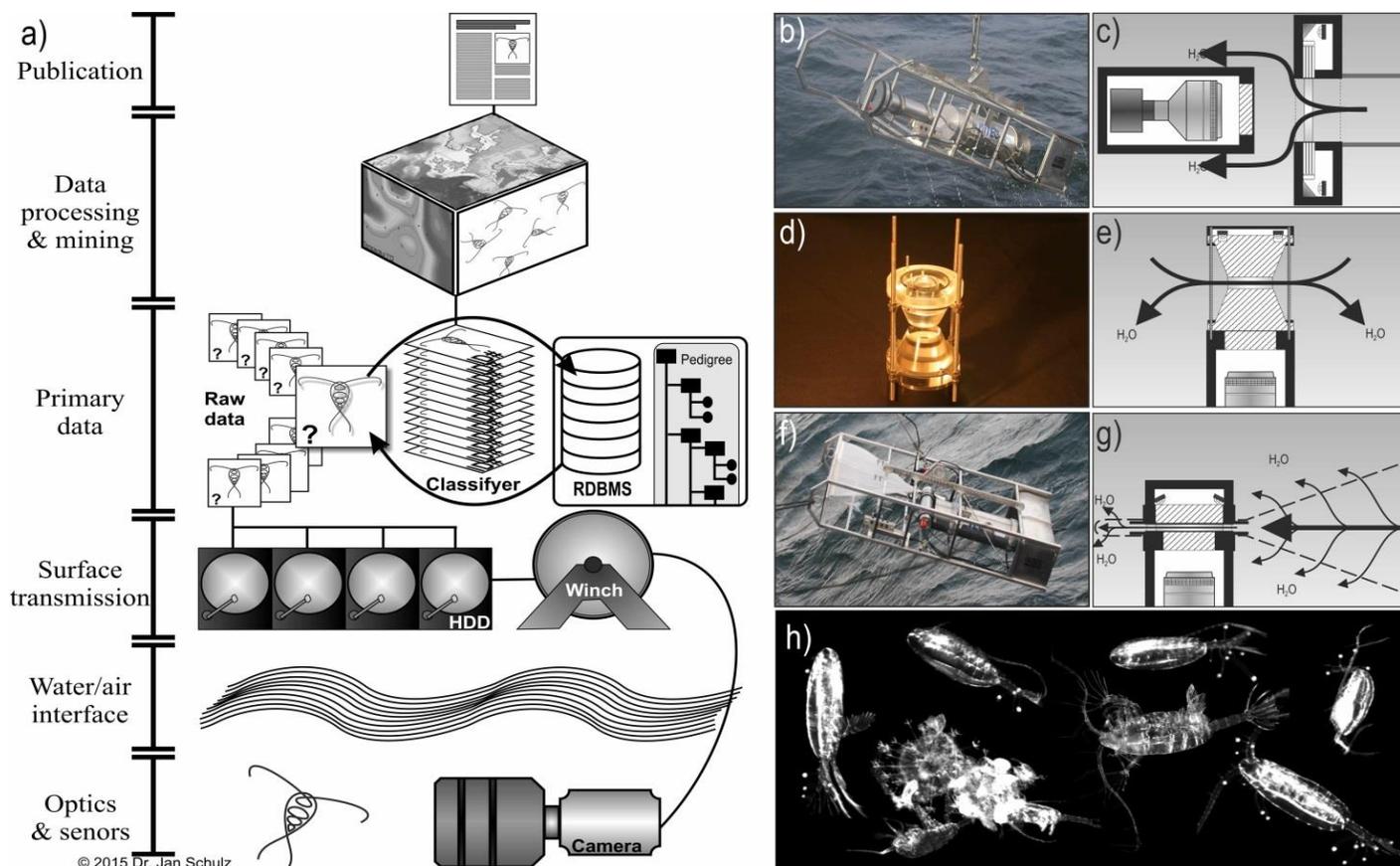


Abbildung 8: LOKI-System. a) Technische Übersicht über die einzelnen Systemebenen vom Sensor bis hin zur Datenauswertung. b+c) Lichtringsystem zur freien Aufnahme in der Wassersäule. d+e) Lichtdom als Lichtleitersystem zur optimalen Ausleuchtung der Beobachtungsfläche zwischen den zwei Kegeln beim Einsatz auf Moorings. f+g) Küvettensystem mit vorgeschaltetem Netz zum Aufkonzentrieren. h) Beispiele verschiedener Plankter mit epibiontischem Aufwuchs oder in Assoziation mit anderen Objekten aus dem Sogne-Fjord, Norwegen, November 2014, Forschungsschiff Heincke.

Figure 8: LOKI System. a) Technical overview of the individual system levels, from sensor to data evaluation. b+c) Light ring illumination head for imaging in the water column. d+e) Light dome illumination used as light piping systems for optimized illumination of the observed area between the cones when used on mooring. f+g) Cuvette system with concentrating net upstream of the imaging unit. h) Example of different plankton specimens carrying epibionts or being associated with other objects from the Sognefjord, Norway, November 2014, RV Heincke.

Grundlegend wird ein zu beprobendes Volumen optisch und/oder physikalisch begrenzt. Dies wird durch eine Reihe modularer und austauschbarer Lichtköpfe erreicht (Abb. 8b-g). Hierdurch können hohe Trübstofffrachten und Objekte außerhalb der Fokusebene ausgeblendet werden. Dies führt zu qualitativ äußerst hochwertigen Bildinformationen, die bei verschiedenen Biota die Identifikation bis hinunter auf Stadium und Geschlecht erlauben (Abb. 8h). Für verschiedene Anwendungsszenarien wurden speziell auf die Fragestellung zugeschnittene Lichtköpfe entwickelt.

4.10. Luft-Fernerkundung der Oberflächenmorphologie von Gewässern und Küste

Institution: Jade Hochschule Wilhelmshaven, ICBM

Ansprechpartner: Jens Wellhausen, Jan Schulz

An der Jade Hochschule wird ein kostengünstiges Verfahren zur luftgestützten Fernerkundung entwickelt. Basis ist ein Flugzeug der Klasse Reisemotorsegler (TMG), welches sich durch vergleichsweise kostengünstigen Flugbetrieb auszeichnet und dabei zwei Personen (Pilot/Forscher+Forscher) mit Messausrüstung über mehrere Stunden und mehrere 100 km transportieren kann. Erste Versuche mit auf diese Weise erzeugten Luftbildern im sichtbaren Spektralbereich zeigen, dass es so möglich ist, über große Flächen hinweg die feinskaligen Eigenschaften von Wellen auf der Wasseroberfläche zu quantifizieren.

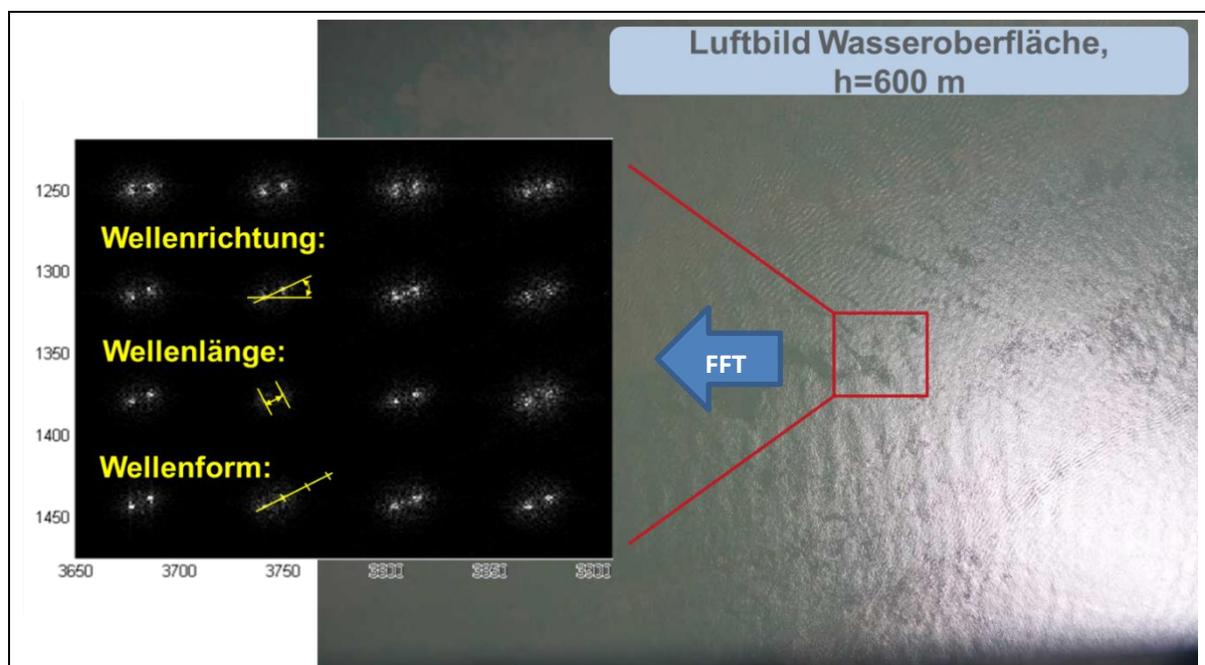


Abbildung 9: Bestimmung der Welleneigenschaften aus Luftbildern. Zweidimensionale Fourier-Transformation liefert Information über Wellenrichtung, Wellenlänge und Wellenform.

Figure 9: Determination of wave properties of aerial photographs. Two-dimensional fourier-transformation provides information on wave direction, form and length.

Luftaufnahmen aus einer Flughöhe von ca. 600m werden dazu in Blöcke zerlegt und vorverarbeitet (Abb. 9). Dabei wird der Kontrast optimiert und Effekte wie Sonnenspiegelungen auf der Oberfläche geglättet. Im Anschluss wird das Bild mittels zweidimensionaler Fourier-Transformation in den Frequenzbereich transformiert. Nun werden im Spektrum grundsätzliche Eigenschaften der Oberflächenwellen deutlich. Dazu gehören Wellenlänge, Wellenrichtung und Wellenform (Oberwellengehalt). Überlagerungen von verschiedenen Wellenausbreitungen in einem Bereich werden ebenfalls sichtbar und separierbar. Über Metriken, die auf den Farbraum der Bilder angewendet werden, können zudem charakteristische Unterschiede in den Ufer- und Strandbereichen unterschieden werden (Dünenklassifikation, Sedimente, Spülflächen, etc.).

4.11. ParCa Pro - Particle camera

Institution(en): MARUM

Ansprechpartner: Nicolas Nowald

ParCa Pro ist die dritte Generation (RATMEYER & WEFER 1996; IVERSEN et al. 2010) eines profilierenden, digitalen Fotokamerasystem zur vertikalen Erfassung mariner Partikel in der Wassersäule mit einer maximalen Einsatztiefe von 4000 m. Das System besteht aus der Kamera, einer Steuerelektronik für den Blitz, dem Blitzkopf, einer SBE PDIM Telemetrie (Power Data Interface Module), einer SBE 19 CTD Sonde und einer 24V/38 Ah Batterie (Abb. 10). Alle Einheiten sind in einem galvanisierten Stahlrahmen installiert. Das Gesamtgewicht beträgt 250 kg. Die Kamera besteht aus einer modifizierten, analogen PhotoSea 70 Mittelformatkamera mit einer aufgesetzten 16 Megapixel *Kodak Pro Back* Digitalisierungseinheit. Der Blitzkopf ist im rechten Winkel zur optischen Achse der Kamera montiert und erzeugt einen kollimierten Lichtblock von 12 cm Breite. Das beleuchtete Probenvolumen beträgt 11 l und die Optik löst Partikel bis 90 µm auf. Eine SBE 36 Telemetrieinheit ermöglicht die volle Kontrolle über das System während des Einsatzes am Einleiterdraht des Schiffs. Der Mikroprozessor verarbeitet die Druckdaten der CTD in Echtzeit und löst die Kamera nach vorgegebenen Tiefenintervallen, in der Regel alle 10 m, aus. Nach dem Einsatz werden die Bilder von der Speicherkarte des *Pro Backs* heruntergeladen und mit einer Bildanalysesoftware ausgewertet (Partikelkonzentration und -größe).

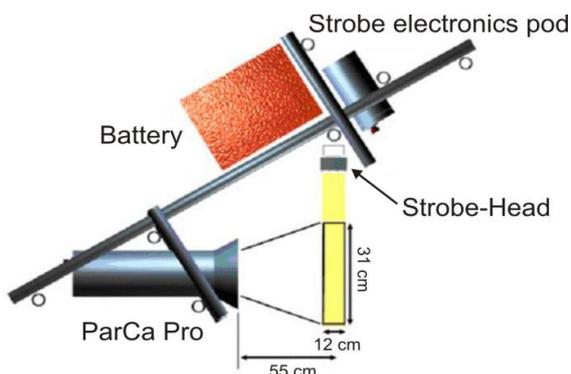
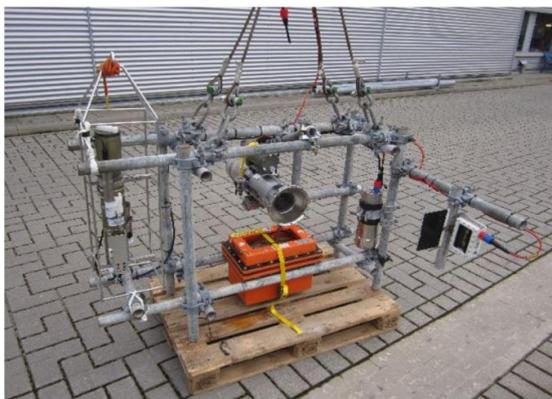


Abbildung 10: ParCa Pro Kamerasystem.

Figure 10: ParCa Pro camera system.

4.12. PCAM - Laser sheet camera

Institution(en): MARUM, Uni Bremen

Ansprechpartner: Christian Winter, Gabriel Herbst

Die AG Winter am MARUM, Uni Bremen entwickelt Unterwasserkamerasysteme für die fotografische Erfassung von Partikeln in der Wassersäule. Dabei wird mit einer hochauflösenden Kamera auf ein durch einen Linienlaser beleuchtetes Probevolumen fokussiert. Die Kamerasysteme werden autonom (auf Meeresbodenobservatorien, Lander), online im Labor oder schiffsgestützt eingesetzt (Abb. 11). Das optische Verfahren PCAM zielt auf die *in-situ* Erfassung von Schwebstoffen in der Wassersäule. Da feinkörniges und kohäsives Material im marinen Bereich meist in fragilen Aggregaten vorkommen, und diese grundsätzlich andere (physikalische) Eigenschaften aufweisen als die Einzelpartikel, ist eine zerstörungsfreie ungestörte Beobachtung und Quantifizierung notwendig. Eine ungestörte mechanische Beprobung von Flocken und Aggregaten ist nicht möglich und andere *in-situ* Geräte für Partikelgrößenverteilungen (z.B. LISST) sind methodisch nur eingeschränkt für marine Aggregate anwendbar.

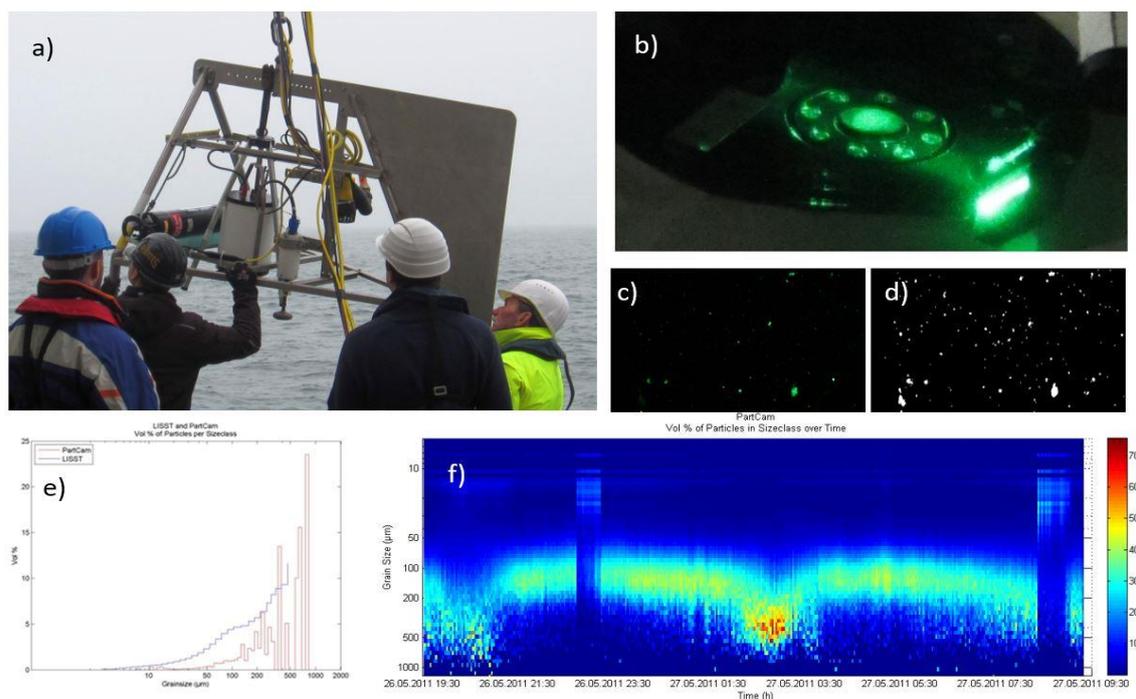


Abbildung 11: MARUM Partikelkamera "PCAM II" (G. Herbst & C. Winter) a) Einsatz in Tidengewässern im Messrahmen: PCAM II mit Sequoia LISST100X, ECM-CTD an Bord FS Heincke; b) Messvolumen im Laserfeld, c) Originalbild Partikel, d) optimiertes Binärbild Partikel, e) berechnete Partikelgrößenverteilung durch Bildanalyseverfahren, f) Zeitreihe der berechneten Partikelverteilung für einen Tidezyklus.

Figure 11: MARUM particle camera "PCAM II" (G. Herbst & C. Winter) a) use in tidal waters mounted to a lander unit: PCAM II with Sequoia LISST100X, ECM-CTD aboard RV Heincke; b) measuring volume in laser field, c) original image of particles, d) optimized binary image of particles, e) particle size distribution calculated through image analysis technique, f) time series of calculated particle distribution for one tidal cycle.

4.13. Photogrammetrie und 3d Maschinensehen

Institution(en): GEOMAR, Uni-Kiel

Ansprechpartner: Kevin Köser, Anne Jordt-Sedlazeck, Tom Kwasnitschka, Reinhard Koch

In der Arbeitsgruppe Multimediale Informationverarbeitung der Universität Kiel wurden Techniken des automatisierten 3D Unterwasser-Maschinensehens entwickelt, die auf physikalischen Modellen zur Unterwasserlichtausbreitung und photogrammetrischen Methoden basieren. Diese Verfahren und Modelle zur Kamerakalibrierung und vollautomatischen optischen Vermessung werden nun gemeinsam mit der DeepSea Monitoring Group (Forschungseinheit Marine Geosysteme) am GEOMAR weiterentwickelt:

So ist es aus Video- oder Fotosequenzen einer bewegten Kamera (geschleppt, AUV, ROV, handgeführt vom Taucher, u.v.m.) möglich, sowohl die Kamerabewegung als auch die Geometrie und Farbe der beobachteten Oberflächen zurückzugewinnen („simultaneous

localization and mapping“ oder „structure from motion“), wie etwa in JORDT-SEDLAZECK et al. (2009) demonstriert. Die Voraussetzung hierfür ist, dass genügend unterscheidbare visuelle Struktur in den Bildern vorhanden ist, wie z.B. Muster oder Strukturen am Meeresboden, und dass die aufgenommene Umgebung im Wesentlichen statisch ist. Der Kern des vollautomatischen Verfahrens detektiert dabei markante Bildmerkmale wie Ecken, Punkte, Muster oder Flecken und sucht die korrespondierenden Bildpositionen in weiteren Bildern oder Videoframes mittels optischen Flusses oder Vergleich von Signaturen (siehe auch Abb. 12). Die gleichzeitige, geometrische Analyse von hunderten verfolgter Merkmale über mehrere Bilder und genaue Kenntnis des Abbildungsmodells erlaubt es dann, die relative Kamerabewegung präzise zu errechnen und die 3D Positionen der Merkmale maßstabsgetreu im 3D Raum zu bestimmen. Diese Technik kann auf Sequenzen von tausenden Bildern angewendet werden. Mittels USBL, LBL (oder im Flachwasser auch Schiffs-GPS oder Boje) kann die Kamerabewegung dann georeferenziert werden, ebenso können weitere Sensoren wie DVL, Inertial-/Raumlagesensoren oder Kalibrationsmuster in die Schätzung fusioniert werden, etwa um den Rekonstruktions-Maßstab zu bestimmen. In einem weiteren Schritt wird dann für jedes Pixel in jedem Bild die Entfernung zur Kamera errechnet und so ein bathymetrisches 3D-Modell gewonnen, wie es von akustischen Verfahren bekannt ist. Durch die hohe Auflösung der Kameras sind Genauigkeiten im cm-Bereich und darüber hinaus möglich. Weiterhin bietet der Einsatz vor Ort an, Umgebungen und Objekte von allen Seiten oder von innen zu betrachten, so dass echte 3D Freiform-Modelle von Überhängen, Höhlen und vertikalen Strukturen gewonnen werden können. Damit eignet sich diese visuelle 3D Kartierung nicht nur für einfache Höhenkarten sondern auch für das Monitoring von Korallen, Vulkanen oder Hydrothermalfeldern mit steilen Schloten und ermöglicht die Analyse von geologischen Strukturen wie Schichten oder Verwerfungen.

Die Genauigkeit hängt wesentlich davon ab, dass die Lichtbrechung am Kameragehäuse berücksichtigt und die Kamera korrekt kalibriert¹⁹ wird, wobei kleine Korrekturen in einem finalen Optimierungsschritt mit errechnet werden können, siehe auch JORDT-SEDLAZECK & KOCH (2013). Störungen der Annahme einer statischen Szene wie einzelne Fische oder variierende Beleuchtung werden von robusten Schätzalgorithmen genauso toleriert wie sporadisch auftretende Fehlzuordnungen der automatischen Korrespondenzverfahren, etwa bei wiederholten Bildstrukturen oder uninformativen Mustern.

Zusätzlich zur reinen Geometrie liefert das Verfahren auch pixelweise die Farbe der Oberfläche. Bei geeigneten Lichtverhältnissen kann diese auch mithilfe von physikalischen Modellen um die entfernungs- und wellenlängenabhängige Wasserabsorption korrigiert werden (SEDLAZECK et al. 2009). Dieselbe Technik kann auch für Mehrkamerasysteme angewendet werden, z.B. Stereokameras, was auch die 3D Vermessung der Größe, Form und Bewegung von artikulierten, sich dynamisch verändernden oder sich schnell bewegenden Objekten, wie z.B. Fischen, prinzipiell ermöglicht.

¹⁹ <http://www.geomar.de/go/cameracalibration-e>

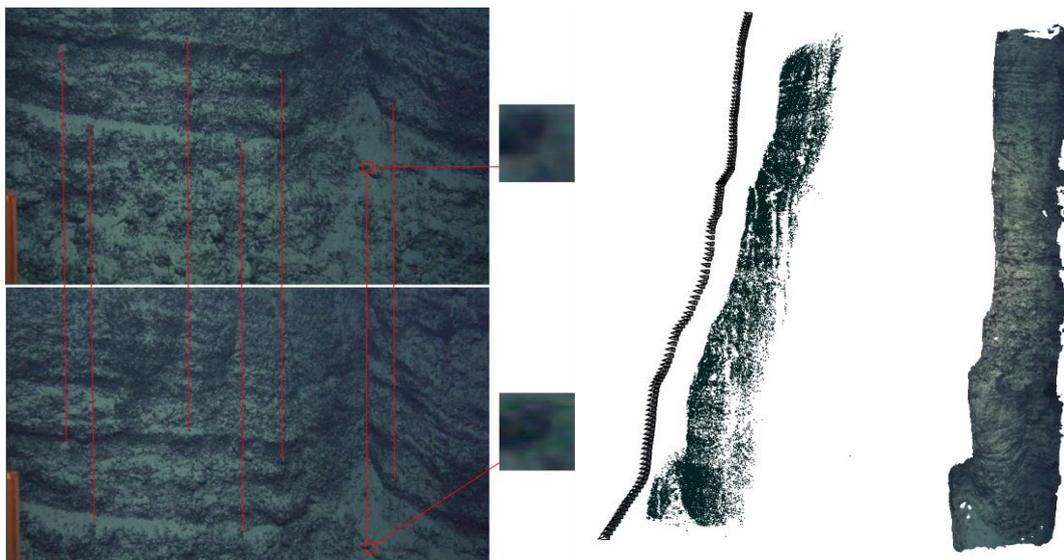


Abbildung 12: 3D-Rekonstruktion am Beispiel einer steilen Unterwasservulkanwand in 3500m Tiefe in der Nähe der Kapverdischen Inseln, siehe auch KWASNITSCHKA (2013). Linkes Bild: Beispielkorrespondenzen (rote Linien) aus zwei Videoframes mit Ausschnittvergrößerung eines automatisch verfolgten markanten Merkmales. Jeder Videoframe zeigt nur einen kleinen Ausschnitt des Vulkans, da während des Tauchvorgangs des ROVs ca. 2,5m Abstand zur Wand gehalten wurden. Mitte: Geschätzter ROV-Pfad aus 2700 Videoframes (horizontale Pyramiden symbolisieren die Kameralage) und 3D Positionen der benutzten Merkmale. Rechts: Automatisch generiertes 3D Modell für die geologische Interpretation.

Figure 12: 3D reconstruction example of an underwater vertical precipice at 3500 m depth near Cape Verde, see KWASNITSCHKA (2013). Left image: Example correspondences (red lines) from two video frames with enlargement of an automatically tracked striking feature. Each video frame only shows a small part of the volcano, as the ROV kept an underwater distance of 2.5 m to the precipice. Middle image: Estimated ROV path from 2700 video frames (horizontal pyramids symbolise the camera position) and 3D positions of used features. Right image: Automatically generated 3D model for geological interpretation.

Am GEOMAR werden solche photogrammetrischen Techniken u.a. in der Analyse submariner Vulkane, zur Kartierung und zum Monitoring von Hydrothermal- oder Manganknollenfeldern eingesetzt oder als Basismodell um andere biologische, geologische oder geochemische Parameter zu referenzieren und in 3D/4D zu visualisieren. In der Tiefsee werden die Fotos und Videos typischerweise von AUVs oder ROVs aufgenommen, während im Flachwasser auch von Tauchern handgeführte Consumer-Kameras zum Einsatz kommen. Es werden sowohl optische Flatports (planare Glasscheibe im Kameradruckzylinder) wie auch Domeports (Glashalbkugel) eingesetzt, die sich hinsichtlich Brechung und Fokusverhalten stark unterscheiden. Die gewonnenen 3D Modelle erlauben dann die nachträgliche Vermessung und Analyse etwa von geologischen Unterwasserstrukturen wie Vulkankratern

im ARENA-Labor²⁰. Ähnlich wie bei klassischer geologischer Feldarbeit ermöglicht dies die Betrachtung des Meeresbodens als Ganzes, obwohl im Originalvideo nur sehr kleine Ausschnitte zu sehen waren, sowie die Diskussion der Beobachtungen mit mehreren Kollegen. Neben der Rekonstruktionstechnik aus bewegten Kameras werden in der Forschungseinheit „Marine Geosysteme“ am GEOMAR auch andere bildbasierte, automatisierte Unterwasser-Photogrammetrie-Ansätze verfolgt, etwa für landerbasierte Langzeitbeobachtungen mit Stereo-Kameras oder zur Gasblasenvermessung in der Nordsee oder Arktis (etwa zur Abschätzung des Methanflusses) und weitere.

4.14. PSICAM – Point Source Integrating Cavity Absorption Meter

Institution(en): HZG

Ansprechpartner: Rüdiger Röttgers, Jochen Wollschläger

Am HZG wurde ein Laborgerät zur genauen Absorptionsmessung von Seewasserproben entwickelt. Phytoplankton Algen, Sediment und Detritus in der Wasserprobe streuen Licht und machen so die Absorptionsmessung des Mediums mit den meisten Techniken schwierig und ungenau. Mit Hilfe einer entwickelten **PSICAM** (*point-source integrating-cavity absorption meter*), die wie eine Ulbricht-Kugel wirkt, kann der Streueffekt minimiert werden. Das theoretische Konzept wurde in den 1990er Jahren von Kirk beschrieben. Röttgers und Kollegen haben das PSICAM Konzept weiterentwickelt und für reguläre hyperspektrale Seewasser-Absorptionsmessungen nutzbar gemacht (RÖTTGERS et al. 2005; RÖTTGERS et al. 2007; RÖTTGERS & DOERFFER 2007). In Zusammenarbeit mit der TriOS GmbH (Deutschland) und auf Grundlage der PSICAM wurde das kommerzielle **OSCAR-Absorptionsmessgerät** entwickelt, das sowohl im Labor, als auch für in-situ-Profilierungen oder Verankerungen eingesetzt werden kann.

4.15. PVS - Particle Video Recording System

Institution(en): MARUM

Ansprechpartner: Nicolas Nowald

Das *Particle Video Recording System* (NOWALD et al. 2014), ist ein HD Videokamerasystem zur Erfassung partikulären Materials in der Wassersäule und wurde speziell für den Einsatz in Langzeitverankerungen entwickelt (Abb. 13). Die Komponenten des Systems, bestehend aus Kamera, Blitzkopf, Blitzelektronik und einer DSPL 12V Batterie, sind in einer 2,30 m hohen, hexagonalen Plattform mit Aufhängepunkten für Verankerungsleinen untergebracht. Der Sony HD Camcorder hat eine Standard HD Auflösung von 1440 x 1080 Bildpunkten und wird per Mikrocontroller über das kameraeigene LANC Interface programmiert. Die Kamera wird in

²⁰ <http://www.geomar.de/go/arena>

der Regel in Kombination mit Sedimentfallen für ein Jahr verankert und zeichnet alle 3 Tage eine Sequenz von 30 Sekunden auf. Ein spezieller 50 Hz Seastrobe 2000 Stroboskopblitz, erzeugt einen kollimierten Lichtblock von 12 cm Breite. Das Probenvolumen beträgt 6,5 l, in welchem Partikel ab einer Größe von 200 μm erfasst werden. Die Aufzeichnung erfolgt auf einem DV Band mit einer Laufzeit von 60 Minuten. Das Band wird nach Bergung der Plattform auf einem PC digitalisiert und, entsprechend des Aufnahmedatums, in einzelne Sequenzen unterteilt. Anschließend erfolgt die Auswertung der Sequenzen mittels digitaler Bildanalysesoftware, die Partikelkonzentration und -größe berechnet.

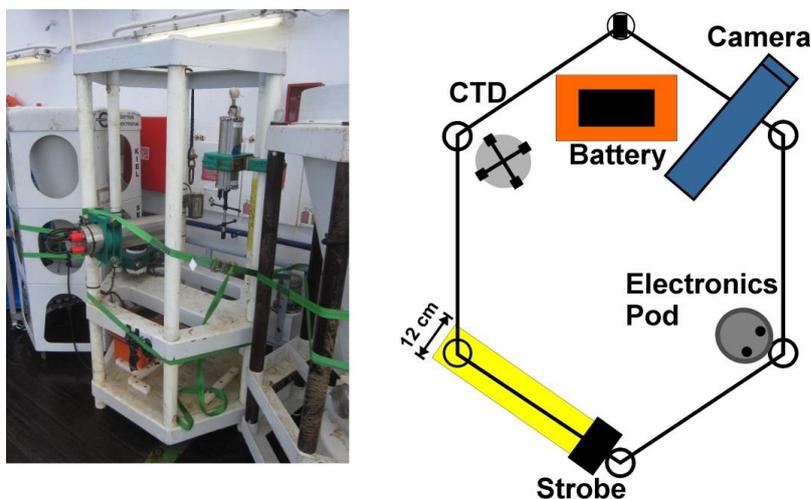


Abbildung 13: PVS Plattform an Deck von FS Poseidon und schematischer Aufbau des Systems.

Figure 13: PVS platform aboard RV Poseidon and schematic plan of the system.

4.16. RemOs System am Unterwasserknoten Helgoland

Institution(en): AWI

Ansprechpartner: Phillip Fischer

Stereoskopische Verfahren zur quantitativen Analyse von Organismen und Strukturen unter Wasser sind seit mehreren Jahrzehnten bekannt und publiziert. Mit dem Übergang von der analogen zur digitalen Photographie haben solche bildgebenden Verfahren insbesondere unter Wasser eine starke Ausbreitung erhalten, da nun die Möglichkeit besteht, pro Immersion mehr als 36 Bilder aufzunehmen. Dennoch blieb die quantitative Unterwasser-Stereophotographie zur Vermessung von Organismen unter Wasser eine Randerscheinung und wurde bisher in den aquatischen Wissenschaften wenig genutzt. Dies liegt u.a. daran, dass die erforderlichen Verfahren zur Prozessierung (Vermessung) eines Objektes auf einem stereoskopischen Bildpaar vom Erstellen des Bildpaares bis zum Erhalt einer konkreten und genauen Messgröße nach wie vor komplex und zeitaufwändig ist, da nur wenige

standardisierte Verfahren mit einer entsprechenden umfassenden Software vorliegen. Die quantitative stereoskopische Bildbearbeitung stellt sich daher häufig als schwierig dar und bedarf einer längeren Einarbeitung. Das wissenschaftliche Tauchzentrum des AWI entwickelt seit mehreren Jahren sowohl Hard- und Software für die stereoskopische Analyse von Fisch- und Makrozoobenthos-Gemeinschaften in Küstengewässern.

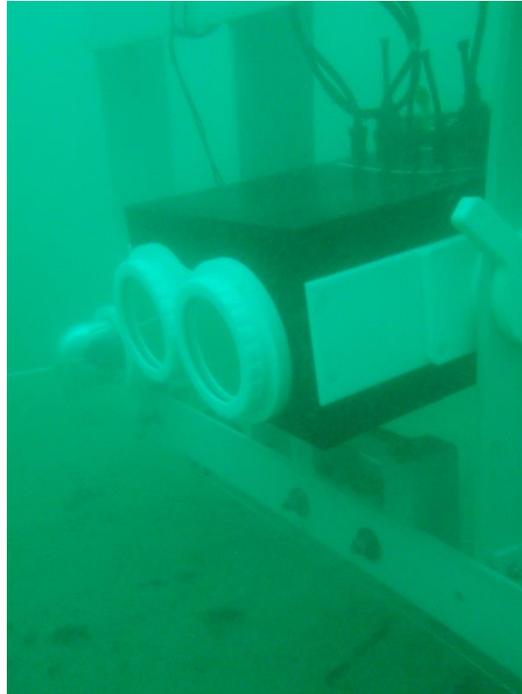


Abbildung 14: Das horizontal profilierende stereoskopische Fischobservatorium RemOs2 vor Helgoland mit Halterack und Kontroll-Webcam.

Figure 14: Horizontally profiling stereoscopic fish observatory RemOs2 with rack and control webcam off the coast of Helgoland.

In Verbindung mit COSYNA werden stationäre und transportable Unterwasser-Systeme^{21,22} entwickelt, die, angeschlossen über eine Daten/Stromleitung, für den Langzeiteinsatz geeignet sind. Die Systeme können remote- oder autonom Bildpaare mit einer Frequenz von bis zu 0.1 Hz erzeugen und über mehrere Jahre exponiert werden. Das AWI betreibt aktuell zwei dieser Systeme (RemOs1 und RemOs2) in Helgoland (Abb. 14) und Spitzbergen (Abb. 15). Siehe dazu auch FISCHER 2007 und WEHKAMP & FISCHER 2014. Neben der Hardware wird insbesondere auch Kalibrier- und Auswertesoftware entwickelt, die es auch "NICHT"-Spezialisten auf diesem Gebiet ermöglichen soll, Stereofotografie unter Wasser als quantitative Messmethode einzusetzen. In grundlegenden Untersuchungen wurde die Präzision und Genauigkeit von solchen Stereokamerasystemen getestet wobei taucher-

²¹ http://www.hzg.de/institutes_platforms/cosyna/observations/underwater_node/index.php.de

²² http://www.awi.de/en/research/research_divisions/biosciences/shelf_sea_ecology/physiology_and_community_ecology/in_situ_ecology_scientific_diving_fischer_group/infrastructure/cosyna_underwater_nodes/

betriebene Systeme auf Basis von Kompaktkameras und kabelgebundene Systeme auf Basis von Spiegelreflexkameras verglichen wurden. Im einfachsten Aufbau ohne Korrektur für die Linsenverzerrung erzielte das tragbare System mittlere Genauigkeitsfehler (prozentuale Abweichung einer Messung des Objekts in Originalgröße) zwischen 10,2 und -7,6 % (Gesamtmittelwert: -0,6 %) in Abhängigkeit von der Größe, Ausrichtung und dem Abstand des Messobjektes von der Kamera. Mit dem SLR-System wurden sehr ähnliche Werte zwischen 10,1 % und -3,4 % (Gesamtmittelwert: -1,2 %) beobachtet. Die Korrektur der Linsenverzerrung führte zu einer signifikanten Verbesserung der Messpräzision mit Streuungen um den wahren Mittelwert von $< 3-4$ %. Die Untersuchungen zeigen, dass Unterwasserstereofotografie, unabhängig vom verwendeten System bei nur geringer Einarbeitungszeit, ein durchaus hohes Potential hat, um unter Wasser nicht-invasive exakte stereoskopische Vermessungen von lebenden Organismen durchzuführen.

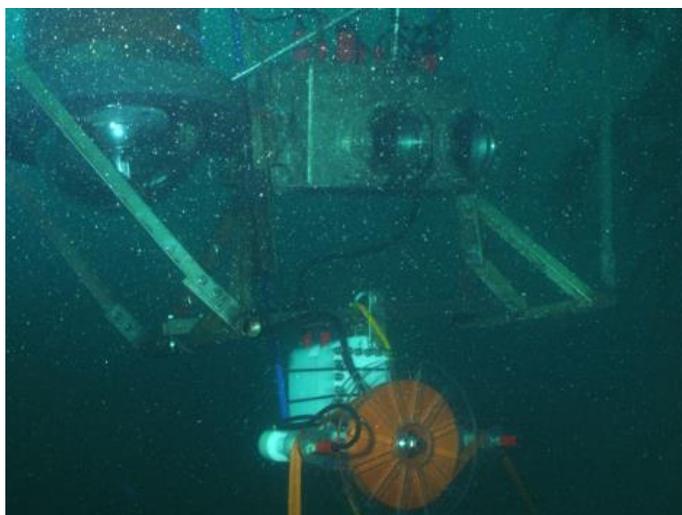


Abbildung 15: Das vertikal stereoskopische Fischobservatorium RemOs1 auf Spitzbergen im Dauereinsatz seit Juni 2012.

Figure 15: Vertical stereoscopic fish observatory RemOs1 on Spitsbergen in continuous operation since June 2012.

4.17. SHERPA – Shape Recognition, Processing and Analysis

Institution(en): Hochschule Emden/Leer, AWI

Ansprechpartner: Bánk Beszteri, Michael Kloster, Gerhard Kauer

SHERPA (KLOSTER et al. 2014) ist ein auf die **Detektion und morphometrische Vermessung von Diatomeenvalven** in lichtmikroskopischen Aufnahmen spezialisierte Software. In Kombination mit Slide-Scanning-Mikroskopen lassen sich **Hochdurchsatz-Analysen** von präpariertem Material aus z.B. Planktonnetzen oder Sedimentproben durchführen. Hierbei werden relevante Valvenformen identifiziert und morphometrisch vermessen. Der Workflow umfasst neben der Bildverarbeitung und Objektvermessung **eine interne Qualitätskontrolle**,

welche die Qualität des Segmentierungsergebnisses und die Relevanz des Objektes abschätzt, wodurch die manuelle Nutzerinteraktion auf ein Minimum reduziert wird. Die Programmoberfläche (Abb. 16) ist auf eine **einfache Bedienbarkeit** ausgelegt, um eine möglichst breite Nutzerschicht besonders unter Diatomologen zu erreichen.

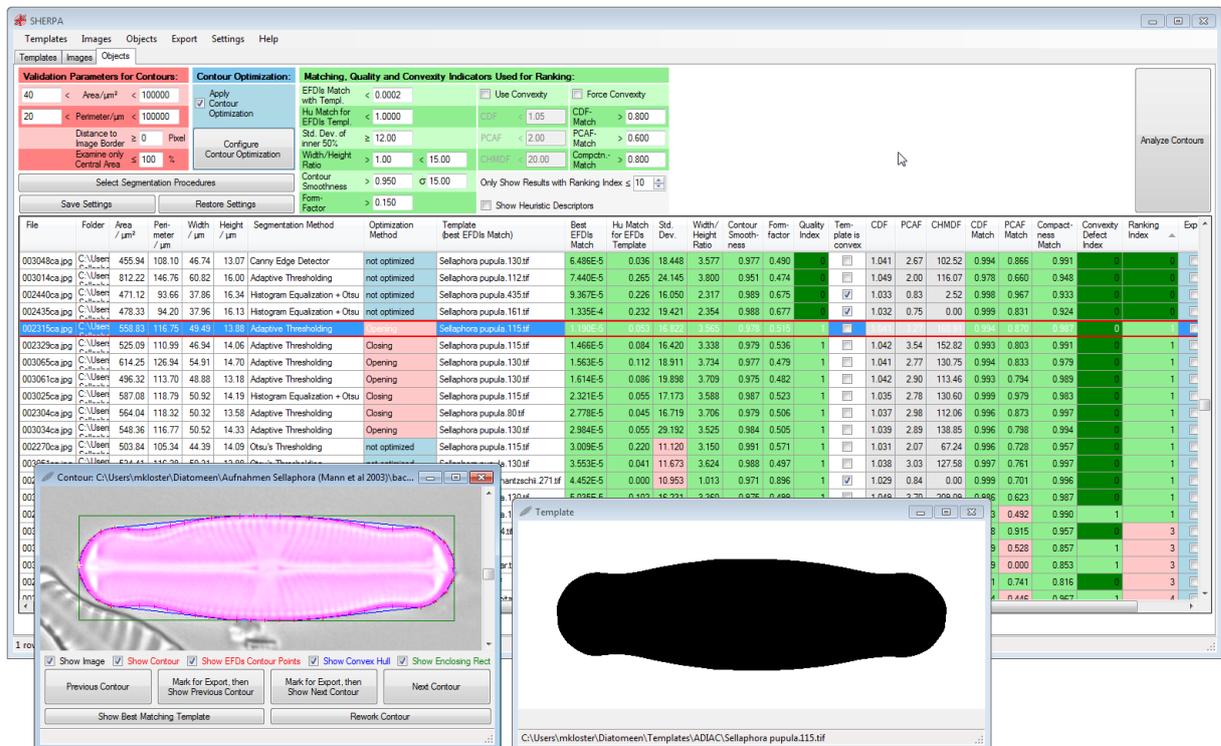


Abbildung 16: Bedienoberfläche von SHERPA. Hintergrund: Ergebnisliste mit farbig kodierter Qualitätsanalyse, unten links graphische Anzeige eines Einzelergebnisses, unten rechts bester Treffer aus der Bibliothek der relevanten Valvenformen.

Figure 16: SHERPA user interface. Background: Result list with color-coded quality analysis, bottom left graphical display of a single result, bottom right: best match from the library of relevant valve shapes.

4.18. Unterwasser-Bildannotation

Institution(en): Universität Bielefeld

Ansprechpartner: Tim Nattkemper

Hierbei handelt es sich um das Teilprojekt "Visual Data Management" des BMBF geförderten Projekts "Ecological aspects of deep-sea mining" (JPIO Pilot Action). Ziel ist hierbei die Entwicklung und Anwendung eines neuen mobilen online Bilddatenbanksystems BIIGLE^{DIAS} (BIIGLE=Benthic Image Indexing, Graphical labeling and Exploration, DIAS=Discol Image Annotation System, Abb. 17) zur interaktiven und kollaborativen Annotation von Unterwasserbildern zur digitalen bildbasierten Erhebung von Biodiversitätsdaten.

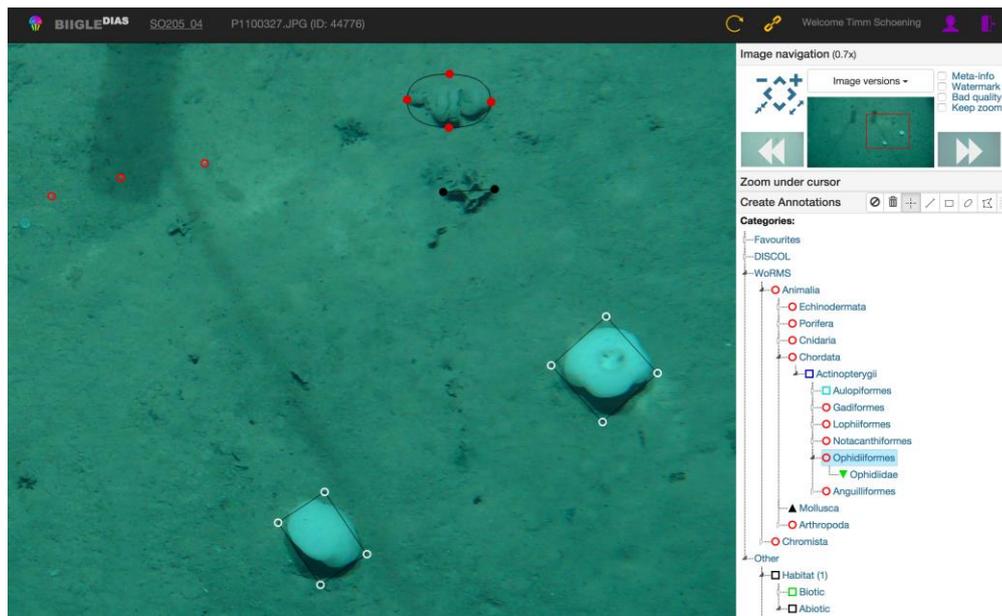


Abbildung 17: Bilddatenbanksystems BIIGLE^{DIAS} (Discol Image Annotation System) zur interaktiven und kollaborativen Annotation von Unterwasserbildern.

Figure 17: Image annotation system BIIGLE^{DIAS} (Discol Image Annotation System) for interactive and collaborative annotation of underwater images.

Hierzu wird eine neue Softwareplattform für ein neues Informationssystem entwickelt, welches mobil, während einer marinen Explorationsexpedition an Bord genutzt werden kann, um digitale Bilddaten zu archivieren, zu bearbeiten, zu annotieren und mit anderen Wissenschaftlern in Kooperation zu interpretieren. Durch den Einsatz dieses Systems namens BIIGLE^{DIAS} soll während der Projektlaufzeit ein neuer Arten- und Morphotypkatalog gesammelt und online veröffentlicht werden. Darüber hinaus, soll mittels Data Mining und Bildverarbeitungsalgorithmen versucht werden, die Merkmale in den Bildern zu untersuchen, die Bildqualität zu verbessern und Laserpunkte automatisch zu detektieren. Einige dieser Funktionen sind bereits im technologischen Vorgänger, dem BIIGLE System²³ realisiert

4.19. Unterwasser-Bildverarbeitung/-analyse

Institution(en): Universität Bielefeld, GEOMAR

Ansprechpartner: Tim Nattkemper, Timm Schoening

Das Verbundprojekt (Laufzeit bis November 2015) hat das Ziel eine Softwaresystemlösung zur Auswertung von Unterwasserbild- und Videodaten bis zur Marktreife zu entwickeln. Um die Effizienz und Effektivität des Einsatzes bildgebender Technologien zu gewährleisten, sind neue Computer-gestützte Ansätze zur Auswertung der in großem Umfang anfallenden

²³ <https://ani.cebitec.uni-bielefeld.de/biigle/>

Daten notwendig, so dass eine ausreichende Geschwindigkeit und Robustheit der Auswertung mit akzeptablen Kosten ermöglicht wird. Durch eine Zusammenarbeit zwischen der Universität Bielefeld (AG Nattkemper) und dem Softwareunternehmen saltation GmbH & Co. KG werden Fortschritte aus der Grundlagenforschung in den Bereichen Intelligente Systeme und Bildverarbeitung in Softwareprodukte umgesetzt und zu einer Systemlösung integriert, die automatische Auswertung von UW Bild- und Videodaten realisiert (Abb. 18). Neben der Genauigkeit und der Effizienz der Bildanalysesoftware spielt auch die Modularisierung, Skalierbarkeit und Wartungsfreundlichkeit des Gesamtsystems eine große Rolle, um im industriellen Umfeld hochgradig individuelle Anforderungsprofile bedienen zu können.

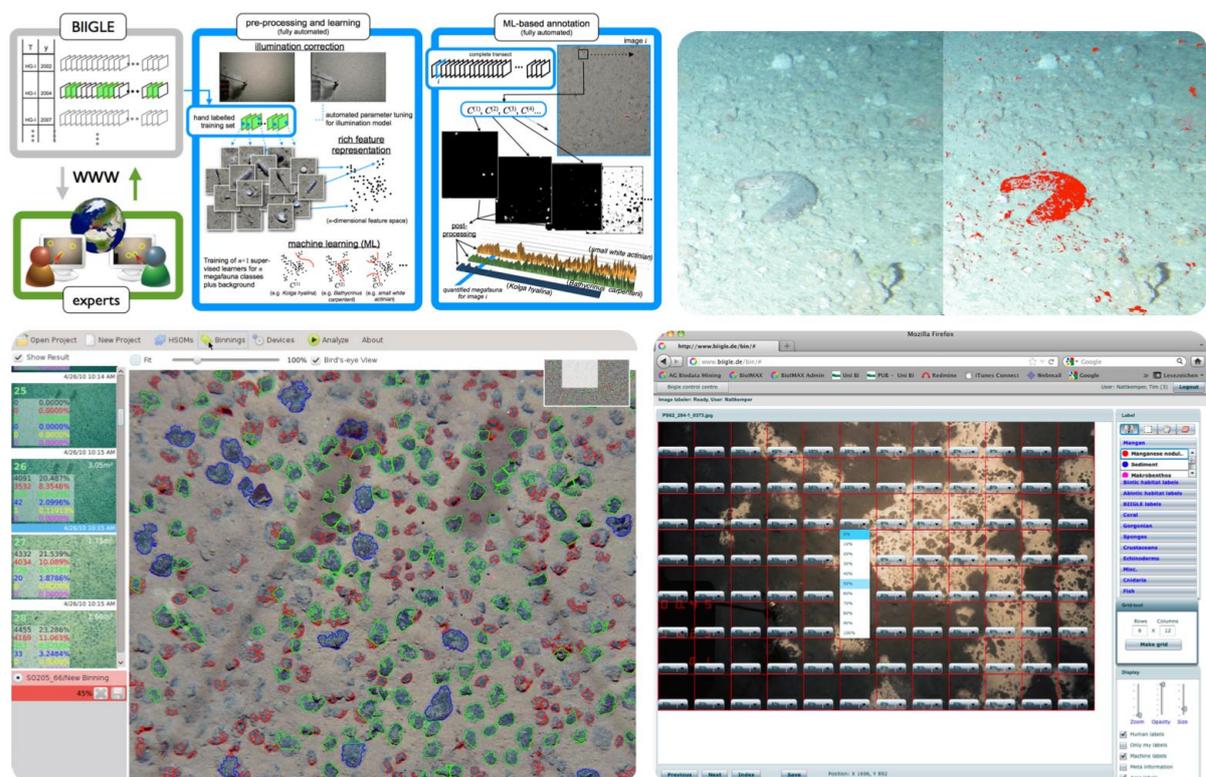


Abbildung 18: Beispielansichten verschiedener Bildanalyseverfahren, entwickelt von der AG Biodata Mining, (Bielefeld University) und saltation GmbH (Bielefeld).

Figure 18: Sample screen shots underwater image analysis methods developed by the Biodata Mining Group (Bielefeld University) and saltation GmbH (Bielefeld).

Auf dem kommerziellen Sektor entwickelt die Firma saltation GmbH²⁴ Software Lösungen für die Unterwasserbildanalyse. Ihre Produkte umfassen einfache isolierte Problemlösungen (z.B. automatisches Auslesen von Markierungen im Bild), umfassende Informationssysteme (MAMAS) und echtzeitfähige Segmentierung von Bilderserien (0,3 sec / Bild).

²⁴ <http://www.saltation-marine.com/>

4.20. Unterwasserbildverbesserung

Institution(en): FhG-IGD

Ansprechpartner: Uwe Freiherr von Lukas

Kennzeichnend für **unverarbeitete Unterwasserbilder oder -videos** sind die **geringe Sichtweite und der kaum vorhandene Kontrast**. Die Ursache ist die Dämpfung und **Streuung des Lichts im Wasser**. Diese Dämpfung und Streuung erfolgt zum einen auf dem Weg des Lichts von der Quelle zum Objekt und zum anderen auf dem Weg vom Objekt zur Kamera. Die physikalischen Prozesse beginnen bei der jeweiligen Lichtquelle (natürliches Sonnenlicht oder künstliche Beleuchtung). Je tiefer die Aufnahme der Szene stattfindet, umso weniger natürliches Licht verbleibt. Partikel im Wasser verstärken den Effekt der Streuung. Die Streuung führt zu verwaschenen Bildern, wohingegen die Dämpfung zu lichtarmen Bildern mit wenig Kontrast führt. Das Lichtspektrum wird dabei je nach Wellenlänge unterschiedlich stark absorbiert und gestreut, wodurch die Farbe mehr und mehr verloren geht.

An der **Verbesserung der Sichtbarkeit und Schärfe in solchen Unterwasserbildern arbeitet das Fraunhofer IGD**. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze. Diese können grob unterteilt werden in hardware- und softwareseitige Ansätze. Die hardwareseitigen Ansätze sind meist teuer in der Anschaffung. Sie koppeln eine intelligente Lichtaussendung/-modulation mit der Bildaufnahme (HE & SEET 2004). Die softwareseitigen Ansätze lassen sich weiter unterteilen in Multi- und Einzelbildansätze. Multibildansätze benötigen Aufnahmen derselben Szene unter unterschiedlichen Bedingungen (NARASIMHAN & NAYAR 2003), was in der Praxis kaum zu gewährleisten ist. Die meisten Einzelbildansätze konzentrieren sich auf die Farbverbesserung, wobei das Problem des Farbstichs und des geringen Kontrasts adressiert wird. Einige wenige Ansätze adressieren die Schaffung einer kompletten Lösung zur Verbesserung der Farbe, zur Verminderung der Unschärfe sowie des Bildrauschens und restaurieren das Bild mit speziellen Modellen (siehe beispielsweise *degraded models* in CHIANG & CHEN 2012). Das Fraunhofer IGD adressiert speziell die Farbverbesserung in Einzelbildern. Innerhalb des Forschungsbereichs der Farbverbesserung existieren verschiedene Ansätze mit entsprechenden Herausforderungen. Ein Ansatz ist die Fusion verschiedener Verfahren der Farbverbesserung (ANCUTI et al. 2012). Die üblichen Ansätze der Farbverbesserung sind zumeist konzipiert für die Fotografie in Luft. Diese Ansätze können nicht direkt auf Unterwasserbilder angewendet werden, da verschiedenste Lichtabschwächungseffekte berücksichtigt werden müssen. Eine Herangehensweise der Lösung ist die Laplacian-Fusion und die gewichtete Verrechnung verschiedener farbkorrigierter Ergebnisse ohne Berücksichtigung eines physikalischen Dämpfungsmodelles. Andere Ansätze hingegen legen ein Modell der Dämpfung zugrunde. Eine Möglichkeit – die zu den aktuellen Arbeiten am Fraunhofer IGD zählt – ist die Nutzung

von Tiefeninformationen (Abstand Kamera zu Objekt) mit der Annahme, dass Bereiche gleicher Tiefe (Entfernung) den gleichen Farbstich aufweisen (HENKE et al. 2013). Ein weiterer Ansatz ist die Korrektur des Farbstichs durch Berechnung der Kompensation der Abschwächung (CHIANG & CHEN 2012; STEPHAN & BEYERER 2014). Die Herausforderungen in der Farbverbesserung von Unterwasserbildern sind vielfältig. Eine Problematik besteht in der Rückgewinnung unvollständiger Informationen. Einige Farbinformationen sind im schlechtesten Fall nicht mehr vorhanden. Im Vergleich zu Bildern in Luft ist der Farbstich in Unterwasserbildern nicht räumlich konstant. Aus diesem Grund sind Tiefeninformationen über die Szene hilfreich. Allerdings ist die Berechnung einer entsprechenden Tiefenkarte nicht trivial, da die klassische Epipolargeometrie in Unterwasseraufnahmen ungültig ist.

4.21. Unterwasser-Kamerakalibrierung

Institution(en): FhG-IGD

Ansprechpartner: Tim Dolereit, Uwe Freiherr von Lukas

Die Unterwasser Kamera-Kalibrierung ist ein weiteres Arbeitsfeld des Fraunhofer IGD. Die Unterwasser-Bildaufnahme erfolgt unter anderen Bedingungen und ist anderen Herausforderungen ausgesetzt als die Bildaufnahme in Luft. Eines der Hauptprobleme ist die Brechung von Licht auf dem Weg vom Objekt in die Kamera. Transparente Grenzflächen mit unterschiedlichen Brechungsindexen müssen durchquert werden. Dies ist häufig ein Wasser-Glas-Luft-Übergang mit einer ebenen Grenzfläche. Das können beispielsweise Kameras sein, die in ein Aquarium filmen oder Kameras eingeschlossen in einem wasserdichten Gehäuse unter Wasser. Ein deutlich sichtbarer Effekt ist, dass Objekte dichter am Beobachter erscheinen als sie wirklich sind und somit vergrößert werden. Diese scheinbare Vergrößerung als Resultat der Lichtbrechung ist abhängig vom Einfallswinkel der Lichtstrahlen auf die Grenzfläche. Die Auswirkungen dieser Abhängigkeit verhalten sich nicht-linear und stellen ein Problem für jede Anwendung dar, die auf metrischen Informationen aus dem Bildmaterial beruht.

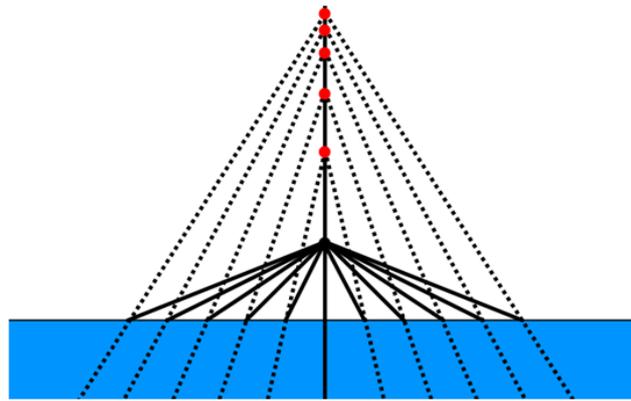


Abbildung 19: Schema; verschiedene virtuelle Blickpunkte (rot) und realer Blickpunkt (Projektionszentrum der Kamera) bei der Unterwasser-Bildaufnahme.

Figure 19: Scheme; various virtual points of view (red) and real focal point (projection center of the camera) in underwater image recording.

Eine Methode dieser Problematik entgegenzuwirken ist der Einsatz von sogenannten Dome-Ports. Diese halbkreisrunden Aufsätze für Unterwasser-Gehäuse eliminieren Brechungseffekte, wenn sie exakt so ausgerichtet sind, dass das Projektionszentrum der Kamera im Mittelpunkt liegt und alle Lichtstrahlen folglich senkrecht auftreffen. Neben den hohen Produktionskosten spricht gegen den Einsatz von Dome-Ports, dass diese exakte Ausrichtung jedoch kaum realisierbar ist.

Sollen **metrische Informationen** aus dem aufgenommenen Bildmaterial gewonnen werden, ist es **notwendig das Aufnahmesystem zu kalibrieren und Brechungseffekte so zu behandeln**, dass die Kalibrierung nicht verfälscht wird. Die Abbildung der 3-dimensionalen Welt auf den 2-dimensionalen Kamerasensor wird üblicherweise mit Hilfe des linearen Lochkameramodells der perspektivischen Abbildung approximiert. Kalibrierung bedeutet die Bestimmung der Parameter dieses Modells (Brennweite, Bildhauptpunkt, Pixelskalierung). Da keine reale Kamera die linearen Abbildungseigenschaften des Lochkameramodells perfekt erfüllt, werden einige nicht-lineare Terme in den Kalibrierungsprozess einbezogen, die radiale und tangentiale Verzerrungen beschreiben.

Bei der Kalibrierung von Kameras im Unterwasser-Einsatz gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen in Hinsicht auf die Behandlung von Brechungseffekten. Eine Möglichkeit ist das Lochkameramodell so wie bei der Kalibrierung von Kameras in Luft zugrunde zu legen. Hierbei werden Brechungseffekte entweder komplett ignoriert (KUNZ & SING 2010) oder es wird angenommen, dass die nicht-linearen Terme diese Effekte absorbieren (SHORTIS et al. 2009).

Jedoch ist bekannt, dass es theoretisch nicht möglich ist Kameras im Unterwasser-Einsatz mit Hilfe des Lochkameramodells zu kalibrieren. Es ist nicht gültig, da Unterwasser-Aufnahmen im Gegensatz zu Aufnahmen in Luft mehrere virtuelle Blickpunkte aufweisen

(TREIBITZ et al. 2012). Wie in Abb. 19 schematisch dargestellt, schneiden sich die rückwärtig verlängerten Strahlen (gestrichelt) paarweise in unterschiedlichen Punkten. Durch Lichtbrechung wird die Bedingung des Lochkammermodells, dass ein Objektpunkt im Wasser, reales Projektionszentrum der Kamera (schwarzer Punkt) und Bildpunkt auf einer Linie liegen, verletzt. Dadurch und durch die verschiedenen virtuellen Bildpunkte wird deutlich, dass das Lochkammermodell nicht mit den Aufnahmebedingungen übereinstimmt.

Somit ist es notwendig Brechungseffekte explizit zu modellieren und in das Kameramodell und den Kalibrierungs-Prozess einzubeziehen. Dazu werden die bekannten physikalischen Brechungsgesetze ausgenutzt. Folglich müssen neben den eigentlichen Kameraparametern die Brechung charakterisierende Parameter bestimmt werden. Dazu zählen beispielsweise die Brechungsindexe der beteiligten Medien, die Dicke der ebenen Grenzflächen (Bsp. Glasscheibe) und die Ausrichtung (Rotation und Abstand) der Kamera zur ersten Grenzfläche. Da einige dieser Parameter manuell bestimmt werden können oder auch als bekannt vorausgesetzt werden können, gibt es im aktuellen Stand der Technik verschiedene zugrunde liegende Modelle und Kalibrierungs-Ansätze. Als Beispiele seien die Verfahren von AGRAWAL et al. (2012) und JORDT-SEDLAZECK & KOCH (2012) genannt. Einen ausführlichen Überblick über Kameramodelle bei der Unterwasser-Bildaufnahme findet man in (SEDLAZECK & KOCH 2012). Das Fraunhofer IGD befasst sich in aktuellen Arbeiten mit der Kalibrierung von Kamera-Systemen unter Berücksichtigung von Brechungseffekten im Einsatz unter Wasser, wobei ein eindeutiges Verhältnis zwischen der Lage von virtuellen und realen Objektpunkten im Wasser („scheinbare Tiefe“) ausgenutzt wird (DOLEREIT & KUIJPER 2014).

Sind alle notwendigen Parameter bekannt, ist es möglich, aus den Aufnahmen Rückschlüsse auf die 3D Szenengeometrie zu gewinnen. Mit Hilfe von 2 kalibrierten Kameras können metrische Informationen rekonstruiert werden und somit exakte Vermessungen von Objekten vorgenommen werden (DOLEREIT et al. 2015).

4.22. WASI - Water Colour Simulator

Institution(en): DLR

Ansprechpartner: Peter Gege

Bei WASI handelt es sich um eine Software, die die Simulation (Vorwärtsmodus) und Analyse (Inversionsmodus) von Spektralmessungen unter und über Wasser ermöglicht. Zur Untersuchung von gemessenen Spektren lassen sich diese mit Hilfe von bio-optischen Modellen invertieren. So können beispielsweise aus der Reflexion oder Unterwasser-Bestrahlungsstärke Informationen über die Konzentration oder die inhärenten optischen Eigenschaften verschiedener Wasserinhaltsstoffklassen ableiten. Bodenreflexionen und atmosphärische Parameter können ebenfalls untersucht/variiert werden. Ein zusätzliches Modul innerhalb der Software ermöglicht die Auswertung von Bilddaten (WASI-2D). Neben der Analyse von Spektren im Inversionsmodus kann auch die Vorwärtssimulation von Spektren für Simulationen Aufschluss über die mit Hilfe der IOPs

und Bodenreflektionen spezifizierten Gewässer geben. Siehe hierzu GEGER (2004), GEGER & ALBERT (2006) und GEGER (2014).

4.23. Zooplankton Observatorium

Institution(en): Universität Hamburg (IHF) & Thünen-Institut für Seefischerei

Ansprechpartner: Boris Cisewski, Klas Ove Möller

Im Rahmen eines nationalen Projektes werden in Zusammenarbeit zweier in diesem Arbeitskreis vertretener Institute (TI-SF und IHF-HH) **hydroakustische und optische Methoden** eingesetzt und weiterentwickelt, um das Verständnis der Funktionszusammenhänge von Fischen und ihren Nährtieren, sowie von potentiellen Verhaltensmustern (Vertikalwanderung) zu erweitern. Basierend auf der Kombination von einem verankerten akustischen Doppler-Strömungsmessern (ADCP) mit 1200 kHz Taktfrequenz sowie eines Video-Plankton-Rekorders sollen die Verteilungsmuster von Zooplanktongemeinschaften mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung untersucht werden. Der Video-Plankton-Rekorder bietet zudem den Vorteil, dass fragile Arten, wie z.B. gelatinöses Plankton, *in-situ* untersucht und in Kombination mit den ADCPs etwaige Zooplanktonarten durch dieses bildgebende Verfahren identifiziert werden können.

Der Video Plankton Recorder (DAVIS et al. 2005) ist ein mittlerweile etabliertes (>40 Stück weltweit in Einsatz) Unterwasserkamerasystem welches von Seascan Inc. (USA) hergestellt wird und verschiedene Versionen (horizontal geschleppt, vertikal profilierend, stationär) umfasst. So gibt es ein Echt-Zeit-System (VPRII) welches live Daten an Bord mittels einer Glasfaserverbindung liefert und autonome Ausführungen (DAVPR) mit Akku-Stromversorgung, welche die Daten auf einer internen Festplatte speichern und nach dem Einsatz ausgelesen werden können. Das autonome Gerät kann somit auch von kleineren Plattformen und Schiffen eingesetzt werden, während der VPRII mit einer eigenen Glasfaserkabelwinde nur von größeren Forschungsschiffen zum Einsatz kommt. Außerdem gibt es ähnlich der Flowcam einen Benchtop-VPR um Netz-Zooplankton Proben im Labor zu analysieren. Der im Zooplankton Observatorium eingesetzte VPR ist bisher die einzige stationäre Version. Alle Versionen können mit Farb- oder SW-Kameras ausgerüstet werden und verfügen über vier kalibrierte Vergrößerungseinstellungen (ca. 7x7 – 50x50 mm).

Die Probennahme erfolgt nicht-invasiv zwischen Stroboskop und Kamera mit 25Hz und ermöglicht somit die Quantifizierung und Observation von fragilen Aggregaten und Organismen (>0.5 mm) in deren natürlicher Orientierung. Simultan aufgenommene Sensordaten können den Bildern via Zeitstempel zugeordnet werden und ermöglichen somit hochaufgelöste Observationen von kleinskaligen Plankton Aggregationen (MÖLLER et al. 2012). Eine Matlab basierte Software zur Prozessierung, Klassifikation, Analyse und Visualisierung der Bild- und hydrographischen Parameter ist frei verfügbar.

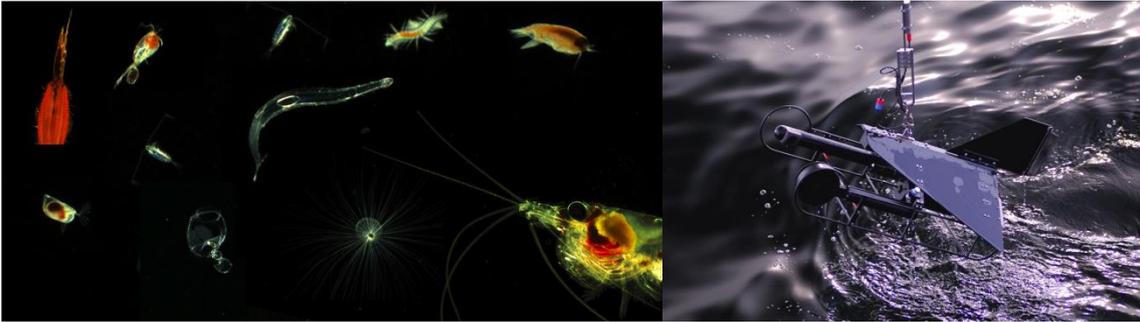


Abbildung 20: Beispielbilder aus dem Nordatlantik (links) und Einsatz des autonomen VPR (rechts).

Figure 20: Example images from the North Atlantic (left) and deployment of the autonomous VPR (right).

Akustische Doppler Strömungsmesser, welche seit über zwei Jahrzehnten von Teledyne RD Instruments (USA) hergestellt werden, ermöglichen nicht nur eine 3D-Vermessung des Strömungsfeldes sondern auch eine Messung der akustischen Rückstreustärke entlang aller vier Beams. Mit Hilfe dieser Daten ist es möglich, tägliche oder auch saisonale Vertikalwanderungsmuster einzelner Zooplanktongemeinschaften zu untersuchen sowie die vertikalen Wanderungsgeschwindigkeiten aus der direkt vom ADCP gemessenen Vertikalgeschwindigkeit oder aber der nachträglich berechneten "Slope-Velocity" einzelner diskreter Rückstreuschichten zu bestimmen (CISEWSKI et al. 2011).

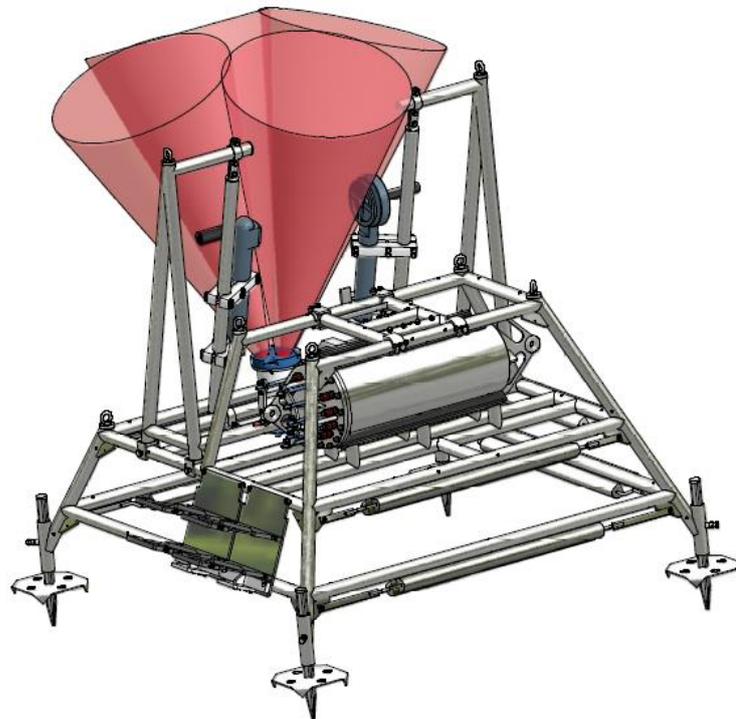


Abbildung 21: Das Zooplanktonobservatorium (Kombination aus ADCP und VPR) ist direkt auf einem Unterwasserknoten montiert, welcher von den Firmen 4H-Jena und loth-engineering gebaut worden ist. Die zugrunde liegende Unterwasserknoten-Technologie wurde im Rahmen von COSYNA vom HZG und dem AWI in enger Zusammenarbeit mit den beiden Firmen 4H-Jena (Jena, Deutschland) und loth-engineering (Wiesbaden, Deutschland) entwickelt.

Figure 21: The zooplankton observatory consists of both an ADCP and a VPR mounted on an underwater node. The COSYNA underwater node technology has been developed and operated jointly by Helmholtz-Zentrum Geesthacht and the Alfred Wegener Institute Helmholtz-Center for Polar- and Marine Research in close co-operation with the two companies 4H-Jena (Jena, Germany) and loth-engineering (Wiesbaden, Germany).

5. Logistik & Infrastruktur

Ein wichtiges Ziel der Arbeitsgruppe „Aquatische optische Technologien“ ist die Verbesserung der Zusammenarbeit und die Nutzung von Synergien. Hierzu zählt u.a. auch die Planung von gemeinsamen Seereisen, die Bereitstellung und Nutzung vorhandener Geräte innerhalb der Gruppe für Expeditionseinsätze oder die Zusammenarbeit bei Probennahmen.

Die folgenden Listen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie beziehen sich vorwiegend auf Geräte und Sensoren, die von den optisch arbeitenden Arbeitsgruppen, die an diesem Dokument mitgewirkt haben, im täglichen Zugriff sind. Neben der hier aufgeführten Listung ist an den entsprechenden Institutionen oft weiteres Equipment vorhanden.

5.1. Gerätelisten nach Institutionen

5.1.1. Plattformen

	AWI	FhG-IGD	DZMB	GEOMAR	HZG	ICBM	IHF-HH	IOW	Jade-HS	TI-OF	DLR-IMF
Satellitendatenzugang	X			X	X			X			
Flugzeug	X										X
Helikopter	X										
Drohnen					X				1		
Boote/Kutter	X			X	X	2		1		X	
Landstationen						(1)					
Messpfahl						1		4			
Schiffe	X			X	X	1	1	1		X	
Ship of opportunity	X			X	X			X		X	
Lander	X			X		X	X	X			
Moorings	X			X			1	X			
Mooring (profilierend)	X			X				1			
CTD-Rosette	>8			>8	X	1	1	X		X	
CTD-Rosette (Trace Metals)				1							
Benthoschlitten	X						1	1			
Geschleppte Oberflächenfahrzeuge						1		1			
Geschleppte Video-CTD				X						X	
ROV	X			X		1	1	2			
Scanfish								X			
Schleppfische						3		X			
Schleppfisch mit Kommunikation				X				X			
SubAtlantic Plattform										X	
Triaxus	X						1			X	
AUV	X			X							
Glider				X							
Floats				X							
U-Boot (bemannt)				X							
Wave Glider				X							

5.2. Zentral verwaltete Schiffe & Boote

Für viele Fragestellungen und experimentelle Einsätze ist die Verfügbarkeit von Schiffszeit unabdingbar. Da die **großen und mittelgroßen Forschungsschiffe Deutschlands** generell sehr lange Vorlaufphasen bei der Beantragung auf Schiffszeit haben, ist die Option auf kleinere Boote und Kutter von Interesse, da diese normalerweise kurzfristig zur Verfügung stehen. Nichtsdestotrotz sind die großen und mittelgroßen Forschungsschiffe **für die meisten Arbeitsgruppen die Haupt- Arbeitsplattformen**. Dies gilt sowohl für das Arbeiten abseits der Küste, wie auch für die Durchführung längerer Expeditionen.

Die Schiffszeitbelegungen für meistens Forschungsschiffe sind über das über das Portal deutscher Forschungsschiffe²⁵ oder das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie²⁶ einsehbar.

5.3. Dezentrale koordinierte Schiffe & Boote

Neben den zentral verwalteten Schiffen und Booten existiert eine **Flotte kleiner dezentral koordinierter Schiffe und Boote**, die durch die einzelnen Institute verwaltet werden: Diese decken oftmals die Flachwasserbereiche ab der 10 m Tiefenlinie in Richtung Land ab, die mit den größeren Schiffen nicht erreicht werden können.

5.3.1. Klaashahn

Am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) wird das **Forschungsboot „Klaashahn“** (Aluminium, ca. 4 m) für küstennahe Beprobungen in der Ostsee zur Verfügung. Ein kleiner Galgen erlaubt das Absetzen von tragbaren Geräteträgern. Das Boot ist für Taucheinsätze geeignet.

5.3.2. Mya I / Mya II

Die **MYA II ist ein kleines Forschungsschiff**, das von der Wattenmeerstation des AWI eingesetzt wird und im August 2013 in Dienst gestellt wurde. Es hat eine Länge von ca. 22 m und eine Breite von 8 m. Mit einem Tiefgang von max. 1,5 m ist es für Forschungsaufgaben im Wattenmeer konzipiert, kann jedoch auch im Seegebiet zwischen Sylt und Helgoland sicher operieren. Das Schiff verfügt über Kräne und Winden für die Ausbringung von

²⁵ <https://www.portal-forschungsschiffe.de/fahrtplanung>

²⁶ http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/DOD-Datenzentrum/Forschung_u._Produkte/Fahrtplanung.jsp

wissenschaftlichen Arbeitsgeräten. Wissenschaftliche hydroakustische Messsysteme erlauben bathymetrische Vermessungen (ELAC Fächerlotsystem), Bestandsuntersuchungen von Fisch und Zooplankton (BIOSONICS MF-Echolotsystem) und Strömungsmessungen (RDI 600 kHz ADCP). Auf dem Schiff ist ein Ferry-Box-Messsystem installiert. Perspektivisch soll eine synergistische Integration von optischen und hydroakustischen Messverfahren erfolgen. Die Datenerfassung und -Verteilung geschieht mit DSHIP. Wissenschaftliche Arbeitsplätze für Trocken- und Nassarbeiten sind im Innen- und Außenbereich vorhanden. Maximal sind 10 Wissenschaftler als Fahrtteilnehmer zugelassen. Das Schiff wird für Forschungs- und Ausbildungszwecke eingesetzt. Die MYAll ist nach Absprache und Planungsvorlauf für Institutsübergreifende Forschungsfahrten einsetzbar.

5.3.3. Otzum

Das ICBM der Universität Oldenburg unterhält das **Forschungsboot „Otzum“** (GFK, Länge 13 m, Breite 4 m, 2 Dieselaggregate zu je 87 kW/120PS, max. 12 Passagiere). Einsatzgebiet sind die küstennahen Bereiche, Jadebusen, Ems, nordfriesische Inseln, Rückseitenwatten, und die Sandplaten der Nordsee. Neben einigen Nasslabortischen und einer Medienausstattung verfügt die Otzum als Besonderheit über einen Hydrographieschacht (etwa 35*35 cm). Das Boot ist viel für Projekte und Ausbildungsfahrten im Einsatz. Nach Absprache ist jedoch ein Einsatz für Sonderprojekte und Erprobungen zu günstigen Tarifen realisierbar. **Weitere Boote der Universität Oldenburg**, die für kleinere Fahrten zur Verfügung stehen sind die **Zephyr** (Aluminium, 7,5 m Länge, 2,5 m Breite, 1 Benzin-Außenbord-Motor mit 110 kW (150 PS), 10 Pers./5 Pers. + 400 kg) und die **Navicula** (Aluminium, 6,5 m Länge, Breite 2,5 m, 1 Diesel-Inboard-Motor mit 85 kW (115 PS) 10 Pers./5 Pers.+ 400 kg).

5.3.4. Seabull

An der Universität Hamburg (IHF) steht das **Forschungsboot „Seabull“** (GFK, 10m) für küstennahe Beprobungen in der Ostsee sowie dem Wattenmeer zur Verfügung. Von diesem wäre auch ein Einsatz eines geschleppten, autonomen Kamerasystems (VPR, LOKI) denkbar. Dieses wäre im Rahmen von einer Kooperation Institutsübergreifend nutzbar (nach Absprache basierend auf der Auslastung).

6. Erstes bundesweites Treffen ‚Aquatische optische Technologien‘

6.1. Zielsetzung

In zunehmendem Maße halten optische Sensoren und Verfahren Einzug in die moderne limnologische und marine Forschung. Ein primäres Ziel der AG ‚Aquatische optische Technologien‘ ist daher, einen Überblick über die in Deutschland in der marinen und limnischen Forschung eingesetzten optischen Verfahren und Methoden zu verschaffen, nationale Entwicklungen vorzustellen, sowie eine bessere Vernetzung einzelne Arbeitsgruppen zu fördern.

6.2. Ort und Zeit

Datum: 13. Februar 2014

Zeit: 11:00 bis 17:30 CET

Ort: ICBM, Universität Oldenburg, Campus Wechloy, Oldenburg, W15-0-023

6.3. Teilnehmer

#	Name	Vorname	Institution	Inst.
1	Beisiegel	Kolja	Institut für Ostseeforschung Warnemünde	IOW
2	Bracher	Astrid	Alfred-Wegener-Institut	AWI
3	Brenke	Nils	Senckenberg DZMB	DZMB
4	Brey	Thomas	Alfred-Wegener-Institut	AWI
5	Cisewski	Boris	Thünen-Institut für Seefischerei	TI-SF
6	Dolereit	Tim	Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung	FhG-IGD
7	Göritz	Anna	Technische Universität München (DLR)	TUM/DLR
8	Gröger	Joachim	Thünen-Institut für Seefischerei	TI-SF
9	Grunz	Horst	Uni Duisburg-Essen	Uni-Duisburg
10	Gutzeit	Enrico	Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung	FhG-IGD
11	Hammann	Sven	Thünen-Institut für Seefischerei	TI-SF
12	Hieronymi	Martin	Helmholtz-Zentrum Geesthacht	HZG
13	Höhn	Johannes	Uni Rostock	Uni-Rostock
14	Kiko	Rainer	GEOMAR Kiel	GEOMAR
15	Krägefsky	Sören	Alfred-Wegener-Institut	AWI
16	Krau	Florian	Thünen-Institut für Seefischerei	TI-SF
17	Martinez	Pedro	Senckenberg am Meer	Senckenberg
18	Mentges	Andrea	Institut für Chemie und Biologie des Meeres	ICBM
19	Möller	Klas Ove	Institut für Hydrographie und Fischerei Hamburg	IHF-HH
20	Niedzwiedz	Gerd	Uni Rostock	Uni-Rostock
21	Sauter	Eberhard	Alfred-Wegener-Institut	AWI
22	Schories	Dirk	Uni Rostock	Uni-Rostock
23	Schulz	Jan	Institut für Chemie und Biologie des Meeres	ICBM
24	Stohr	Erik	Institut für Ostseeforschung Warnemünde	IOW
25	Thoma	Christoph	Jade-Hochschule Wilhelmshaven	Jade-HS
26	Wilsenack	Maik	Senckenberg am Meer	Senckenberg



Abb. 1: Teilnehmer des Treffens (von links nach rechts): Jan Schulz, Martin Hieronymi, Christoph Thoma, Astrid Bracher, Sven Hammann, Boris Cisewski, Anna Göritz, Rainer Kiko, Florian Krau, Horst Grunz, Maik Wilsenak Sören Krägefsky, Klas Ove Möller, Nils Brenke, Erik Stohr, Pedro Martinez, Tim Dolereit, Thomas Brey, Gerd Niedzwiedz, Dirk Schories, Johannes Höhn, Enrico Gutzeit, Kolja Beisiegel, Joachim Gröger, Eberhard Sauter.

Fig. 1: Participants of the meeting (from left to right): Jan Schulz, Martin Hieronymi, Christoph Thoma, Astrid Bracher, Sven Hammann, Boris Cisewski, Anna Göritz, Rainer Kiko, Florian Krau, Horst Grunz, Maik Wilsenak Sören Krägefsky, Klas-Ove Möller, Nils Brenke, Erik Stohr, Pedro Martinez, Tim Dolereit, Thomas Brey, Gerd Niedzwiedz, Dirk Schories, Johannes Höhn, Enrico Gutzeit, Kolja Beisiegel, Joachim Gröger, Eberhard Sauter.

6.4. Vorstellung der einzelnen Arbeitsgruppen & Schwerpunkte der Teilnehmer

Im Vorfeld des Treffens konnten Teilnehmer 2-3 Folien zu einem entsprechenden Arbeitsthema/Gebiet einreichen. Diese wurden in ein gemeinsames ppt-Format überführt und nach kurzer Vorstellungsrunde durch die Teilnehmer vorgestellt. Unterstrichen sind die Namen der jeweils Anwesenden/Vortragenden:

A. Bracher (AWI):

Long-term bi-optical dataset for studying biogeochemical changes at ocean surface.

M. Hieronymi (HZG) & R.Röttgers (HZG):

Expertisen des Instituts für Küstenforschung, Abteilung Fernerkundung.

A.Göritz (TUM/DLR):

Research activities at the Remote Sensing Technology Institute (IMF) at DLR in the group “Sensor Characterization and Concepts”

H. Grunz (Uni Duisburg):

High-Tech Fluoreszenz-Einsatz bei Nachttauchgängen im Rahmen von Reef Check – Aktivitäten.

N. Brenke(DZMB) & M. Wilsenak (Senckenberg):

Optic Systems CliSap Video Sledge.

O. Zielinski (ICBM), D. Meier (ICBM), J. Schulz (ICBM):

Optische Detektion biogeochemischer Parameter.

S. Gaßmann (Jade-HS) & C. Thoma (Jade-HS):

Optischer Mikrofluidik Chip.

R.Kiko (Geomar), H. Hauss (Geomar), P. Vandromme (Geomar):

Underwater Vision Profiler 5.

J. Schulz (ICBM):

LOKI - Lightframe On-sight Keyspecies Investigation.

K. O. Möller (IHF-HH):

VPR – Video-Plankton-Recorder.

E. Gutzeit(FhG-IGD) & T. Dolereit (FhG-IGD):

Segmentierung organischer Objekte und Unterwasserkamera Kalibrierung.

7. Runde Tische ‚Aquatische optische Technologien‘

Entsprechend der eigenen Interessenslage und der unterschiedlichen Forschungsschwerpunkte stehen bei den Teilnehmern des AK jeweils unterschiedliche Themen im Fokus. Trotz der bestehenden Heterogenität dieser Themen lassen sie sich in wenige Großgruppen untergliedern. Daher wurde von den Teilnehmern des ersten Bundesweiten Treffens ‚Aquatische optische Technologien‘ (siehe Punkt 6) das Arbeitsprinzip der ‚runden Tische‘ eingeführt. Bisher wurden zwei Gruppen mit den unten ausgeführten Themenschwerpunkten eingerichtet. Jeder ‚runde Tische‘ steht dabei Allen offen und es kann nach Belieben zwischen den Runden gewechselt werden. Für viele Teilnehmer ist mehr als eine Runde von Bedeutung.

7.1. Runder Tisch ‚Spektrale Verfahren‘

In der Diskussion innerhalb dieser Gruppe stehen vor allem die Methoden und Problematiken bei der Kalibrierung spektraler Messmethoden (insbesondere im Bereich Hyperspektral, Fluoreszenz und IOP-AOP-Messungen) sowie deren Messprotokolle im Fokus. Hier kristallisierte sich heraus, dass dieses Treffen, als Austauschbörse nicht nur für Kontakte und mögliche Kooperationen gesehen, sondern auch als Ideengeber und zum Austausch und Beratschlagung spezifischer Fragestellungen dient. Im Rahmen dieser Untergruppe bestand außerdem der Wunsch, kleinere, nationale Workshops (z.B. zum Messen von Absorption/Streuung/Unter- und Überwasserlicht, Filtration etc.) zu organisieren. Dieses wäre denkbar im Rahmen eines weiteren Treffens der AG Aquatische optische Technologien, an welchem ein weiterer Extra-Tag in kleineren „Break-out Groups“ eingeplant werden könnte.

7.2. Runder Tisch ‚Bildauswertung und Computer Vision‘

In der Gruppe fanden sich Biologen und Informatiker zusammen. Es trafen damit zwei Sichtweisen aufeinander: die Anwendersicht und die Entwicklersicht auf Methoden und Algorithmen des Maschinellen Sehens (Computer Vision). Das Forschungsgebiet des Maschinellen Sehens umfasst die Erzeugung eines Modells aus Bilddaten der Umwelt und dessen Interpretation. Die Bildauswertung ist Bestandteil des Maschinellen Sehens.

Aus Sicht der Biologie ist eine automatische sowie halbautomatische Bildauswertung von großem Interesse zur Beschleunigung und Objektivierung von bisher manuell durchgeführten Auswertungen. Als konkrete Beispiele ergaben sich die Erkennung, Zählung und das Monitoring von Fischen oder Zooplankton. Aus Entwicklersicht müssen zumeist für die Anwendung der Bildauswertung existierende Algorithmen an die Rahmenbedingungen der Bildaufnahme und Hardware angepasst oder sogar spezielle Algorithmen entwickelt werden. Speziell liegen zur Schaffung der entsprechenden Anwendungen die Schwerpunkte

in der bildbasierten Segmentierung von Objekten, deren Klassifikation, dem Tracking von diesen Objekten und auch in der Unterwasserbildverbesserung.

Die bildbasierte Segmentierung zerlegt ein Bild in disjunkte Mengen von Pixeln. Ziel der entsprechenden Algorithmen ist folglich, die Pixelmenge eines Objekts, wie zum Beispiel eines Fisches, zu ermitteln. Ausgehend von den Pixelmengen, auch Segmente genannt, müssen geeignete Bildmerkmale abgeleitet werden. Auf Basis der Bildmerkmale ist wiederum die Klassifikation der Segmente, wie bspw. in Hecht, Dorsch oder Makrele, durch einen geeigneten Klassifikator möglich. Die Merkmale und der Klassifikator müssen i.d.R. gut gewählt und ausbalanciert sein. Ein weiterer hilfreicher Schritt ist das Tracking von erkannten Objekten, das dem automatischen Verfolgen der Objekte in aufeinanderfolgenden Aufnahmen dient.

Weiterhin ist die Adaption, Entwicklung und Kombination von Methoden der Bildverbesserung für Unterwasser-Aufnahmen hilfreich, wie zum Beispiel Dehazing und/oder entfernungsabhängige Farbkorrekturen. Sowohl die Bildverbesserung als auch die Segmentierung können durch metrische Informationen aus den Bilddaten unterstützt werden. Ein notwendiger erster Schritt dazu ist, das optische Aufnahme-System für den Unterwasser-Einsatz angepasst zu kalibrieren. Aus den verbesserten und angereicherten Bilddaten lassen sich somit aussagekräftigere Merkmale ableiten und Lebewesen können besser segmentiert werden.

Auf Grund der Ähnlichkeit vieler Organismen (besonders beim Plankton) ist eine exakte Artdiskriminierung nur schwer erreichbar. Ein zukünftiges Ziel sollte die automatisierte, hierarchische Identifikation von Großgruppen mit gleichem Habitus sein. Weiterhin ist wichtig, dass Klassifikationen auf international anerkannte taxonomische Systeme hin ausgerichtet werden. In diesem Bereich arbeiten die meisten Klassifikatoren mit lokal definierten Klassen.

Es erscheint sinnvoll, den Kontakt zu weiteren akademische Arbeitsgruppen in Deutschland zu suchen, die an ähnlichen Aufgaben arbeiten. Die Fragestellungen die sich aus Bildern von AUV, ROV, OFOS Lander, oder ähnlichen Plattformen ergeben, haben bezüglich der Bearbeitungsmethoden häufig größere Schnittmengen. Hier haben sich verschiedene Arbeitsgruppen etabliert (z.B. AG Biodata Mining²⁷ an der Universität Bielefeld).

²⁷ <http://www.cebitec.uni-bielefeld.de/biodatamining/>

8. Referenzen

- Agrawal A., Ramalingam S., Taguchi Y., Chari V. (2012): A theory of multi-layer flat refractive geometry. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 3346 – 3353.
- Almar R., Coco G., Bryan K.R., Huntley D.A., Short A.D., Senechal N. (2008): Video observations of beach cusp morphodynamics, *Marine Geology*, 254(3–4):216-223, ISSN 0025-3227, <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2008.05.008>.
- Ancuti C., Ancuti C.O., Haber T., Bekaert P. (2012): Enhancing underwater images and videos by fusion. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2012, pp. 81–88.
- Arevalo-Martinez D.L. et al. (2013): A new method for continuous measurements of oceanic and atmospheric N₂O, CO and CO₂: performance of off-axis integrated cavity output spectroscopy (OA-ICOS) coupled to non-dispersive infrared detection (NDIR). *Ocean Science*, 9(6):1071-1087.
- Asper V.L., Smith Jr. W.O. (2003): Abundance, distribution and sinking rates of aggregates in the Ross Sea, Antarctica. *Deep-Sea Res Pt. I* 50:131-150.
- Aßmann S., Frank C., Körtzinger A. (2011): Spectrophotometric high-precision seawater pH determination for use in underway measuring systems. *Ocean Sci.*, 7, 597–607. doi:10.5194/os-7-597-2011.
- Atamanchuk D., Tengberg A., Aleynik D., Fietzek P., Shitashima K., Lichtschlag A., Hall P.O.J., Stahl H. (2014): Detection of CO₂ leakage from a simulated sub-seabed storage site using three different types of pCO₂ sensors. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.021>.
- Bach L. T., Riebesell U., Sett S., Febiri S., Rzepka P. Schulz K. G. (2012): An approach for particle sinking velocity measurements in the 3–400 µm size range and considerations on the effect of temperature on sinking rates *Marine Biology*, 159 (8):1853-1864. DOI 10.1007/s00227-012-1945-2.
- Becker M., Andersen N., Fiedler B., Fietzek P., Körtzinger A., Steinhoff T., Friedrichs G. (2012): Using Cavity Ringdown Spectroscopy for continuous monitoring of δ¹³C(CO₂) and fCO₂ in the surface ocean. *Limnology and Oceanography: Methods* 10: 752-766.
- Beuchel F., Primicerio R., Lønne O. J., Gulliksen, B. & Birkely, S.-R. (2010): Counting and measuring epibenthic organisms from digital photographs: A semiautomated approach. *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 8, 229-240.
- Bracher A., Vountas M., Dinter T., Burrows J.P., Röttgers R., Peeken I. (2009): Quantitative observation of cyanobacteria and diatoms from space using PhytoDOAS on SCIAMACHY data, *Biogeosciences*, 6, 751-764.

- Bracher A., Taylor B.B., Taylor M., Dinter T., Röttgers R., Steinmetz F. (2015): Using empirical orthogonal functions derived from remote sensing reflectance for the prediction of concentrations of phytoplankton pigments. *Ocean Science* 11:139-158.
- Busch J. A., Hedley J. D. and Zielinski O. (2013): Correction of hyperspectral reflectance measurements for surface objects and direct sun reflection on surface waters , *International Journal of Remote Sensing*, pp. 1-17 . doi: 10.1080/01431161.2013.804226.
- Cartwright G.M., Friedrichs C.T., Smith S.J. (2013) A test of the ADV-based Reynolds flux method for in situ estimation of sediment settling velocity in a muddy estuary. *Geo-Mar Let* 33:477-484.
- Chiang J.Y., Chen Y.-C. (2012) Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing. *IEEE Transactions on Image Processing* 21(4):1756–1769.
- Cisewski B., Strass V.H., Rhein M., Krägefsky S. (2011): Seasonal variation of diel vertical migration of zooplankton from ADCP backscatter time series data in the Lazarev Sea, Antarctica. *Deep-Sea Research I*, 57:78-94.
- Coble P.G. (2007): *Marine Optical Biogeochemistry: The Chemistry of Ocean Color*. *Chemical Reviews*, 107(2):407-418.
- Davis C.S., Thwaites F. T., Gallager S. M., Hu Q. (2005): A three-axis fast-tow digital Video Plankton Recorder for rapid surveys of plankton taxa and hydrography. *Limnology and Oceanography: Methods* 3: 59-74. doi:10.4319/lom.2005.3.59.
- Delory E., Castro A., Waldmann C., Rolin J-F., Woerther P., Gille J., Del Rio J., Zielinski O., Golmen L., Hareide N.R., Pearlman, J. (2014): Objectives of the NeXOS project in developing next generation ocean sensor systems for a more cost- efficient assessment of ocean waters and ecosystems, and fisheries management (131216-009), *Oceans'14 MTS/IEEE*, April 7-10 2014, Taipei.
- Dobler W., Baran R., Steinbacher F., Ritter M., Niederwieser, M., Bengler W., Aufleger M. (2013) Die Verbindung moderner und klassischer Gewässervermessung: Airborne Hydromapping und Echolotvermessung entlang der Ostseeküste nordöstlich von Kiel. In: *Hydrographische Nachrichten e.V.* 30/95, 16-22.
- Dolereit T., Kuijper A. (2014): Converting Underwater Imaging into Imaging in Air. In S. Battiato & J. Braz (Hrsg.), *VISAPP 2014 - Proceedings of the 9th International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, Volume 1, Lisbon, Portugal, 5-8 January, 2014, S. 96–103.
- Dolereit, T., von Lukas, U. F., & Kuijper, A. (2015). Underwater Stereo Calibration Utilizing Virtual Object Points. In *OCEANS 2015 - Genova* (S. 1–7). doi:10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271593.

- Esser D., Schmidt M., Linke P. (2013): HISEM – Ein „High Sensitive Deep Sea Methane Monitoring“ System für Unterwasser-Leckagemessungen. In: Statustagung Maritime Technologien, Tagungsband der Statustagung 2013, Schriftenreihe Projektträger Jülich, 145-156.
- Fiedler B., Fietzek P., Vieira N., Silva P., Bittig H.C., Körtzinger A. (2013): In Situ CO₂ and O₂ Measurements on a Profiling Float. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 30, 112–126.
- Fietzek P., Fiedler B., Steinhoff T., Körtzinger A. (2014): In situ Quality Assessment of a Novel Underwater pCO₂ Sensor Based on Membrane Equilibration and NDIR Spectrometry. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 31, 181–196.
- Fischer P., Weber A., Heine G., Weber H. (2007): Habitat structure and fish: assessing the role of habitat complexity for fish using a small, semi-portable, 3D underwater observatory. *Limnology and Oceanography Methods* 5:250–262. doi: 10.4319/lom.2007.5.250.
- Frank C., Meier D., Voß D., Zielinski, O. (2014): Computation of nitrate concentrations in coastal waters using an in situ ultraviolet spectrophotometer: behavior of different computation methods in a case study a steep salinity gradient in the southern North Sea. *Methods in Oceanography* 09/2014; 9:34-43. DOI: 10.1016/j.mio.2014.09.002.
- Friedrichs G., Bock J., Temps F., Fietzek P., Körtzinger A., Wallace D.W.R. (2010): Towards continuous monitoring of seawater ¹³CO₂/¹²CO₂ isotope ratio and pCO₂: Performance of cavity ringdown spectroscopy and gas matrix effects. *Limnology and Oceanography: Methods* 8: 539-551.
- Garaba S.P., Badewien T., Braun A., Schulz A.-C., Zielinski, O. (2014): Using ocean colour remote sensing products to estimate turbidity at the Wadden Sea time series station Spiekeroog. *Journal of the European Optical Society - Rapid publications, Europe*, v. 9, jun. 2014. ISSN 1990-2573. http://www.jeos.org/index.php/jeos_rp/article/view/14020.
- Garaba S.P., Voß D., Zielinski O. (2014): Physical, Bio-Optical State and Correlations in North–Western European Shelf Seas. *Remote Sens.* 2014, 6, pp 5042-5066. Doi: 10.3390/rs6065042.
- Garaba S.P., Zielinski O. (2013): Comparison of remote sensing reflectance from above-water and in-water measurements west of Greenland, Labrador Sea, Denmark Strait, and west of Iceland. *Optics Express.* 2013 Jul 1;21(13):15938-50. doi: 10.1364/OE.21.015938.
- Garaba S.P., Schulz J., Wernand M.R., Zielinski O. (2012): Sunlint Detection for Unmanned and Automated Platforms. *Sensors* 12(9): 12545-12561. dx.doi.org/10.3390/s120912545.
- Gege P. (2004): The water color simulator WASI: an integrating software tool for analysis and simulation of optical in situ spectra, *Computers & Geosciences* 30:523–532.
- Gege P., Albert A. (2006): A tool for inverse modeling of spectral measurements in deep and shallow waters, Richardson, L.L., LeDrew, E.F.(Eds.), *Remote Sensing of Aquatic*

- Coastal Ecosystem Processes, Science and Management Applications. Springer, pp. 81–109.
- Gege, P. (2014): WASI-2D: A software tool for regionally optimized analysis of imaging Spectrometer data from deep and shallow waters, *Computers & Geosciences* 62:208–215.
- Gentz T., Schlüter M. (2012): Underwater cryotrap-membrane inlet system (CT-MIS) for improved in situ analysis of gases. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10:317-328. doi:10.4319/lom.2012.10.317.
- Gorsky G. et al. (2010): Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. In: *Journal of Plankton Research*.
- Gülzow W., Rehder G., Schneider B., J. Schneider von Deimling (2011): A new method for continuous measurement of methane and carbon dioxide in surface waters using off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS): An example from the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography Methods*, 9:176-184.
- Gutzeit E., Scheel C., Dolereit T., Rust M. (2014): Contour based split and merge segmentation and pre-classification of zooplankton in very large images, VISAPP 2014 - Proceedings of the 9th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, January 2014, Lisbon, Vol. 1, S. 417-424.
- Gutzeit E., Radolko M., Kuijper A. and Uwe von Lukas (2015): Optimization-based automatic Segmentation of organic objects of similar types, VISAPP 2015 - Proceedings of the 10th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, March 2015, Berlin, Vol. 1, S. 591-598.
- He D.-M, Seet G.G.L. (2004): Divergent-beam Lidar imaging in turbid water. *Optics and Lasers in Engineering* 41(1): 217-231.
- Henke B., Vahl M., Zhou Z. (2013): Removing color cast of underwater images through non-constant color constancy hypothesis. 8th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA) IEEE, 2013.
- Hieronymi M., Macke A., Zielinski O. (2012): Modeling of wave-induced irradiance variability in the upper ocean mixed layer. *Ocean Science*, 8, 103-120.
- Hofmann H. Peeters F., (2013): In-situ optical and acoustical measurements of the buoyant cyanobacterium *P. rubescens*: Spatial and temporal distribution patterns. *Plos One*. 8. e80913.
- Hudson N., Baker A., Ward D., Reynolds D., Brunsdon C., Carliell-Marquet C., Browning S. (2007): Can fluorescence spectrometry be used as a surrogate for the biochemical oxygen demand (BOD) test in water quality assessment? An example from South West England, *Science of the total environment*, Vol. 391, 149-158.

- Iversen M. H., Nowald N., Ploug H., Jackson G. A., Fischer G. (2010): High resolution profiles of vertical particulate organic matter export off Cape Blanc, Mauritania: Degradation processes and ballasting effects. *Deep-Sea Res. I* 57: 771-784.
- Jordt-Sedlazeck A., Koch R. (2012): Refractive calibration of underwater cameras. *Proceedings of the 12th European conference on Computer Vision - Volume Part V, ECCV'12*, pp. 846–859.
- Kamau E.N., Burns N. M., Falldorf C., von Kopylow C., Watson J., Bergmann R.B. (2013): Least-squares based inverse reconstruction of in-line digital holograms. *J. Opt.*, Vol. 15, 075716.
- Karakas G., et al. (2009): Impact of particle aggregation on vertical fluxes of organic matter. *Progress in Oceanography* 83: 331-341.
- Kloster M., Kauer G, Beszteri B. (2014): SHERPA: an image segmentation and outline feature extraction tool for diatoms and other objects. *BMC Bioinformatics* 15:218.
- Kunz C., Singh H. (2010): Stereo self-calibration for seafloor mapping using AUVs. *Autonomous Underwater Vehicles (AUV), IEEE/OES*, pp. 1–7.
- Lenhard K., Baumgartner A., Schwarzmaier T. (2015): Independent laboratory characterization of NEO HySpex imaging spectrometers VNIR-1600 and SWIR- 320m-e. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(4):1828-1841.
- Linke P., Schmidt M., Rohleder M., Al-Barakati A., Al-Farawati R. (2015): Novel online digital video and high-speed data broadcasting via standard coaxial cable onboard marine operating vessels. *Marine Technology Society Journal*, 49(1):7-18.
- Marx R. F. (1990): *The History of Underwater Exploration*. New York: Dover Publications.
- McGinnis D.F., Kirillin G., Tang K.W., Flury S., Bodmer P., Engelhardt C., Casper P., Grossart H.-P. (2015): Enhancing Surface Methane Fluxes from an Oligotrophic Lake: Exploring the Microbubble Hypothesis. *Environ. Sci. Technol.* 49 (2), 873–880.
- Möller K.O., St John M., Temming A., Floeter J., Sell A.F., Herrmann J.P., Möllmann C. (2012) Marine snow, zooplankton and thin layers: indications of a trophic link from small-scale sampling with the Video Plankton Recorder. *Mar Ecol Prog Ser* 468:57-69
- Moore C., Barnard A., Fietzek P., Lewis M.R., Sosik H.M., White S., Zielinski O. (2009): Optical tools for ocean monitoring and research. *Ocean Sci.*, 5, 661-684, 2009.
- Moustier C. de, Zabal X., Boelmann J., Kraft B., Zielinski O., Fox P. (2013): Near-Bottom Acoustical Detection of Bubble Streams Emanating from Natural Seafloor Seeps in the Gulf of Mexico. *Offshore Technology Conference, 2013, OTC 24171*.
- Lampitt R.S., Rice A.L., Thurston M.H. (1984): *The use of in situ photography in studies of the deepsea benthos at I.O.S. Institute of Oceanographic Sciences*, 182, 39pp.

- Narasimhan S., Nayar S. (2003) Contrast restoration of weather degraded images. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 25(6): 713 – 724.
- Novoa S., Wernand M., van der Woerd H.J. (2015): WACODI: A generic algorithm to derive the intrinsic color of natural waters from digital images. *Limnology and Oceanography: Methods*. doi: 10.1002/lom3.10059.
- Novoa S., Wernand M.H., van der Woerd H.J. (2013): The Forel-Ule scale revisited spectrally: preparation protocol, transmission measurements and chromaticity. *Journal of the European Optical Society: Rapid Publications* 8, 13057.
- Nowald N., Iversen M.H., Fischer G., Ratmeyer V, Wefer G. (2014): Time series of in-situ particle properties and sediment trap fluxes in the coastal upwelling filament off Cape Blanc, Mauritania, *Progress in Oceanography*, doi:10.1016/j.pocean.2014.12.015.
- Picheral M. et al. The Underwater Vision Profiler 5: An advanced instrument for high spatial resolution studies of particle size spectra and zooplankton. *Limnology and Oceanography: Methods* 8, 462-473 (2010).
- Pilskaln C. H., et al. (1998). Spatial and temporal dynamics in marine aggregate abundance, sinking rate and flux: Monterey Bay, central California. *Deep Sea Research II* 45: 1803-1837.
- Prien R.D. (2013): Optical assessment of nutrients in seawater. *Subsea optics and Imaging*, Editors J. Watson & O. Zielinski, ISBN 978-0-85709-341-7, Woodhead Publishing, pp. 572.
- Radolko M., Gutzeit E. (2015): Video Segmentation via a Gaussian Switch Background-Model and Higher Order Markov Random Fields, *VISAPP 2015 - Proceedings of the 10th International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, March 2015, Berlin, Vol. 1, S. 537-544.
- Ratmeyer V., Wefer G. (1996). A high resolution camera system (ParCa) for imaging particles in the ocean: System design and results from profiles and a three-month deployment. *Journal of Marine Research* 54: 589-603.
- Reedeker P. (2015): It's Time to Think in not Months but Years!. *MTR White Papers*, 1:18-22.
- Rees H.L. (ed. ICES Bericht) (2009). Guidelines for the study of the epibenthos of subtidal environments. *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences* No. 42. 88 pp.
- Röttgers R., Doerffer R. (2007): Measurements of optical absorption by chromophoric dissolved organic matter using a point-source integrating-cavity absorption meter, *Limnol. Oceanogr. Methods* 5:126-135.
- Röttgers R., Häse C., Doerffer R. (2007): Determination of the particulate absorption of microalgae using a point-source integrating-cavity absorption meter: verification with a photometric technique, improvements for pigment bleaching and correction for chlorophyll fluorescence. *Limnology and Oceanography Methods* 5:1-12

- Röttgers R., Schönfeld W., Kipp P.-R., Doerffer R. (2005): Practical test of a point-source integrating cavity absorption meter: the performance of different collector assemblies. *Appl. Opt.* 44: 5549-5560.
- Rust M., Winkler G., Götze C, Voskamp J., Gutzeit E., Feike M. (2013): ZooCount - Internet based counting and classification in very large images In: Poster Compendium of the Focus on Microscopy Conference.
- Sadeghi A., Dinter T., Vountas M., Taylor B., Peeken I., Altenburg-Soppa M., Bracher A. (2012): Improvements to the PhytoDOAS method for identification of coccolithophores using hyper-spectral satellite data. *Ocean Sciences*, 8, 1055-1070.
- Saderne V., Herman P.M.J., Fietzek P. (2013): Extreme Variations of pCO₂ and pH in a Macrophyte Meadow of the Baltic Sea in Summer: Evidence of the Effect of Photosynthesis and Local Upwelling, *PloS ONE* 8, e62689.
- Schmidt M., Linke P., Esser D. (2013): Recent development in IR-sensor technology for monitoring subsea methane discharge. *Marine Technology Society Journal* 47 (3), 27-35.
- Schmidt M., Linke P., Sommer S., Esser D., Cherednichenko S. (2015): Natural CO₂ seeps offshore Panarea – A test site for subsea CO₂ leak detection technology. *Marine Technology Society Journal* 49 (1), 19-30.
- Schnars U., Falldorf C., Watson J., Jüptner W. (2014): *Digital Holography and Wavefront Sensing*. 2nd ed., Springer, 2014.
- Schneider B., Kaitala S., Maunula P. (2006): Identification and quantification of plankton bloom events in the Baltic Sea by continuous pCO₂ and chlorophyll a measurements on a cargo ship. *Journal of Marine Systems* 59, 238–248. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.11.003
- Schulz J. (2013): Geometric optics and strategies for subsea imaging. *Subsea optics and Imaging*, Editors J. Watson & O. Zielinski, ISBN 978-0-85709-341-7, Woodhead Publishing, pp. 572.
- Schulz J., Peck M.A., Barz K., Schmidt J.O., Hansen F., Peters J., Renz J., Dickmann M., Mohrholz V., Dutz J., Hirche H.-J. (2012): Spatial and temporal habitat partitioning by zooplankton in the Bornholm Sea (central Baltic Sea). *Progress in Oceanography* 107:3-30. doi://10.1016/j.pocean.2012.07.002.
- Schulz J., Barz K., Ayon P., Lüdtke A., Zielinski O., Mengedoht D., Hirche H.-J. (2010): Imaging of plankton specimens with the Lightframe On-sight Keyspecies Investigation (LOKI) system. *J. Europ. Opt. Soc. RP*, 5, 10017s. ISSN 1990-2573. Online available: http://www.jeos.org/index.php/jeos_rp/article/view/10017s.
- Schulz J., Möllmann C., Hirche H.-J. (2007): Vertical zonation of the zooplankton community in the Central Baltic Sea in relation to hydrographic stratification as revealed by Multivariate Discriminant Function- and Canonical Analysis. *Journal of Marine Systems*. doi://10.1016/j.jmarsys.2006.09.004.

- Sedlazeck A., Koch R. (2012): Perspective and non-perspective camera models in underwater imaging - overview and error analysis. *Outdoor and Large-Scale Real-World Scene Analysis*, Volume 7474 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg.
- Shortis M., Harvey E., Abdo D. (2009): A review of underwater stereo-image measurement for marine biology and ecology applications. *Oceanography and Marine Biology*, 20092725:257–292. CRC Press.
- Soppa M. A., Hirata T., Brenner S., Dinter T., Peeken I., Wiegmann S., Bracher A. (2014): Global retrieval of diatoms abundance based on phytoplankton pigments and satellite. *Remote Sensing*, 6 (10), 10089-10106.
- Stachowitsch M., Riedel B., Zuschin M., Machan R. (2007): Oxygen depletion and benthic mortalities: the first in situ experimental approach to documenting an elusive phenomenon. *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 5, 344–352.
- Stephan T., Beyerer J. (2014): Computergraphical Model for Underwater Image Simulation and Restoration. *ICPR Workshop on Computer Vision for Analysis of Underwater Imagery (CVAUI) IEEE*, 2014.
- Thomanek K., Zielinski O., Sahling H., Bohrmann G. (2010): Automated gas bubble imaging at sea floor – a new method of in situ gas flux quantification. *OceanSci.*, 6, 549-562.
- Treibitz T., Schechner Y., Kunz C., Singh H. (2012): Flat refractive geometry. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34:51–65.
- Wehkamp S., Fischer P. (2013a): The impact of coastal defence structures (tetrapods) on decapod crustaceans in the southern North Sea. *Marine Environmental Research* 1–9. doi: 10.1016/j.marenvres.2013.08.011
- Wehkamp S., Fischer P. (2013b): Impact of hard-bottom substrata on the small-scale distribution of fish and decapods in shallow subtidal temperate waters. *Helgol Mar Res* 67:59–72. doi: 10.1007/s10152-012-0304-5
- Wehkamp S., Fischer P. (2013c): Impact of coastal defence structures (tetrapods) on a demersal hard-bottom fish community in the southern North Sea. *Marine Environmental Research* 83:82–92. doi: 10.1016/j.marenvres.2012.10.013
- Wehkamp M., Fischer P. (2014): A practical guide to the use of consumer-level digital still cameras for precise stereogrammetric in situ assessments in aquatic environments. *Underwater Technology* 32:111–128.
- Wellhausen J., Schulz J. (2015): Geo-morphologic investigations of the shore-sea interface with low-cost airborne imaging. 4th EOS Topical Meeting on Blue Photonics - Optics in the Sea (Blue Photonics 4), May 2015, Barcelona.
- Wernand M.R. (2011): Poseidons paintbox - Historical archives of ocean colour in global-change perspective. PhD thesis, Utrecht University, pp. 240, ISSN 978-90-6464-509-9.

- Wernand M.R., van der Woerd H.J., Gieskes W.W.C. (2013): Trends in ocean colour and chlorophyll concentration from 1889 to 2000, worldwide. *PLoS ONE*, 8(6):e63766.
- White D.J., Svellingen C., Strachan N.J.C. (2006): Automated measurement of species and length of fish by computer vision. In: *Fisheries Research* 80(2-3):203–210.
- Xue L., Yu W., Wang H., Jiang L.-Q., Feng L., Gao L., Li K., Li Z., Wei Q., Ning C. (2014): Temporal changes in surface partial pressure of carbon dioxide and carbonate saturation state in the eastern equatorial Indian Ocean during the 1962–2012 period (21 Nov 2014). *Biogeosciences* 11, 6293-6305.
- Zielinski O., Saworski B., Schulz J. (2010): Marine bubble detection using optical-flow techniques. *J. Europ. Opt. Soc. RP*, 5,19916s, ISSN 1990-2573. Online available: http://www.jeos.org/index.php/jeos_rp/article/view/10016s.
- Zielinski O., Voss D., Saworski B., Fiedler B., Körtzinger A. (2011): Computation of nitrate concentrations in turbid coastal waters using an in situ ultraviolet spectrophotometer. *Journal of Sea Research*, Volume 65 (4), pp 456-469. Doi: 10.1016/j.seares.2011.04.002.
- Zouak J., Bueley C., Reedeker P. (2014): Biofouling Foiled: UV Light Harnessed for Biofouling Control. *Marine Technology Reporter*, 57 (7):58-61.

Schulz, J.; et al.

Aquatische Optische Technologien in
Deutschland.

CONTENT

Kurzfassung/Abstract

1. Background
2. Marine optical technologies in
Germany
3. Joint challenges and potentials
4. National projects and developer
groups
5. Logistics and infrastructure
6. First national meeting "Aquatic
optical technologies"
7. Round Tables "Aquatic
optical technologies"
8. References

