

Rostocker Meeresbiologische Beiträge

**Beiträge
Zum Rostocker
Forschungstauchersymposium 2019**

Heft 30

Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
2020

HERAUSGEBER DIESES HEFTES: Hendrik Schubert

REDAKTION: Dirk Schories
Gerd Niedzwiedz
Hendrik Schubert

HERSTELLUNG
DER DRUCKVORLAGE: Christian Porsche

CIP-KURZTITELAUFNahme Rostocker Meeresbiologische Beiträge.
Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften.
– Rostock, 2020. – 136 S.
(Rostocker Meeresbiologische Beiträge; 30)

ISSN 0943-822X

© Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, 18051 Rostock

REDAKTIONSADRESSE: Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
18051 Rostock
e-mail: dagmar.heinrich@uni-rostock.de
Tel. 0381 / 498-6071
Fax. 0381 / 498-6072

BEZUGSMÖGLICHKEITEN: Universität Rostock
Universitätsbibliothek, Schriftentausch
18051 Rostock
e-mail: maria.schumacher@ub.uni-rostock.de

DRUCK: Druckerei Kühne & Partner GmbH & Co KG

Umschlagfoto Titel: Unterwasseraufnahmen und Abbildung des Riffs in Nienhagen,
[Uwe Friedrich, style-kueste.de]
Rückseite: Gruppenbild der Forschungstauchertagung [Thomas Rahr,
Universität Rostock, ITMZ]

Inhalt

	Seite
FISCHER, P. Vorwort	5
NIEDZWIEDZ, G. 25 Jahre Forschungstaucherausbildung in Rostock – eine Geschichte mit langer Vorgeschichte	7
VAN LAAK, U. Der Tauchunfall als misslungene Prävention: Ergebnisse aus der DAN Europe Feldforschung	39
MOHR, T. Überblick zum Forschungsprojekt „Riffe in der Ostsee“	51
NIEDZWIEDZ, G. & SCHORIES, D. Georeferenzierung von Unterwasserdaten: Iststand und Perspektiven	65
SCHORIES, D. Ein kurzer Ausschnitt über wissenschaftliches Fotografieren Unter- wasser und deren Anwendung	81
WEIGELT, R., HENNICKE, J. & VON NORDHEIM, H. Ein Blick zurück, zwei nach vorne – Forschungstauchen am Bundes- amt für Naturschutz zum Schutz der Meere	93
AUGUSTIN, C. B., BÜHLER, A. & SCHUBERT, H. Comparison of different methods for determination of seagrass distribution in the Southern Baltic Sea Coast	103
SCHORIES, D., DÍAZ, M.-J., GARRIDO, I., HERAN, T., HOLTUEUER, J., KAPPES, J. J., KOHLBERG, G. & NIEDZWIEDZ, G. Analysis of time-lapse images as a tool to study movement in situ in four species of sea urchins and one limpet from North Patagonia and the South Shetland Islands	117

Vorwort

Wie bei vielen wissenschaftlichen Infrastrukturen in Deutschland und Europa wird auch immer wieder die Existenzberechtigung des Forschungstauchens diskutiert. In einer zunehmend digitalen Forschungslandschaft fragen sich viele Förderinstitutionen, Institute, Behörden und Forschungseinrichtungen, ob es heute noch erforderlich und gerechtfertigt ist, ForscherInnen und StudentInnen dem Risiko eines beruflichen Aufenthaltes in einer primär lebensfeindlichen Umgebung, also unter Wasser, auszusetzen.

Als Sprecher der Kommission Forschungstauchen Deutschland führe ich diese Diskussion naturgemäß sehr oft. Auf der Gesprächspartnerseite spüre ich dabei häufig bereits nach einer kurzen Darstellung der Aufgaben und insbesondere der aktuellen Sicherheitskonzepte, die in Deutschland beim wissenschaftlichen Tauchen in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen gesetzlichen Unfallkassen verfolgt und kontinuierlich weiterentwickelt werden, ein großes Interesse zum wissenschaftlichen und technischen Diskurs. Wissenschaftliches Tauchen ist heute keine „exotische“ Methode für wenige ausgewählte besonders „toughe“ Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen mehr, es ist ein integraler Bestandteil einer modernen verteilten aquatischen Forschungsinfrastruktur. Bei der Lösung der im Zuge des Klimawandels und der anthropogenen Belastungen der im Küstenbereich auftretenden Forschungsfragen ist eine enge Vernetzung der menschlichen Expertise unter Wasser mit den neuesten aquatischen Technologien zwingend erforderlich. Wissenschaftliches Tauchen und die fortschreitenden Entwicklungen im Bereich mariner Technologie wie z. B. bei AUV's oder ROV' in Kombination mit dem zunehmenden Fortschritt im Bereich „Künstlicher Intelligenz unter Wasser“ stellen dabei ein wissenschaftlich-technologisches Kontinuum und Potential dar, welches wir für die Wissenschaft sinnvoll einsetzen können auch müssen.

Immer wieder sehe ich mich bei solchen Diskussionen aber auch mit Ansichten konfrontiert, dass der Einsatz der menschlichen Expertise unter Wasser zu teuer, zu aufwändig oder zu kompliziert wäre. Ein zu hoher Standard des berufsgenossenschaftlichen Arbeitsschutzes wird dabei immer wieder ins Feld geführt, der die Arbeit von Studenten und Wissenschaftlern unter Wasser unnötig teuer und kompliziert machen würde. Uns ist allen klar, dass die zur Verfügung stehenden Mittel in der akademischen Welt oftmals mehr als begrenzt sind und ich habe vollstes Verständnis für jeden Arbeitsgruppenleiter und Institutsleiter, der aus forschungspolitischen Erwägungen entscheidet, dass an seinem Institut die Infrastruktur „Wissenschaftliches Tauchen“ nicht angeboten da für die Arbeit nicht benötigt wird. Weniger bis kein Verständnis habe ich jedoch, wenn in wissenschaftlichen Instituten und Forschungseinrichtungen stolz die neuesten High-Tech-Sensoren und Geräte für die aquatische Forschung eingesetzt werden, eine adäquate und arbeitsrechtlich belastbare Ausbildung und Absicherung der Studenten und Wissenschaftler für die Arbeit unter Wasser aber in Frage gestellt wird.

Der vorliegende Sonderband zeigt auf beeindruckende Weise mit wie viel wissenschaftlichem und technologischem Know-How, Engagement und Einsatz Studenten, Studentinnen, Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die verteilte, mobile und modulare Infrastruktur „wissenschaftliches Tauchen“ bilden und nutzen,

um hervorragende Forschungsprojekte im aquatischen Bereich umzusetzen und dazu Publikationen zu schreiben. Die KFT ist stolz darauf, dieses Engagement im Rahmen eines sicheren und gesetzlichen belastbaren Arbeitsumfeldes unterstützen und fördern zu dürfen.

Rostock, März 2020

Prof. Dr. Philipp Fischer

Sprecher Kommission Forschungstauchen Deutschland

Gerd NIEDZWIEDZ*

* Universität Rostock, Forschungstauchzentrum, 18059 Rostock

gerd.niedzwiedz@uni-rostock.de

25 Jahre Forschungstaucherausbildung in Rostock

Eine Geschichte mit langer Vorgeschichte

Zusammenfassung

Forschungstauchen ist berufliches Tauchen mit wissenschaftlicher Zielstellung. Jede beauftragte berufliche Tätigkeit unterliegt hierzulande den Vorgaben der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV). Spezifische Regeln des Arbeitsschutzes beim Forschungstauchen definiert die DGUV-Regel 101-023; diese legt auch Inhalt und Umfang der Ausbildung fest. In Rostock wurden diese Regeln erst nach der sogenannten "Wende" relevant, was aber nicht bedeutet, dass hier vor 1990 keine wissenschaftlichen Tauchgänge durchgeführt wurden. Diese fanden damals auf der Basis des Regelwerks der Deutschen Demokratischen Republik statt. Bekannt wurden Taucheinsätze bspw. im Rahmen der Fischereiforschung bereits vor 1960. Der Ausbildungsumfang insgesamt war mit dem aktuellen vergleichbar. Damalige Arbeitsschutzregeln unterschieden sich zwar von den heutigen – aber nicht grundlegend. Bis Ende 1992 mussten die wissenschaftlichen Schwimmtaucher der ehemaligen DDR in einer neuerlichen Prüfung nachweisen, dass sie über ausreichende Kenntnisse im neu anzuwendenden Regelwerk der BRD verfügen. Diese Prüfung absolvierten jedoch nur 13 Personen. Es war absehbar, dass der künftige Bedarf an Forschungstauchern mit diesem Personal nicht abzudecken ist. Die seit 1989 ruhende Ausbildung wissenschaftlicher Taucher wurde bis 1994 deshalb neu in Rostock belebt. In 25 Ausbildungskursen sind bis zum Jahr 2019 insgesamt 267 Absolventen erfolgreich durch die Prüfungskommission für Forschungstaucher der Berufsgenossenschaft Bau (BG) geprüft worden. In zahlreichen Projekten in den Naturwissenschaften, bei der Ingenieur- und Umweltforschung oder auch in der Landesarchäologie kommen diese Wissenschaftler zum Einsatz. Ohne Forschungstaucher wären manche Projekte nicht zu realisieren gewesen. Derzeit gibt es in Deutschland insgesamt nur 7 von der BG anerkannte Ausbildungsbetriebe für Forschungstaucher; die Universität Rostock ist davon immer noch der einzige in den 5 neuen Bundesländern.

Schlüsselwörter: Forschungstauchen, Ausbildung, Arbeitsschutz, Berufsgenossenschaft, Tauchgeschichte, Tauchprojekte, Kooperationen

25 years of research diving education in Rostock

A story with a long history

Abstract

Research diving is professional diving with scientific objective. Each contracted professional activity in Germany is subject to the requirements of the German statutory accident insurance (DGUV). Here are specific rules of occupational safety defined. For research diving applies the DGUV rule 101-023, which also specifies the content and scope of the training. In Rostock, these rules only became relevant after the after the fall of the Berlin wall, which does not mean that no scientific dives were conducted here before 1990. These took place at that time on the basis of the rules of the German Democratic Republic (GDR) Diving operations in the context of e.g. fishery research are already known before 1960. The old training programme is comparable with the exercises of today, but occupational health and safety regulations differed from today's, though not fundamentally. By the end of 1992, the scientific swimming-diver of the former GDR were re-examined to the regulations of the Federal Republic of Germany (FRG). In total only 13 divers completed this examination. It was obvious that the future demand for research divers in Eastern Germany could not be covered with this limited number of divers. The training of scientific divers, which had been suspended from 1989 to 1993, was reactivated in 1994 in Rostock. In 25 training courses to date 267 graduates have been successfully audited by the Examination Board for Research Divers of the employers' liability insurance association (BG). These scientific divers participated in numerous projects in the natural sciences, in engineering and environmental research or in regional archeology. Without them many research projects would not have been realized. In Germany, only 7 training centres exist, the one of the University of Rostock is still the only one situated in one of the new federal states.

Keywords: scientific and research diving, training, health and safety, industrial injuries corporation, diving history, diving projects, co-operation

1 Einführung

Sehr wahrscheinlich sind überall auf der Welt Sport- und Hobbytaucher die Vorreiter für wissenschaftlich motiviertes Tauchen gewesen. Das war in Rostock nicht anders. Im Warnemünder Bäder-Journal Tidingsbringer wird über erste Tauchaktivitäten junger Leute aus Rostock und Warnemünde an der Ostseeküste berichtet (Meyer et al. 2017/18). Sie erkundeten mit selbst gebauten Masken und Flossen als Schnorchler bereits Anfang der 1950er Jahre die Unterwasserwelt. Und es dauerte nicht lange, bis sich eine Zusammenarbeit mit Prof. Bauch aus der Universität Greifswald entwickelte, der sehr an optischen Unterwassereindrücken und an Pflanzen- und Sedimentproben vom Boden der Ostsee interessiert war. Dafür stellte er den jungen Sporttauchern zeitweilig sogar die Außenstelle der Universität Greifswald auf der Insel Hiddensee zur Verfügung. Es wird berichtet, dass Prof. Bauch seine Studenten anhielt, ebenfalls zu tauchen – das war 1954. Möglicherweise würde

er die jungen Leute dazu heute immer noch motivieren wollen – dann würde er sicherlich aber einen Forschungstaucherlehrgang empfehlen.

Im Jahr 2019 feierte die Universität Rostock ihren 600. Geburtstag. Im gleichen Jahr fand der 25. Forschungstaucherlehrgang entsprechend der Regeln der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) statt. Beide Ereignisse motivierten dazu, die deutschen Forschungstaucher zu einem wissenschaftlichen Symposium nach Rostock einzuladen. Es soll die Gelegenheit genutzt werden, auch über die regionale Geschichte des Forschungstauchens zu berichten. Bei den entsprechenden Recherchen ergaben sich durchaus interessante und erwähnenswerte Umstände, die in dieser Form bisher noch nicht dokumentiert worden sind. Der nachfolgende Beitrag stellt den Versuch einer ersten Aufbereitung historischer Daten zum wissenschaftlichen Tauchen in Rostock dar.

2 Volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen nach dem 2. Weltkrieg

Betrachtet man die Entwicklung des professionellen wissenschaftlichen Tauchens nach dem 2. Weltkrieg auf dem Gebiet der ehemaligen DDR wird deutlich, dass diese eng mit dem Standort Rostock und hier wiederum mit der Entwicklung der Fischerei verknüpft ist. Anfangs war die industrielle Taucherei wie alle anderen Bereiche der Volkswirtschaft vor allem auf die Notwendigkeiten beim Wiederaufbau konzentriert.

Die wichtigste Aufgabe bestand vor allem in der Versorgung der Bevölkerung möglichst unter Verwendung eigener Mittel und Ressourcen. Diese waren jedoch infolge der Kriegsauswirkungen außerordentlich begrenzt und zudem bereits vor Kriegsbeginn sehr ungleich in Deutschland verteilt. So waren fast alle Kapazitäten und Erfahrungen bspw. in der Fischerei nicht in Ostdeutschland sondern im Westen Deutschlands zu finden. Der Anteil Ostdeutschlands am Vorkriegsgesamtfischfang war sehr gering: Von den 34.000 t Fisch, den deutsche Fischereifahrzeuge 1938 in der Ostsee gefangen hatten, entfielen gerade mal 2.000 t auf Fänge aus Mecklenburg-Vorpommern (MV) (Autorenkollektiv 1963); eine Hochseeflotte, die weiter entfernte Fangplätze anlaufen konnte gab es in MV nicht.

Im Osten Deutschlands musste alles nicht nur wieder, sondern vor allem neu aufgebaut werden. Aufgaben der neu gebildeten meereswissenschaftlichen Einrichtungen leiteten sich in erster Linie aus den Anforderungen der Fischerei, des Seeverkehrs und des technischen Küstenschutzes ab. Für die Entwicklung der Meeresforschung wurde 1950 der Seehydrographische Dienst der DDR (SHD) gegründet. Aus der Abteilung Meereskunde und dem späteren Hydro-Meteorologischen Institut entstand 1958 das Institut für Meereskunde in Warnemünde, das heutige Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Zur wissenschaftlichen Beratung der Fischerei wurden 1949 in Saßnitz eine Außenstelle des Instituts für Fischerei Berlin-Friedrichshagen und 1953 das Institut für Hochseefischerei und Fischverarbeitung in Rostock-Marienehe gegründet. (Brosin 1996).

In den Jahren 1948 bis 1952 wurden in einem für die deutsche Fischerei einmaligen Kutterbauprogramm 365 der sogenannten 17-m-Kutter durch insgesamt 18 Werften an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns und Berlin als Reparationsleistungen für die Sowjetunion sowie für die im Aufbau befindliche volkseigene Fischwirtschaft der ehemaligen DDR gebaut. Von der Gesamtbaureihe kamen 124

Kutter in der ostdeutschen Fischwirtschaft zum Einsatz; ihre anfängliche Stationierung war der Fischereihafen Saßnitz. Das betraf übrigens auch die SCHWERIN (Baujahr 1949, Fischereikennung SAS 105, später WOG 58), die bis 2013 unter dem Namen GADUS durch die Universität Rostock als Forschungs- und Ausbildungsschiff u. a. auch für das Forschungstauchen betrieben wurde.

Hinzu kamen 69 Kutter mit 21 m Länge (gebaut bis 1952), 50 Stahlkutter mit 26,5 m Länge (1957 – 1959), 16 Frosttrawler (49 m Länge, gebaut zwischen 1964 – 1967) und 2 Kühl- und Transportschiffe. Mit den stählernen 21-m-Kuttern konnte der Einsatzradius auf der Ostsee bis auf 200 sm Entfernung vom Heimathafen erhöht werden; die 26,5-m-Schiffe fuhren später regelmäßig bis in die Nordsee. Die DDR hatte nun mit der Hochseefischerei begonnen. (Strobel & Hahlbeck 1995), die noch eine große Bedeutung für die professionelle leichte Schwimmtaucherei erlangen sollte.

Als weiterer und letztlich größerer Standort für die sich notwendigerweise entwickelnde DDR-Hochseefischerei wurde ab 1959 der Standort Rostock genutzt und immer weiter ausgebaut. Im Jahr 1967 erreichte die Rostocker Fischereiflotte mit 101 Schiffen ihren maximalen Bestand und im Jahr 1973 landete sie mit 214 000 t den höchsten Eigenfang an. Die größten Schiffe waren 8 Fang- und Verarbeitungsschiffe der Supertrawlerklasse (Länge 102 m, Aktionsradius 24 500 sm) und die beiden Transport- und Verarbeitungsschiffe JUNGE WELT und JUNGE GARDE mit einer Länge von 141 m, 176 Personen Besatzung und 34 000 sm Aktionsweite.

Mit dieser Flotte konnten immer weiter entfernte Fangplätze in der Welt aufgesucht werden. Denn: die Einführung der 200 sm-Wirtschaftszone mit den entsprechenden, die Fischerei regulierenden Maßnahmen durch die Anrainerstaaten setzten die DDR-Fischerei bzgl. ihres Versorgungsauftrages für die einheimische Bevölkerung unter enormen Druck. So waren ab Mitte der 1970er Jahre DDR-Fischereischiffe auch im Südatlantik und in Antarktisnähe zum Fang bisher nicht genutzter Fischarten unterwegs. Es wurde u. a. versucht, Krill, Kalmar und andere bis dato in der DDR unbekannt Meerestiere zu fangen.

Dieser riesige Fischereiaufwand verschlang enorme Mittel. Die DDR-Mark war nicht frei konvertierbar, d. h. für Käufe auf dem Weltmarkt fehlte der DDR das "richtige" Geld. Manchmal musste ein Teil des gefangenen Fisches sofort gegen Devisen weiterverkauft werden. Die Ver- und Entsorgung der Flotte wurde zum großen Teil von Rostock aus betrieben. Aus Kostengründen kehrten aber die großen Fischereischiffe manchmal jahrelang nicht nach Rostock zurück; ihre Reparatur und Wartung erfolgte in ausländischen Häfen möglichst in Fangplatznähe. Die Besatzungen wurden per Flugzeug ausgetauscht.

3 Der leichte Schwimmtaucher

Zu den regelmäßig zu erledigenden Wartungsarbeiten an den Schiffen gehörte die "Unterbodenpflege" – die Befreiung des Unterwasserschiffes von marinen Bewuchs. Diese Arbeiten können auf einer Werft bspw. im Trockendock erfolgen; aus Kostengründen blieben die Schiffe aber sehr oft im Wasser und Taucher mussten diese Arbeiten ausführen. Es erwies sich als nützlich, Besatzungsmitglieder an Bord größerer Fischereischiffe zu haben, die gleichzeitig ausgebildete Schwimmtaucher waren. Der "leichte Schwimmtaucher" war ein speziell in der gewerblichen Taucherei der DDR ausgebildeter Berufstaucher ohne Helmtauchqualifikation. Diese berufliche Ausbildung fand ab 1963 regelmäßig in Rostock statt. Das Hauptziel bestand darin,

der Fischereiflotte Taucherpersonal bspw. für Havarien auf See oder Wartungsarbeiten in fremden Häfen zur Verfügung zu stellen, ohne dass ausländische Taucher bestellt (und dann mit Devisen bezahlt) werden mussten. Eine Helmtauchausrüstung war bei diesen Arbeiten nicht erforderlich, eher sogar hinderlich (Abb. 1).



Abb. 1: Der leichte Schwimmtaucher vs. Helmtaucher (Quelle: G. Dreiucker, privat)

Strobel & Hahlbeck (1995) erwähnen, dass auf den DDR-Fischereigrößschiffen und auf dem Fischereihilfsschiff ROBERT KOCH ca. 50 Seeleute als ausgebildete leichte Schwimmtaucher ständig mitführen und im Jahresdurchschnitt auch 40 mal zum Einsatz kamen. Nicht gerade der beliebteste Einsatz war die Schiffsaußenhautreinigung mit einer hydraulischen, rotierenden Bürste. In Häfen an der afrikanischen Küste war es manchmal notwendig, den Taucher im Haikäfig arbeiten zu lassen, was alles nicht einfacher machte.

Für das Jahr 1963 sind mehrere Taucheinsätze beschrieben (Kröger 2019), die auf den Fangplätzen durch Besatzungsmitglieder erfolgreich ausgeführt worden sind. Hin und wieder kamen diese Taucher sogar auf ausländischen Schiffen, auch aus der BRD zum Einsatz.

Vermutlich durch diese Entwicklungen in der DDR-Hochseefischerei bildeten professionell ausgebildete leichte Schwimmtaucher eine extra Gruppe in der gewerblichen Taucherei der DDR. Der leichte Schwimmtaucher wurde gleichberechtigt zum Helmtaucher der Berufstaucherei zugeordnet (Verfügung zur Taucheranordnung – Taucherverfügung – vom 4. April 1988). Die gewerbliche Taucherei blieb aber klar vom Sporttauchen getrennt, welches ausschließlich im Rahmen der Gesellschaft für Sport und Technik (GST) unter Beachtung der hier geltenden Sicherheitsvorschriften betrieben werden durfte. Für die Taucher der Schutz- und Sicherheitsorgane (Militär, Polizei, Katastrophenschutz) galten wiederum andere, spezielle Dienstvorschriften – so wie das heute auch ist.

4 Der Wissenschaftstaucher der DDR war leichter Schwimmtaucher

Unter diesen gesetzlichen Rahmenbedingungen war es völlig unproblematisch, auch wissenschaftliche Taucher wie leichte Schwimmtaucher auszubilden. Sie zählten wie gewerbliche Taucher als Berufstaucher und waren ebenso versichert. Ausbildungspläne und Sicherheitsvorschriften waren weitestgehend identisch; der Ausbildungsabschnitt "Helmtauchen" war jedoch ausgeklammert.

Teilnehmer dieser Lehrgänge waren neben einigen Besatzungsmitgliedern der Fischereischiffe also auch Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen, Ingenieure, Wasserbauer und Fernsehjournalisten bzw. Kameraleute. Aufgrund dieser Zusammensetzung der jährlich stattfindenden Ausbildungskurse war es nachvollziehbar, dass während der Ausbildung handwerkliche Dinge und technische Verfahren erst einmal mehr geübt wurden als spezielle wissenschaftliche Methoden. Diese Spezifik hat sich bis in die heutigen Rostocker Forschungstaucherlehrgänge erhalten. Der

Tradition folgend müssen die angehenden Forschungstaucher in Rostock heute immer noch an einer im Wasser versenkten Werkbank Stahlstropfs meieln, Holzkreuze (ohne Schrauben und Nägel) bauen oder Ringe von Stahlrohren absgen (Abb. 11).

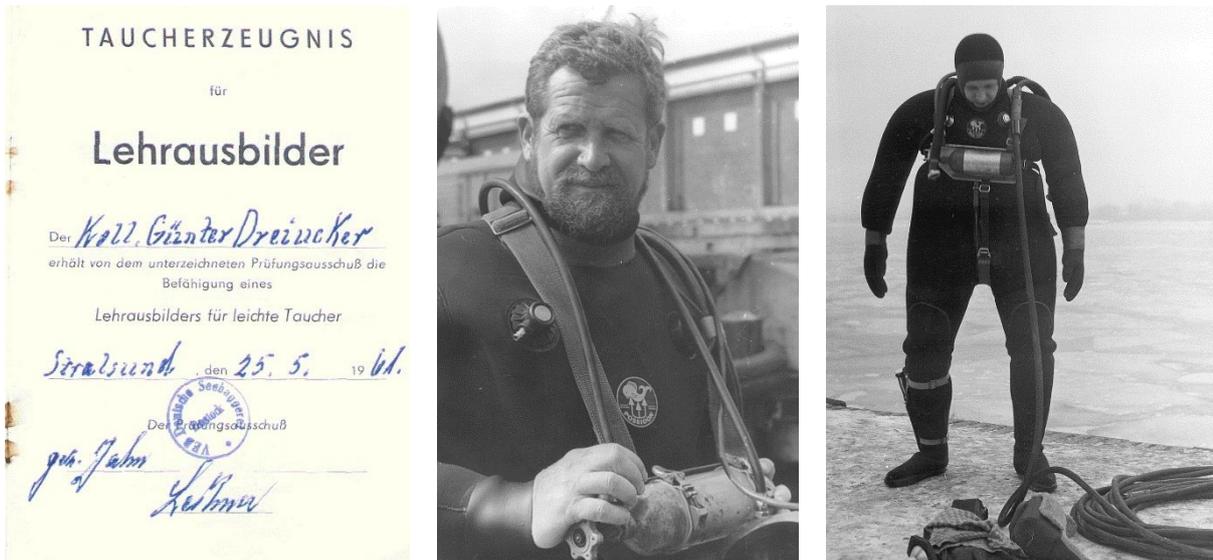


Abb. 2: Zertifikat des 1. Lehrausbilders für leichte (Schwimm-)Taucher (links), Tauchinspektor und Lehrausbilder Günter Dreiwcker kurz vor dem Taucheinsatz im Fischkombinat Rostock (mitte & rechts).

Der dienstälteste Ausbilder für leichte Taucher erhielt bereits 1961 sein Lehrausbilderzeugnis (Abb. 2); er versah diese Tätigkeit bis zur Wende 1989/90.

Allerdings berichtet Winkler (2009), dass bereits 1958 erste wissenschaftlich motivierte Taucheinsätze vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns stattfanden. Diese konzentrierten sich vor allem auf die Fischereiforschung. Neben der Beobachtung stationärer Fanggeräte ergab sich zunehmend die Notwendigkeit, auch die Wechselwirkung zwischen Form und Belastung von Schleppnetzen bei ihrem Unterwassereinsatz zu analysieren. Anfang 1959 wurde mit der Entwicklung eines Taucherschlittens begonnen, mit dem derartige Aufgaben lösbar waren (Winkler 1960). Im Jahr 1959 kam es sogar zu einer Testfahrt ins Rote Meer, die neben der Materialforschung auch Tauchereinstze umfasste (Winkler 2010). Darüber drehte die DEFA einen Dokumentarfilm, bei dem u. a. auf den selbst gebauten Taucherschlitten verwiesen und dieser im Einsatz gezeigt wird (Abb. 3).

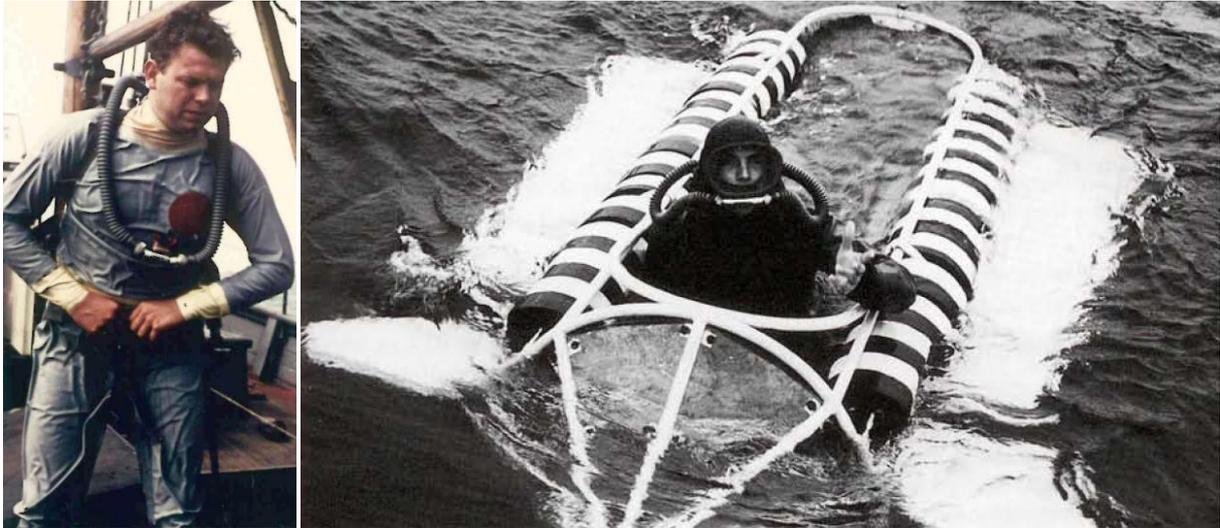


Abb. 3: **Links:** Erster deutscher Forschungstaucher: Hermann Winkler im selbstgefertigten 2-teiligem Trockentauchanzug. **Rechts:** Der Zwei-Mann-Taucherschleitten des Institutes für Hochseefischerei mit beweglichen Steuerflossen wie er auch 1959 im Roten Meer zum Einsatz kam. [aus Winkler (2010)]

Der bereits erwähnte spätere Ausbilder der leichten Schwimmtaucher, Herr Günter Dreiucker, begann seine berufliche Taucherlaufbahn in der Tauchergruppe um Hermann Winkler im Institut für Hochseefischerei und Fischverarbeitung Marienehe, die damit als Keimzelle der wissenschaftlichen Taucherei in der DDR angesehen werden kann.

1973 wurde im Verkehrsmedizinischen Zentrum Schifffahrt im Überseehafen Rostock eine Abteilung Tauchermedizin eröffnet, in der alle Berufstaucher in der DDR gesundheitlich überwacht und darüber hinaus die Taucherärzte medizinisch weitergebildet wurden. Leiter der Abteilung wurde Dr. Eberhard Peter. Er war zuvor Leiter des Ambulatoriums im Stadthafen Rostock. Später arbeitete er auch in der 1975 gegründeten Zentralen Taucherprüfungskommission der DDR mit (Abb. 4).

Der Autor dieses Beitrages absolvierte seine eigene Schwimmtaucherausbildung 1986 im VEB Fischkombinat Rostock und war später berechtigt, Tauchgänge für Schwimmtaucher bis 60 m Tiefe durchzuführen und auch zu leiten. Zu Beginn der Schwimmtaucherausbildung arbeitete er bereits 2 Jahre als Entwicklungsingenieur für Fischereitechnik im VEB Fischkombinat Rostock und hatte ziemlich genau 10 Jahre zuvor seine Ausbildung als Sporttaucher in der GST begonnen. Das half aber nicht viel: die Tauchtauglichkeit musste vom verantwortlichen Taucherarzt im Verkehrsmedizinischen Zentrum bestätigt werden. Und diese Untersuchung war nicht in 1 h erledigt. Alleine die psychologischen Eignungstests umfassten einen halben Tag. Es folgten Untersuchungen durch Fachärzte (HNO, Augen, Orthopädie, Pulmologie, Arbeitsmedizin). Und dann galt es, die während der gewerblichen Schwimmtaucherausbildung geforderten 50 Freiwasserausbildungsstunden mit gänzlich anderer Tauchausrüstung und unter völlig anderen Tauchbedingungen als bei der GST zu absolvieren. Auch der mehrwöchige Theorielehrgang wurde nicht erlassen.



Abb. 4: Mitglieder der Zentralen Taucherprüfungskommission (ZTPK) der DDR; 5. vr: Dr. med. Eberhard Peter; 1. vl. Günter Dreiucker; 3. vr. Vorsitzender Egon Seifert (Quelle: E. Seifert, privat)

Ausschnitte eines Artikels in der Zeitschrift POSEIDON (Tauchsportmagazin der DDR, 1969) von Andreas Elflein (einer der ersten Hochseefischer, der zum Schwimmtaucher ausgebildet wurde) bestätigten die eigenen Erfahrungen:

"Taucher an Bord, wenn ein Netz, eine Kurrleine in die Schraube gerät? Hier bot sich dem Kombinat eine Möglichkeit, auf lange Sicht hin Millionen einzusparen. Wenn man die in der Fischerei kaum zu vermeidenden Havarien auf hoher See an Ort und Stelle behebt, dann entsteht kein größerer Fangausfall, wird kein anderes Schiff der Flotte zum Abschleppen benötigt, dann ist es nicht mehr notwendig, wertvolle Devisen aufzuwenden, um Gebühren und Reparaturkosten in ausländischen Häfen zu bezahlen..."

"Vor allem aber – das war nichts mehr für Sporttaucher! Aus diesem Grunde wurde nach längerer Vorbereitung im August 1968 im Fischkombinat die Taucherinspektion gebildet und das Kombinat zum Leitbetrieb für die Ausbildung. Die Leitung der Inspektion übernahm Günter Dreiucker (vielen Tauchsportlern noch als Kapitän der Rostocker Orientierungstauchmannschaft 1959 bis 1961 bekannt), der selbst seit 1959 als Berufstaucher arbeitet..."

"Mitten im Winter ... legten zehn Fischereitaucher als Krönung eines mehrwöchigen Lehrgangs ihre Prüfung ab, eines Lehrgangs, der speziell auf ihre künftigen Aufgaben zugeschnitten war..."

"Wir werden diese Lehrgänge stets in die kalte Jahreszeit legen", meinte Günter Dreiucker, "das gibt uns die Gewähr, dass unsere Kollegen

schon in der Ausbildung mit den harten Bedingungen vertraut gemacht werden, die sie auf See erwarten..."

Der Autor dieses Beitrages kann das bestätigen: er absolvierte seine ersten eigenen Tauchstunden zwischen Weihnachten und Silvester 1985/86 im Hafenbecken vor der Taucherinspektion des Fischkombinates und erinnert sich:

"Andere saßen unterm Weihnachtsbaum bei Kaffee und Dresdner Stollen und ich in 5 m Tiefe in 2 °C warmen, nicht gerade sauberem Hafengewasser in einem undichten Trockentauchanzug mit 2 × 10 l-Tauchflaschen auf dem Rücken. Da keine anstrengenden Aufgaben anlagen und wegen anderweitigen Schiffsverkehr sehr nah an der Pier getaucht werden durfte, wurde die Zeit recht lang; der Zeiger des Druckmessers bewegte sich einfach nicht. Nach 2,5 h gab ich infolge eines dringenden Bedürfnisses das Zeichen zum Austauchen. Nach Beantwortung der Frage, warum ich denn jetzt schon bei mehr als 100 bar Restdruck im Tauchgerät aufhören wolle, wurde ich sehr deutlich vom Tauchausbilder (= Tauchinspektor) darauf hingewiesen, dass ein angehender Taucher lernen müsse, 'das' vorher zu machen!"

5 Einige Aufgaben für die DDR-Wissenschaftstaucher

An dieser Stelle kann nicht auf alle wissenschaftlichen Projekte eingegangen werden, die durch die ostdeutschen Taucher vor der Wende unterstützt wurden. Es gab eine Vielzahl von Routineaufgaben. Einige davon zeichneten sich aber durch gewisse Besonderheiten aus, die es wert sind, erwähnt zu werden.

5.1 Abgeschleppte Taucher

Tauchende Entwicklungsingenieure für Fangtechnik hatten natürlich später nicht vordergründig die Aufgabe, Schiffe zu säubern oder verwickeltes Fischereimaterial zu entfernen, sondern mussten neue Ideen und Fanggerätekonstruktionen praxisnah auf See testen. In der DDR war das sogenannte "Jagernetz" erfunden worden – ein Schleppnetz, dessen vorderer Netzteil durch parallel verlaufendes Tauwerk oder später durch riesige Maschen ersetzt worden war. Die Befürchtung, dass der Fisch durch die großen Löcher im Schleppnetz aus diesem leicht flüchten könne, erwies sich als unbegründet. Die Vornetz-Seilkonstruktion erzeugte ausreichend intensive hydrodynamisch turbulente Wasserbereiche, von denen sich die Fische fern hielten, solange der sich immer mehr verringernde Netzquerschnitt noch keine Panikreaktionen im Schwarm hervorruft. Genau diese Erkenntnisse stammten aber aus der Unterwasserbeobachtung über die Wechselwirkung zwischen Fanggerät und Fangobjekt. Heute steht für solche Aufgaben fernsteuerbare, robuste Videotechnik zur Verfügung – damals gab es die noch nicht. Deshalb sollten sich die Fangtechnikingenieure das vor Ort möglichst selber anschauen. Bevor also modernere Technik verwendet werden konnte galt es, mit Hilfe einer steuerbaren Doppelliege zwei leichte Schwimmtaucher in Sichtweite zum Schleppnetz durch das Wasser zu ziehen, um auf diese Art und Weise an die nötigen Informationen zu gelangen (Abb. 5).

Die Ideen für die bemannte Beobachtung dynamisch ablaufender Prozesse unter Wasser hatten ihren Ursprung lange Zeit vorher gehabt. Durch Winkler (1960) war fast 15 Jahre zuvor die Konstruktion und Erprobung eines Taucherschlittens bspw. zur

Beobachtung von geschleppten Fischereigeräten beschrieben worden (Abb. 3). Aufgrund der hier noch verwendeten UW-Filmkamera(s) Aquaflex 36 mm in großen, schweren und unhandlichen Gehäusen musste der Kameramann im Taucherschlitten sitzen, was einen relativ hohen hydrodynamischen Widerstand mit physischer Beanspruchung zur Folge hatte. Bei Schleppgeschwindigkeiten von bis zu 4 kn sollten die Taucher jetzt eine hydrodynamisch bessere Position einnehmen. Deswegen kam es später zum Neubau eines Taucherschlittens, auf dem beide Taucher nebeneinander liegend durch das Wasser gezogen wurden. Erstmals kam dieses Gerät Mitte der 70er bei der UW-Beobachtung von Schleppnetzen vor Warnemünde – Kühlungsborn zum Einsatz:

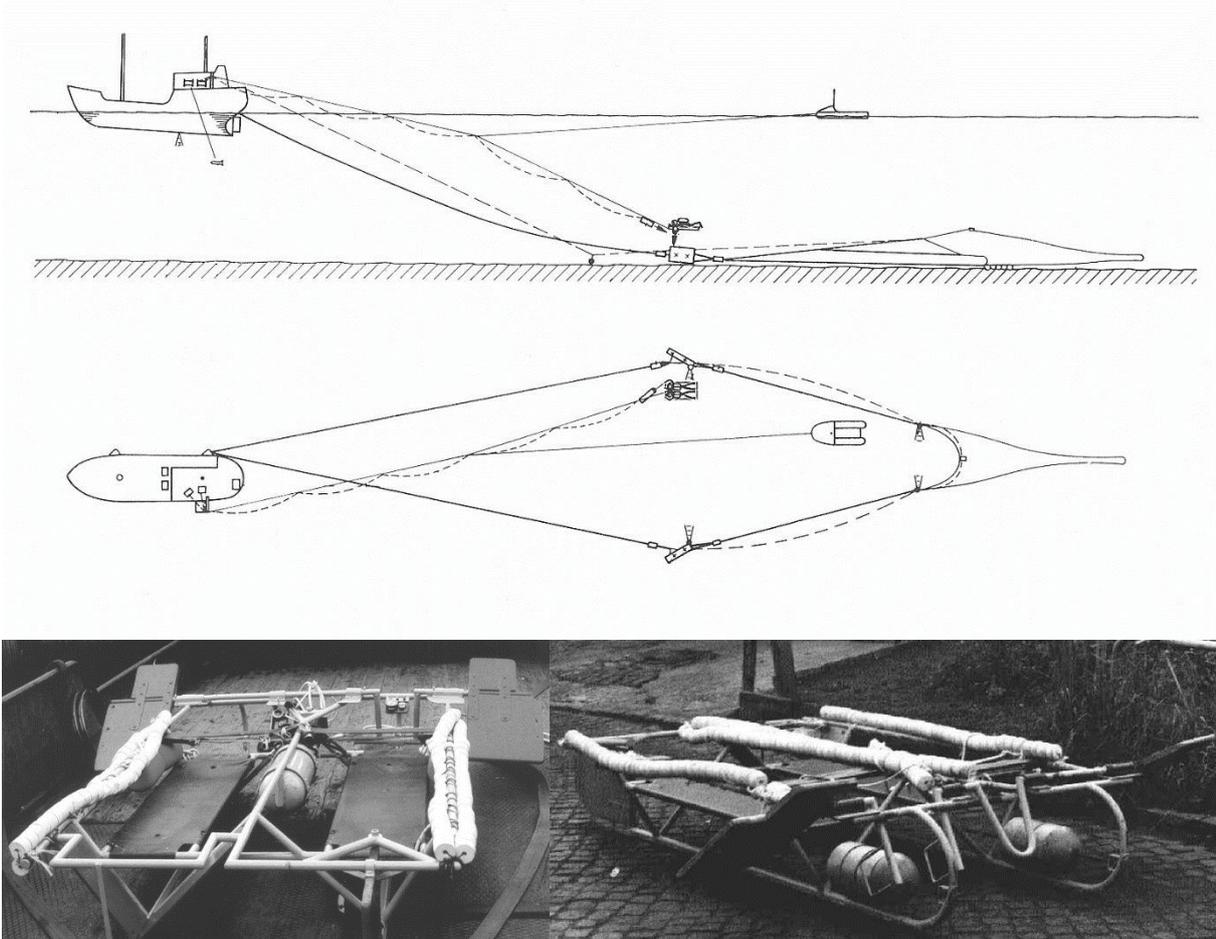


Abb. 5: Skizze für den Taucherschlitteneinsatz am Scherbrett eines Grundschleppnetzes (oben). Unten: Fotos vom eingesetzten steuerbaren 2-Mann-Taucherschlitten (jetzt im Nautineum Stralsund zu besichtigen).

Dieser Taucherschlitten wurde noch einmal intensiv zwischen 1986 – 1988 zur Beobachtung der Auswirkungen einer geschleppten Laserkanone in der Ostsee genutzt. Hier wurde ein Laserstrahl mit Hilfe sich drehender Spiegel aufgespalten und in einen rotierenden Lichtkegel transformiert, dessen Einzelstrahlen sich ähnlich der langen Leinen des Jagerschleppnetzes durch das Wasser bewegten. Es wurde die Hypothese vertreten, dass sich der aktiv schwimmende Fisch durch den Lichtstrahl beeinflussen lässt und zu einem Ort geleitet werden kann, wo er dann durch ein steertartiges Netz zu fangen ist. Der Fisch sollte also nicht mehr durch ein Seil (Jager) in den hinteren Teil des Schleppnetzes geleitet werden, sondern durch Licht. Bewegte

Lichtstrahlen haben im Wasser keinen hydrodynamischen Widerstand, wodurch sich also eventuell viel Energie sparen ließe (Abb. 6).

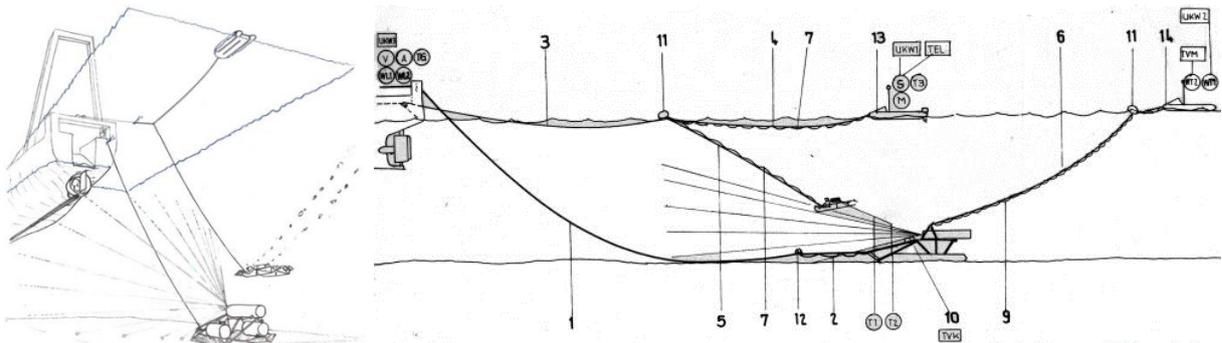


Abb. 6: Skizzen des Taucherschlitteneinsatzes am Laser-Schlepplichtkegel (Rehme & Dürr 1988).

Den Tauchern auf dem Schleppschlitten (Abb. 6) kam nicht nur die Aufgabe zu, die Funktionalität dieser neuartigen UW-Laserlichtkanone zu beobachten sondern auch das Verhalten der Fische im Bereich des Schlepplichtkegels. Der Taucherschlitten war während des Schleppens in horizontaler (quer zur Schlepprichtung) und vertikaler Richtung steuerbar. Ein geschickter Pilot konnte ihn sogar auf dem Rücken fahren ohne den Boden zu berühren. Zur richtigen Positionierung bzgl. der Laserkanone war es jedoch auch erforderlich die richtige Länge der Schleppleine einzustellen. Dies erfolgte auf Kommando der Taucher, die mittels UW-Telefon mit einem mitgeschleppten Schlauchboot verbunden waren. Der dort befindliche Signalmann konnte per Funk die Instruktionen an die Besatzung an Bord des Trawlers weiterleiten. Der Einsatzzeitraum dieser Technik lag innerhalb der Frühjahresheringssaison, also hauptsächlich von März bis Mai. Vorgesehen waren Arbeitstiefen bis 30 m und bis zu 3 Taucheinsätze / Tag. Damit wurden auch Wiederholungstauchgänge notwendig, die mit den bis dahin in der DDR üblichen Tauchtabellen nicht optimal planbar waren. In Abstimmung mit der zuständigen Arbeitsschutzinspektion des FDGB im Bezirk Rostock, den beteiligten Tauchmedizinern und der wissenschaftlichen Tauchergruppe im VEB Fischkombinat Rostock wurde vereinbart, die Taucheinsätze auf Basis der Bühlmannschen Repetitivtauchtabellen durchzuführen. Das war damals eine noch völlig neue Vorgehensweise. Kommerzielle Tauchcomputer gab es erst viele Jahre später zu kaufen, obwohl sie 1980 bereits erfunden waren und auch funktionierten (siehe Interview mit J. Hermann 2003). Aber auch ohne Tauchcomputer verliefen alle oftmals dekompensationspflichtigen Tauchgänge zur Beobachtung des Laser-Schlepplichtkegels bei manchmal nur 5 °C Wassertemperatur und bis zu 4 kn Schleppgeschwindigkeit absolut unfallfrei.

5.2 Geologische Untersuchungen am Boden der Ostsee

Geologische Untersuchungen auf der Ostsee haben nicht nur das Ziel, die Sedimentarten zu bestimmen, aus denen die Meeresbodenoberfläche besteht. Interessant sind auch Informationen über Veränderungen des Sediments unter dem Meeresboden. Heute wird versucht, mit speziellen Echoloten die entsprechenden Daten zu sammeln. Diese Techniken stehen aber erst seit ein paar Jahren zur Verfügung und so musste früher mit anderen Methoden gearbeitet werden. Neben der Probenahme durch Greifer und Stechrohre spielte der Einsatz von Forschungstauchern damals eine besondere Rolle. Bei den Tauchereinsätzen sollten neben der

Beprobung der Sedimentoberfläche auch der Zustand des Meeresbodens im Sichtfeld des Tauchers von ihm beschrieben werden. Gefordert waren Aussagen zum stofflichen Charakter der Sedimentoberfläche, Informationen zur Morphologie, zur Steinbestreuung, zu Sedimentmarken sowie zur beobachteten Flora und Fauna (Harff et al. 1979). In Gebieten mit Wassertiefen kleiner als 40 m, die mittels Echolot nicht durchschallt werden konnten, wurde versucht, den Aufbau der obersten Sedimentschichten durch den Einsatz von Spüllanzen zu erkunden. Dabei wurden bis zu 8 m lange Rohre mit einer an Bord des Forschungsschiffes befindlichen Pumpe verbunden und in den Meeresboden eingespült. Beim Einspülen beurteilte der Taucher das Eindringverhalten des Rohres sowie das austretende Spülgut. Durch Messung der jeweiligen Eindringtiefe der Spüllanze konnten so Angaben zur Mächtigkeit der durchteuften Ablagerungen gemacht werden (Abb. 7).

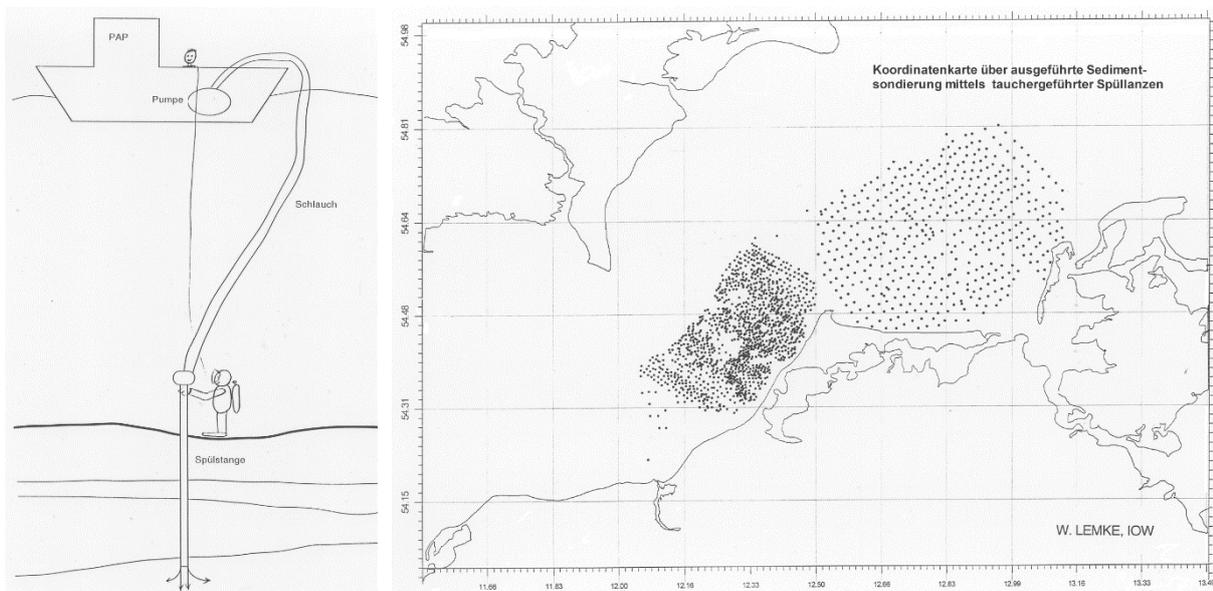


Abb. 7: Verwendete Technologie zum Spüllanzeinsatz auf dem Seeboden durch Forschungs-
taucher (links). Rechts: Seekartenskizze der Spüllanzeinsätze. Jeder Punkt auf der
Seekartenskizze stellt einen Taucheinsatz mit Sondierungslanze dar. (Skizzen: Lemke, IOW).

5.3 Als DDR-Taucher in der Antarktis

Die Antarktisforschung durch DDR-Wissenschaftler gestaltete sich unter den speziellen politischen Bedingungen anfangs recht schwierig. Das Bekenntnis der amtlichen Stellen in der DDR zur Polarforschung war halbherzig, wobei die hohen Kosten, die zudem teilweise noch in frei konvertierbarer Währung bereit zu stellen waren, für uneingeschränkte positive Entscheidungen nicht förderlich waren. Demgegenüber erhielt die DDR-Antarktisforschung von sowjetischer Seite politisch im Hinblick auf die Stärkung des sozialistischen Lagers im Antarktisvertragssystem vielfältigen Rückhalt. Die Möglichkeit der aktiven Teilnahme von DDR-Forschern an der Antarktisforschung gründete sich zwar auf das Ringen der DDR um internationale Anerkennung in den 50er und 60er Jahren als außenpolitische Aktivität (Paech 1992). Aber der damit verbundene Aufwand wurde lange Zeit gescheut. Die DDR trat 1974 formell dem Antarktisvertrag bei, versuchte aber erst 1980 eine eigene Antarktisstation aufzubauen. Das gelang dann 1987 mit der Gründung der Georg-Forster-Station. Doch bereits vorher unternahmen Wissenschaftler immer wieder Versuche, eigene

Forschungen in der Antarktis zu realisieren. Dabei waren sie auf die Unterstützung sowjetischer Kollegen unabdingbar angewiesen.

In diese Situation fiel der Wunsch von Dr. Rudolf Bannasch, unter Wasser schwimmende Pinguine im Rahmen seiner biologischen Studien zu dokumentieren, mit dem er sich an Dr. Martin Rauschert wandte. Rauschert leitete mehrere Jahre die Forschungsstelle für UW-Forschung bei der Dt. Akademie der Wissenschaften und war bekannt durch UW-Fotografie und entsprechende Publikationen. In Rostock war er wissenschaftlicher Schwimmtaucher geworden.

Während seines ersten Antarktisaufenthaltes 1980 – 82 überwinterte Rauschert in der sowjetischen Bellingshausen-Antarktisstation und führte hier mehrere Taucheinsätze durch. Er war der erste deutsche Forschungstaucher in der Antarktis überhaupt! 1984 – 1986 folgte seine 2. Überwinterung auf der Bellingshausenstation, bei der er wiederum zahlreiche biologisch motivierte Taucherarbeiten durchführte (siehe Rauschert 2009, Rauschert 2013).

Nach der Wende arbeitete er am heutigen Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) und nahm dort bis Ende 2004 an weiteren biologischen Expeditionen in beiden Polarregionen teil. Er veröffentlichte mehrere Bücher über seine Aktivitäten und Expeditionen.

6 Auswirkungen der politischen Wende auf das Taucherwesen: Vom wissenschaftlichen Schwimmtaucher zum Forschungstaucher



Abb. 8: Die Auflösung der ZTPK

Aufgrund seiner Ingenieurausbildung in der Fischerei- und Meerestechnik und der vorhandenen Erfahrungen in der universitären Lehre wurde dem Autor im Jahr 1988 der tauchphysikalische Teil bei der Ausbildung leichter Schwimmtaucher im Fischkombinat Rostock übertragen. Dieser Aufgabe widmete er sich bis 1990, wo er dann die Möglichkeit erhielt, zur Universität Rostock zurückzukehren und dort als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Meerestechnik zu arbeiten. Doch die Tätigkeit als Ausbilder für Berufstaucher hinterließ Spuren und motivierte ihn, Anfang der 90er Jahre nach Möglichkeiten zu suchen, die Ausbildung wissenschaftlicher Taucher in Rostock neu zu beleben. Denn das war notwendig: In einem Schreiben vom 14.9.1990 (Abb. 8) wurde den Mitgliedern der DDR-Taucherkommission durch das Seefahrtsamt mitgeteilt, dass mit dem "Einigungsvertrag" zwischen der BRD und

der DDR die Rechtsvorschriften der DDR und damit auch die "Anordnung über das Taucherwesen" außer Kraft gesetzt worden sind. Damit entfiel nicht nur die Möglichkeit zur weiteren Ausbildung leichter Schwimmtaucher als wissenschaftliche Taucher sondern es wurde sogar deren vorhandene berufliche Qualifikation in Frage gestellt. Denn: In der BRD gab es die Kategorie "leichter Schwimmtaucher" im gewerblichen

Bereich nicht. Kollegen, die bis 1990 wissenschaftlich motiviert Schwimmtaucherarbeit durchführen durften, hatten jetzt bis zum 31.12.1992 Zeit, eine Forschungstaucherprüfung entsprechend der BG-Regeln in der BRD abzulegen. Die anderen Schwimmtaucher aus der Fischereiflotte hätten sich zusätzlich zum Helmtaucher ausbilden lassen müssen, wenn sie im gewerblichen Bereich weiter hätten arbeiten wollen.

Letztlich unterzogen sich bis zum Ablauf der Übergangsfrist nur 13 ehemalige Schwimmtaucher der DDR erfolgreich einer theoretischen Prüfung zum Forschungstaucher. Es war zu befürchten, dass in naher Zukunft die neu anstehenden wissenschaftlichen UW-Aufgaben im marinen Bereich mit dieser dünnen Personaldecke nicht lösbar sein würden. Bereits während der ersten Kontakte zu den BRD-Forschungstauchern (Christian-Albrechts-Universität Kiel, CAU) bzw. zur Prüfungskommission für Forschungstaucher wurden mögliche Wege diskutiert, wie das sich abzeichnende personelle Dilemma beseitigt werden kann. Es wurde relativ schnell deutlich, dass das dauerhafte Zurückgreifen auf Forschungstauchern aus den alten Bundesländern keine dauerhafte Lösung sein kann. Die CAU übernahm 1993 ausnahmsweise und einmalig die Endausbildung zweier in Rostock theoretisch vorgebildeter Interessenten, hatte aber aufgrund eigener begrenzter Kapazitäten nicht die Möglichkeit regelmäßig Forschungstaucher der Universität Rostock auszubilden. Die Ausbildung eigener Forschungstaucher an der Universität Rostock wurde daher angestrebt.

Nur welcher der neuen Institute will sich mit einer solch personal- und geldaufwändigen Ausbildung belasten, die sehr wahrscheinlich niemals kostendeckend arbeiten wird? Tauchausbildung ist materialintensiv, aber Tauchausrüstungen auf dem aktuellen technischen Stand waren an der Universität Rostock nicht vorhanden. Alles musste neu beschafft werden – aber mit welchen finanziellen Mitteln? Tauchausrüstungen müssen sicher gelagert werden, bedürfen ständiger Wartung und Pflege und einer Zertifizierung entsprechend der gültigen Vorschriften (z. B. Flaschen-TÜV) – wie hoch sind diese Kosten und wer bezahlt das? Das waren Fragen in einer Zeit, wo sowohl in der Wirtschaft als auch bei Kultur, Bildung und Weiterbildung niemand sicher sagen konnte, in welche Richtung bestimmte Entwicklungen verlaufen werden.

An der Universität Rostock kam es Anfang der 90er zu grundlegenden Veränderungen nicht nur in der Personalstruktur sondern auch in der Organisation von Forschung, Lehre und Weiterbildung. Alles das waren komplizierte Prozesse, die Hauptaufgaben einer Universität betreffend; da passte die Idee einer Forschungstaucherausbildung zunächst nicht so richtig ins Konzept.

Vertreter der Universität Rostock äußerten sich zudem unsicher zur finanziellen Verfahrensweise: es war 1992/93 noch nicht sicher, wie mit Geldern umgegangen werden durfte, die die Universität für Lehrzwecke von Kursteilnehmern erhält. Über Studiengebühren hatte man in der BRD insgesamt damals noch nicht nachgedacht. Manche Kollegen vertraten die Meinung, dass solche Mittel an den Landeshaushalt abgeführt werden müssten und der Bedarf dann dort anzumelden wäre. Mit anderen Worten: eingeworbenes Teilnahmeentgelt für einen eventuellen Forschungstaucherkurs kommt dann nicht unbedingt dem eigentlichen Zweck zugute sondern vielleicht einem Projekt mit zeitlich früherer Antragstellung. Für die Planungssicherheit einer Weiterbildungsmaßnahme war das nicht akzeptabel – zumal in dieser Zeit der beruflichen Neuorientierung, wo der Weiterbildung insgesamt eine sehr hohe Bedeutung zukam. Nicht von ungefähr kam es zur Neugründung zahlreicher Gesellschaften, die sich die berufliche Qualifizierung und Weiterbildung zum Ziel setzten und mit Fördermitteln unterstützt wurden. Dazu gehörte auch die Weiterbildungsgesellschaft an der Universität Rostock e. V. (WBG), die für die Neugründung der Forschungstaucherausbildung in Rostock noch eine sehr wichtige Rolle spielen sollte.

Ab 1992 begannen trotzdem organisatorische und inhaltliche Vorbereitungen für die Ausbildung wissenschaftlicher Taucher in Rostock, obwohl keiner sagen konnte, wie diese umzusetzen ist. Ohne jede Tauchausrüstung blieb einer kleinen Gruppe ehemaliger leichter Schwimmtaucher der DDR (jetzt waren sie Forschungstaucher), die noch oder auch wieder an der Universität Rostock angestellt waren erst einmal nur der Weg eines Vorlesungsangebotes im Rahmen des studium generale, also universitätsoffen zum Thema "Grundlagen des wissenschaftlichen Tauchens". Diese Vorlesungsreihe fand insgesamt 3 x Herbstsemester begleitend statt und erfreute sich eines regen Zuspruches. Im Jahr 1993 hatten sich mehr als 40 Zuhörer angemeldet. Für die Veranstaltung musste manchmal der große Hörsaal der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik genutzt werden – auch weil mit filmischen Dokumentationsmaterial gearbeitet wurde und die entsprechend Vorführtechnik dort noch vorhanden war.

Es wurde versucht, möglichst fachkompetente Dozenten für spezielle Themen der beruflichen und wissenschaftlichen Taucherei zu gewinnen. So erklärte sich Dr. med. Eberhard Peter sofort bereit, das Kapitel "Tauchmedizin" zu lehren. Dr. Peter war bereits Mitglied der Taucherkommission der DDR gewesen, welche alle Berufstaucher prüfte und leitete viele Jahre die Abt. Tauchmedizin im Institut für Schifffahrtsmedizin in Rostock Langenort. Er nahm bis zur Wende dort nicht nur die Tauchtauglichkeitsuntersuchungen für Berufstaucher vor, sondern führte gemeinsam mit Prof. Niklas leistungsdiagnostische Tests mit Berufstauchern durch (Abb. 9).



Abb. 9: Versuchsanordnung zur Leistungsdiagnose von Schwimmtauchern nach Niklas & Peter (1993).

Als Taucherarzt betreute er zudem zahlreiche wissenschaftlich motivierte Taucheinsätze (u. a. das Unterwasserhaus im Schwarzen Meer innerhalb des Projektes Tschernomore (Rauschert, 2019), sowie die Einsätze am "Schlepplicht-Kegel").

Die Biologen Dr. rer. nat. Nils Jönsson und Dipl. Biol. Thomas Lorenz, beide wissenschaftliche Mitarbeiter an der Universität Rostock beteiligten sich an den Vorlesungen mit speziellen Kapiteln zur Gesetzeskunde (gewerbliches Tauchen nach BRD-Recht) und zur Taucherpraxis. Sie arbeiteten Ende der 80er / Anfang der 90er u. a. als wissenschaftliche Taucher bei der Erforschung des Rügenschens Frühjahrsherings im Greifwalder Bodden mit.

Dr. Niedzwiedz nahm Kontakt zur Abt. Tauchtechnik der Drägerwerke AG in Lübeck auf. Die Drägerwerke wurden Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt durch Entwicklungen auf dem Gebiet der Medizintechnik, die ebenfalls für die Tauchtechnik Bedeutung erlangten. Noch heute in Erinnerung sind bspw. der U-Bootretter – ein Rettungsgerät für U-Bootbesatzungen, ein schlauchloses Helmtauchgerät oder auch Mischgas- bzw. Sauerstoffkreislaufgeräte. 1969 baute Dräger ein UW-Labor vor Helgoland. Später engagierte man sich verstärkt bei Tieftauchsimitatoren. Der bekannteste war die GUSI (GKSS-Unterwasser-Simulationsanlage) in Geesthacht, welche von 1982 – 1994 als Druckkammer für bemannte Tauchabstiege bis in 600 m simulierter Tiefe verwendet wurde. Herr Dipl.-Ing. Harms, 1992 leitender Ingenieur in der tauchtechnischen Abteilung der Drägerwerk AG erklärte sich während eines ersten Treffens mit Dr. Niedzwiedz bereit, Vorlesungen über modernste Verfahren beim Tieftauchen für die Universität Rostock zu halten. Damals ging man immer noch davon aus, irgendwann bis in 1000 m Tiefe bemannt tauchen zu können. Als mit ihm über die Idee "Forschungstaucherausbildung in Rostock" gesprochen wurde, sicherte er ideelle und materielle Unterstützung im Rahmen der Möglichkeiten seines Unternehmens zu.

Im Jahr 1993/94 gab es auch erste Kontakte zum Geschäftsführer der Weiterbildungsgesellschaft an der Universität Rostock e.V. (WBG), Herrn Prof. Dr. Ulrich Kibbel. Er zeigte sich pragmatisch und offen für die Übernahme einer berufsbegleitenden Aus- und Weiterbildung zum geprüften Forschungstaucher durch seine Einrichtung. Die entscheidende Hilfe entstand dadurch, dass das gesamte finanzielle Verfahren durch die WBG abgewickelt werden sollte. Die Finanzierung der Lehrgänge selbst hatte aber über Teilnahmeentgelte zu erfolgen. Die WBG war als e. V. juristisch eigenverantwortlich und unterlag nicht den Regelungen des Landeshochschulgesetzes. Die Idee war also, die WBG zum Ausbildungsbetrieb für Forschungstaucher durch die Prüfungskommission bei der BG-Bau zuzulassen.

Allerdings tat sich hier eine neue Hürde auf: In der damals noch gültigen "Richtlinie für den Einsatz von Forschungstauchern – ZH 1/540" (Ausgabe 10.1979), herausgegeben durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften waren im Anhang 6 "Grundsätze für die Anerkennung von Ausbildungsbetrieben für Forschungstaucher" definiert. Hier war u. a. gefordert, dass der Ausbildungsbetrieb seine vorhandenen Tauchgeräte, Luftversorgungsanlagen und Taucherhilfsgeräte bei der Antragstellung auflistet. Desweiteren musste der künftige Ausbildungsbetrieb mindestens einen ausbildungsberechtigten sowie einen erfahrenen Taucher beschäftigen. Dazu war zu lesen:

"Als ausbildungsberechtigter Taucher kann betrachtet werden, wer mindestens 5 Jahre als Berufstaucher tätig war, in dieser Zeit insgesamt mindestens 500 Tauchstunden abgelegt hat, zuverlässig ist und seine Kenntnisse und Fähigkeiten den auszubildenden Personen weitergeben kann.

Ein Taucher kann als erfahren betrachtet werden, wenn er insgesamt 400 Tauchstunden nachweisen kann."

Es blieb die nüchterne Feststellung: Die WBG verfügte weder über Tauchtechnik noch über Tauchpersonal. An der Universität Rostock waren bestenfalls einige erfahrene leichte Schwimmtaucher beschäftigt. Ausbildungsberechtigte Taucher gab es hier aber nicht; Tauchgeräte ebenfalls nicht.

Was also tun? Am IOW waren nicht nur einige ehemalige Schwimmtaucher der DDR beschäftigt, sondern auch in der Volksmarine der DDR ausgebildete Marine-taucher, die aufgrund ihrer Helmtauchausbildung jetzt als Berufstaucher zählten. Diese hatten genügend Tauchstunden angesammelt. Gelänge es, 1 oder 2 dieser Kollegen für die geplante Forschungstaucherausbildung in Rostock zu gewinnen, wäre das Ausbilderproblem formell gelöst. Die betreffenden Kollegen selbst konnten sich die Übernahme einer derartigen Aufgabe durchaus vorstellen – ihr amtierender Direktor allerdings nicht sofort. Als ehemaliger Direktor des AWI hatte Prof. Hempel selbstverständlich Kenntnis von den tödlich ausgegangenen Tauchunfällen Jahre zuvor bei wissenschaftlichen Arbeiten vor Helgoland. Es war abzuwägen, ob man künftig bei einer Ausbildung von Forschungstauchern beteiligt sein möchte, die natürlich bei Taucheinsätzen auch zu Schaden kommen können. Andererseits war aber ebenfalls absehbar, dass das IOW von neu ausgebildetem Taucherpersonal profitieren würde und damit besser seinen multidisziplinären Aufgaben bei der Erforschung der Ostsee nachkommen könnte. Diesen Gedanken entgegen kam die Empfehlung des Wissenschaftsrates, künftig stärker mit der Universität Rostock als Aninstitut zusammen-zuarbeiten. Letztlich rang sich die IOW-Leitung dazu durch, auf der Basis eines Kooperationsvertrages mit der Universität Rostock bei der Ausbildung von Forschungstauchern unter Beachtung der aktuellen Vorgaben durch die zuständigen Berufsgenossenschaften mitzuarbeiten.

Die Forderung eines Kollegen aus dem IOW, dann aber künftig alle IOW-Taucher kostenlos auszubilden stellte das retardierende Moment in dieser Dramaturgie dar. Es konnte dem aber einleuchtend dahingehend begegnet werden, dass dann ein Ausbildungskurs, bestehend nur aus Angehörigen der Uni Rostock und des IOW über gar keine finanziellen Mittel verfügen würde, weil ja auch die Universität eine solche Forderung für ihre Mitarbeiter und Studenten erheben könnte.

Als Ergebnis dieser Diskussionen wurden die Kollegen Andreas Frahm und Gerald Nickel vom IOW als ausbildungsberechtigte bzw. erfahrende Taucher und potentiell für die Forschungstaucherausbildung zur Verfügung stehend benannt. Allerdings wäre immer dienstlichen Belangen des IOW Vorrang einzuräumen. Als sehr positiv war anzumerken, dass das IOW Teile seiner damals vorhandenen Tauchausrüstung (Regler, Tauchflaschen, Druckkammer) und Infrastruktur (Boot, Fahrzeuge) für eine künftige Forschungstaucherausbildung einer Mitbenutzung durch den Ausbildungsbetrieb zugänglich machte.

Vertreter der damaligen Prüfungskommission für Forschungstaucher (PK) begleiteten diesen Prozess permanent und gaben immer wieder wertvolle Hinweise. So wurde seitens der PK angeregt, die bestehenden guten Kontakte zur Drägerwerk AG Lübeck zu nutzen und dort zu fragen, ob eine Unterstützung für die Rostocker Forschungstaucherausbildung in Form von Tauchgeräten aus eigener Produktion möglich und denkbar wäre. Es waren dann zwar nicht die modernsten Ausrüstungen, aber immerhin 10 komplette Tauchgeräte (2 davon mit Vollgesichtsmasken Dräger-Secora 600, 8 mit Einschlauchregler), die die Drägerwerk AG dem künftigen Ausbildungsbetrieb im Jahre 1994 kostenfrei zukommen liessen. Alle Beteiligten empfanden diese Spende wie ein Startsignal; es wurde der Wille der Initiatoren spürbar, eine gute Idee solide umzusetzen. Andererseits erhöhte sich zunehmend auch die Akzeptanz dieses Prozesses im Umfeld und an der Universität Rostock (UniR) selbst.

Das Angebot, von der Dräger AG einen ADS (Atmospheric Diving Suit / Newtsuit, Abb. 10) für die künftige Forschungstaucherausbildung zu übernehmen wurde nach eingehender Prüfung abgelehnt – es war auch sicherlich nicht ganz ernst gemeint.



Abb. 10: Ausbilder Andreas Frahm (IOW) vor einem Testtauchgang im ADS-Panzertaucher.

7 Der Neubeginn der Forschungstaucherausbildung in Rostock

Der Vorstand der WBG, allen voran ihr Geschäftsführer Prof. Dr. Kibbel brachten den Mut und das Vertrauen auf, mit der Ausbildung von geprüften Forschungstauchern nicht nur an bestehende Risiken zu denken. Durch die künftige Wiedereinsatzbarkeit von selbst ausgebildeten Forschungstauchern sollte dem Wissenschaftsstandort Rostock in maritim ausgerichteten Projekten geholfen werden können – so die Überlegung. Dem Antrag der WBG wurde am 05.02.1995 stattgegeben und der Weiterbildungsverein als Ausbildungsbetrieb für Forschungstaucher durch die PK anerkannt. Als ausbildungsberechtigte bzw. erfahrene Taucher wurden Dr. Niedzwiedz (UniR), Herr Frahm (IOW) und Herr Nickel (IOW) benannt. Als weitere Ausbilder(helfer) fungierten Dr. Jönsson (UniR), Herr Lorenz und Dr. med. Peter.

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass diese Personen (bis auf Herrn Nickel, der nach einigen Jahren gesundheitsbedingt das Tauchen einstellen musste) auch noch am 25. Ausbildungskurs im Jahr 2019 aktiv und maßgeblich beteiligt waren. Das Team ist aber inzwischen durch weitere Kollegen verstärkt worden.

In dem erwähnten Kooperationsvertrag zwischen der Universität Rostock und dem IOW wurde der Wille zur Zusammenarbeit und Regelungen bei der gemeinsamen Ausbildung von Forschungstauchern festgeschrieben. Diesem Vertrag trat auch das Landesamt für Kultur und Denkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern bei; es profitierte über viele Jahre von ausgebildeten Forschungstauchern, die für unterwasserarchäologische Aufgaben eingesetzt wurden. Zu DDR-Zeiten waren derartige Arbeiten an der Ostseeküste nicht möglich. Rückblickend gab es seither mehrere bemerkenswerte Projekte, wo auch durch in Rostock ausgebildete Forschungstaucher spektakuläre archäologische Funde unter Wasser wissenschaftlich bearbeitet wurden.

Trotz der gespendeten Tauchgeräte fehlte anfangs noch viel an notwendiger Ausrüstung und es gab wenig Erfahrungen bei der Umsetzung der vorgegebenen Ausbildungspläne. Das betraf nicht nur den theoretischen Lehrstoff sondern auch die Schwimmhallen- und Freiwasserausbildung.

Die Universität Rostock verfügte zwar seit 1979 über ein eigenes Schiff (der 17-m-Kutter GADUS wurde bis 1983 für universitäre Zwecke umgebaut), dieses war jedoch fast das gesamte Jahr in Gager/Insel Rügen stationiert bzw. wurde Anfang – Mitte der 90er vom Lehrstuhl Biophysik verwaltet, der es größtenteils für eigene Aufgaben einsetzte. So war es 1995 noch nicht für die 1. Forschungstaucherausbildung in Rostock verwendbar. Vom Warnemünder Fischkutterverein "Jugend zur See" konnte 1995 die PASEWALK für 10 Ausfahrten auf die Ostsee zum Vorzugspreis gechartert werden. Das Schiff brachte aber erstmalig Taucher auf See und war eigentlich für diese Aufgabe nicht so richtig vorbereitet. Eine Taucherleiter musste anderswo geliehen und angepasst werden. Der Betrieb eines Kompressors an Bord war nicht möglich. Der Chartervertrag erwies sich mit seinen festen Terminvereinbarungen als zu unflexibel – auf Witterungsprobleme konnte nur unzureichend reagiert werden. Bei zu starkem Wind war die Ostsee nicht befahrbar; alternative Tauchmöglichkeiten in Binnengewässern Rostocks oder seiner näheren Umgebung sind aber sehr rar. Aus heutiger Sicht waren dann auch die in der 1. Forschungstaucher-Freiwasserprüfung gezeigten Tauchfertigkeiten nicht überragend. Es wurde deutlich, dass bei einigen Kursteilnehmern noch Übungsbedarf bestand und es erging seitens der PK die Auflage, noch weitere Trainingsabstiege durchzuführen. Die Ausbilder empfanden es als Bonus des 1. Versuchs, dass letztlich doch alle Teilnehmer ihre Prüfung bestehen konnten. Dieses "Augenzudrücken" war aber in der Prüfung des 2. Kurses 1995/96 verschwunden. Seitdem haben Ausbildungsniveau und -umfang kontinuierlich und deutlich angezogen. Zum Erreichen der noch in der ZH 1/540 geforderten 30 Freiwasserstunden wurden ab 1996 immer die ersten 2 Wochen Tauchausbildung in geeigneten Gewässern außerhalb Rostocks (Salzhaff 1996 – 97, Jabelscher See 1998 – 1999, Dolgener See 1996 – 2004, Tiefwareensee 2005, Schweriner See) unter Expeditionsbedingungen durchgeführt. Hier konnte sich die Gruppe der Kursteilnehmer zu einem Team zusammenfinden – ein aus sozialer Sicht nicht unwichtiger Aspekt. Forschungstauchen erfolgt immer in einer Tauchgruppe mit hier genau definierter Aufgabenverteilung; man muss sich absolut aufeinander verlassen können. Für ausgeprägten Individualismus ist kein Platz. Einige Kursteilnehmer der vergangenen Jahre mussten deshalb manchmal in ihrer Teamfähigkeit einen gewissen Lernprozess durchlaufen. Der 2. Teil der Freiwasserausbildung findet inzwischen immer auf der Ostsee statt, um auch deren Einsatzbedingungen kennenzulernen.

Seit 2006 bis heute finden nunmehr die ersten 2 Ausbildungswochen in Bad Kleinen am Schweriner See statt, wo unter Bedingungen, die nach einigen Tagen vertraut werden, definierte, vorbereitete Aufgaben unter Wasser zu lösen sind. Es steht ausreichend Zeit zur Verfügung, um die neuen Probleme beim Trieren, Tauchen mit Signalleine, im Trockentauchanzug mit Vollgesichtsmaske durch Übung zu beseitigen. Zur Gestaltung einer abwechslungsreichen Ausbildung gibt es diverse Aufgaben, die später in wissenschaftlichen Projekten als Erfahrung vorliegen und fehlerfrei ausführbar sein müssen (Sediment- und Wasserprobennahme, Stechrohrbeprobung, UW-Zeichnen und Foto / Videodokumentation, Hebesackarbeit, UW-Orientierung mit Kompass und GPS). Aber auch bei handwerklichen Arbeiten kann Geschick bewiesen werden (Abb. 11).



Abb. 11: Ziel eines Ausbildungstauchganges: Bau eines Holzkreuzes ohne Nägel und Schrauben.

Die erworbenen Fertigkeiten können dann in der letzten Ausbildungsphase, bei Tauchgängen in der Ostsee, angewendet und vervollkommnet werden. Sicherheitsübungen in der Tauchgruppe nehmen mit zunehmender Ausbildungsdauer immer breiteren Raum ein. Ein Höhepunkt dabei ist eine meist lange geplante, aber nicht immer realisierbare Übung mit den Kollegen von der DGzRS Warnemünde. Die Besatzung und insbesondere der diensttuende Vormann spielen immer wieder gerne mit, wenn nach einem simulierten Tauchunfall beim Ostseetauchen die so genannte "Rettungskette" eingeleitet werden muss. Hier heisst es für die angehenden Forschungstaucher einen Notruf abzusetzen. Bei manchen von ihnen war dann die Überraschung groß, wenn sich nach dem Handyanruf tatsächlich ein "echter" Retter meldete und nach detaillierten Informationen zum "Unfall" fragt. Wenn die Verblüffung aber dann so weit geht, dass man als Unfallort die "Ostsee" angibt oder den Militärhafen in Marienehe ist das natürlich nicht im Sinn der Ausbildung. Die Verblüffung war allerdings im Jahr 2005 auf Seiten der Ausbilder, als plötzlich ein Rettungshubschrauber neben dem im Hafen liegenden Ausbildungsschiff landete – einer der Hilfeleistenden hatte versehentlich die 112 angerufen und nicht die Übungstelefonnummer. Das Problem konnte danach glücklicherweise und ohne zusätzliche Kosten geklärt werden.



Abb. 12: Zur Tradition geworden ist die Übung mit der DGzRS während der Forschungstaucherausbildung auf der Ostsee: Notruf absetzen, Taucher auf's Beiboot bergen und Notfallauswertung mit dem Vormann des Kreuzers.

Der Anspruch des Rostocker Forschungstaucherausbildungsbetriebes bestand von Anfang an darin, den Kursteilnehmern ein möglichst breites Spektrum an Tauchbedingungen während ihrer Ausbildung anzubieten. Hat man im Binnensee vor allem mit schlechten Sichtverhältnissen zu kämpfen kommen auf der Ostsee Strömungen, Wind, Wellen und ein schwankendes Schiff (Seekrankheit) dazu. Das Aufsuchen der größeren, in der Ausbildung jetzt geforderten Tauchtiefen von mehr als 25 m wird inzwischen bereits während der Binnenseeausbildung am Schweriner See angestrebt. Dessen ungeachtet wurden und werden solche Tauchgänge aber auch auf der Ostsee gemacht. Möglich wurde das dadurch, weil ab 1996 der Universitätsforschungskutter GADUS regelmäßig zur Forschungstaucherausbildung von Gager nach Rostock wechselte und hier immer längere Zeit verweilte. In den letzten Jahren vor seiner Außerdienststellung (2013) verblieb das Schiff die gesamte Saison in Rostock und stand dann neben der Ausbildung von Forschungstauchern auch für universitäre Aufgaben in Lehre und Forschung zur Verfügung. Er spielte z. B. eine sehr wichtige Rolle bei der Vorbereitung und Durchführung wissenschaftlicher Aufgaben in Zusammenhang mit den künstlichen Ostseeriffen vor Nienhagen und Rosenort.

8 Die Forschungstaucherausbildung zeigt Wirkung

Bei der Bearbeitung dieser beiden Großriffe in der Ostsee waren Forschungstauchereinsätze nicht nur unabdingbar. Es kann behauptet werden, dass ohne Forschungstaucher diese beiden, der Meeres- bzw. Fischereiforschung dienenden Riffe sehr wahrscheinlich gar nicht existieren würden. Mitte der 90er waren durch Mitarbeiter des Rostocker Vereins Fisch und Umwelt e. V. 20 Betonröhren im Fischereischutzgebiet vor dem Ostseebad Nienhagen in ca. 12 m Tiefe aufgestapelt worden. Langfristig sollten Besiedelungseffekte auf den Röhren untersucht und mittels Probefischerei ein eventueller Anlockeffekt auf Fische insbesondere Dorsch dokumentiert werden. Einige Monate später stellten die angehenden Forschungstaucher während ihrer Ausbildung 1996 fest, dass der gesamte Betonstapel infolge von Strömungs- und Welleneinfluß umgekippt war. In stundenlangen Taucheinsätzen wurden die Betonteile neu aufgestapelt und dieses Mal mit Seilen und häringsartigen Nägeln auf dem Meeresboden fixiert. Der Röhrenstapel (Höhe ca. 2 m) blieb dann tatsächlich mehrere Jahre stehen und wurde ab 1997 Gegenstand einer visuellen Langzeit-UW-Beobachtung durch die Universität Rostock. Es gelang, in der Nähe des Betonstapels einen 15 m langen Telemetriemast als Seestation kardanisch gelagert aufzustellen. Dieser Mast trug an seiner Spitze Energieumwandlungsanlagen (Solarzellen, Windgenerator) und eine Funkanlage. Mit Hilfe einer UW-Videokamera konnten über längere Zeiträume Beobachtungen an den Betonelementen vorgenommen und die Videobilder in VHS-Qualität per Telemetrie und in Echtzeit nach Warnemünde übertragen und dort aufgezeichnet werden. Später gelang es sogar, die Videos als Livestream ins Internet zu stellen. Die Installation von Kabel und Videokamera erfolgte wieder durch Forschungstaucher der Universität Rostock und des IOW. Letztlich waren es die Aufzeichnungen von überraschend großen Dorschschwärmen, die sich in der Nähe der Betonelemente völlig ungestört bewegten, die den Wunsch nach weitergehenden Untersuchungen weckten. Im Jahr 2003 startete ein bis dahin beispielloses Projekt: es sollte ein künstliches Ostseeriff im Fischereischutzgebiet Nienhagen jetzt auf einer Fläche von 200 × 200m errichtet werden (Abb. 13). Das Riff bestand aus mehreren hundert speziell hergestellten Betonelementen (natursteinähnliche Materialoberfläche, diverse Formen) aber auch großen Natursteinen (Teile

der ehemaligen Mittelmole Warnemünde). Ziel war zu untersuchen, ob und wenn ja in welcher Qualität durch diesen – zugegeben – manipulierten Lebensraum die fischereiliche Wertigkeit des genutzten Gebietes verändert werden kann. Sehr viele der nach 2003 ausgebildeten neuen Forschungstaucher kamen im Rahmen der jahrelangen Riffbetauchungen zum Einsatz und trugen zu den wertvollen Ergebnissen der Langzeituntersuchungen bei. Manche fanden sogar im Projekt eine Anstellung. Einige dieser Aufgaben laufen auch heute (2019) noch unter der Koordination des Instituts für Fischerei in der Landesanstalt für Landwirtschaft und Fischerei.

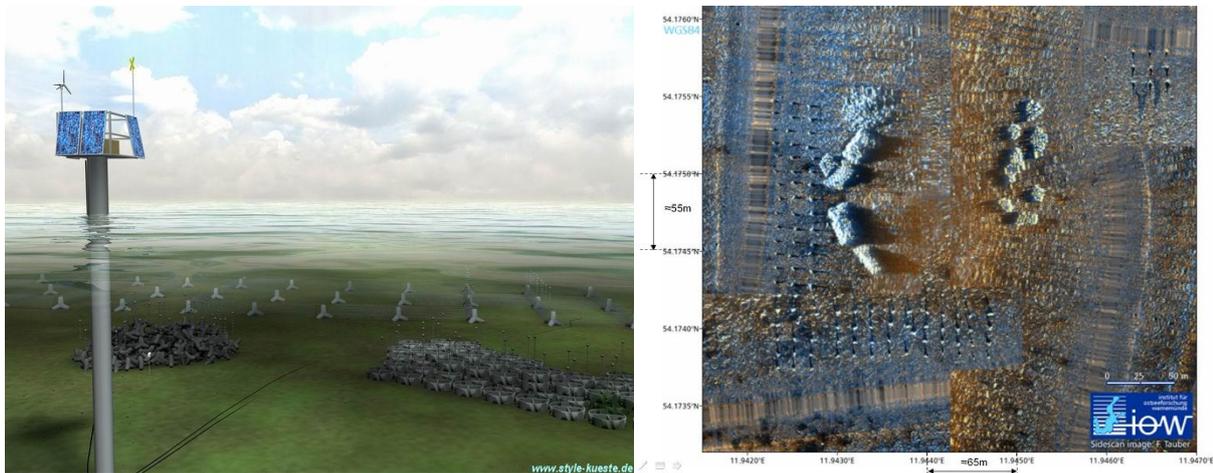


Abb. 13: Virtuelles (links) und SideScan-Bild (rechts) vom künstlichen Ostseeriff Nienhagen ca. 8 km westlich von Warnemünde, 1,5 km vor der Küste in 12 m Tiefe.

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungstauchersymposiums 2019 in Rostock wurde interessierten Forschungstauchern aus Deutschland die Möglichkeit eines Tauchganges am Riff Nienhagen angeboten. Der langjährige Projektkoordinator, Dipl.-Ing Thomas Mohr, stellte in seinem Vortrag dieses Projekt detaillierter vor und Uwe Friedrich vermittelte den Symposiumsteilnehmern mit seinen hochwertigen UW-Fotos einen nachhaltigen Eindruck von der Unterwasserwelt im Ostseeriff. Bereits hier sollte aber erwähnt werden, dass durch die Förderung der Riffprojekte Fördermittel durch die EU und das Land MV in Höhe von ca. 12 Mio. € nach Rostock geflossen sind.

Aber auch bei anderen Vorhaben kamen zunehmend Forschungstaucher zum Einsatz. Das IOW betreibt seit vielen Jahren im Auftrag des BSH eine kontinuierliche Umweltüberwachung und Datenerhebung in der Ostsee mit Hilfe von 3 stationären Messstationen (siehe auch: <https://www.io-warnemuende.de/marnet.html>). Die Messstationen werden regelmäßig gewartet, überprüft und ggf. gesäubert. Hierfür werden immer wieder Taucher eingesetzt. Mindestens zweimal ist durch rechtzeitiges Eingreifen der Forschungstaucher der Totalverlust des Messmastes an der Darßer Schwelle verhindert worden. Dieser Messmast ist auf dem Meeresboden mit Hilfe eines Kreuzgelenkes so gelagert, dass er anlaufenden Wellen durch dynamische Neigungen ausweichen kann. Mit Hilfe des Kreuzgelenkes ist es außerdem möglich, den innen hohlen Mast nach seiner Flutung auf dem Meeresboden abzulegen, bspw. wenn an der Wasseroberfläche durch Eisgang Schäden zu erwarten sind. Das Wiederaufrichten des Mastes musste bisher einmal erfolgen. Auch dafür kamen Forschungstaucher des IOW und der UniR zum Einsatz.

9 Nächste Schritte

9.1 Die Universität Rostock übernimmt 2006 die Forschungstaucherausbildung

Mit der Auflösung der WBG, die am 30.06.2005 vollzogen wurde, musste ein neuer Forschungstaucherbetrieb als Träger dieser Bildungsmaßnahme gefunden werden. Natürlich kam die Universität Rostock zuallererst in Frage. Die letzte Geschäftsführerin der WBG, Frau Ute Schmidt, nahm Kontakt zur damaligen Universitätsleitung auf und führte gemeinsam mit Dr. Niedzwiedz mehrere Gespräche u. a. mit dem damaligen Verwaltungschef der Universität, Kanzler Joachim Wittern. Dieser machte deutlich, dass er die Übernahme der Forschungstaucherausbildung durch die Universität befürworten und unterstützen würde. Allerdings wurde erwartet, dass eine der Fakultäten verantwortlich agieren wird. In einer Phase knapper werdender Personalstellen aber umfangreicher werdender Aufgaben in Lehre und Forschung war es nicht ganz so einfach, hier eine gute Lösung zu finden. Letztlich aber gelang es doch: Dr. Niedzwiedz sollte zum 01.01.2007 von der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik in das Institut für Biowissenschaften wechseln und dort der Abteilung Meeresbiologie zugeordnet werden. Hier bestand auch der größte Ausbildungsbedarf in der Universität. Nach Beschluss und Umsetzung dieser Maßnahme konnte die Universität Rostock jetzt selbst Ausbildungsbetrieb für Forschungstaucher werden. Die Jahre zuvor noch vorhandenen finanz-technischen Probleme waren inzwischen behoben. Während der 11 bislang gelaufenen Ausbildungskurse war zudem eine zwar bescheidene aber ausreichende materiell-technische Basis an Tauchgerätschaften angeschafft worden. Und das bislang agierende Ausbilderpersonal stellte sich auch weiterhin zur Verfügung. Somit hatte die Prüfungskommission für Forschungstaucher, angesiedelt bei der BG Bau kein Problem, die Universität Rostock am 09.01.2006 als Ausbildungsbetrieb für Forschungstaucher entsprechend der seit 01.01.2006 gültigen GUV-R 2112 anzuerkennen. Es gelang ein nahtloser Übergang – ein Prozess, der auch von Außen durch die inzwischen gegründete "Kommission Forschungstauchen Deutschland e. V. – KFT" (Sprecher: Prof. Philipp Fischer) und die BG Bau (damaliger Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Frank Werner) nachhaltig unterstützt wurde.

9.2 Die Forschungstaucherausbildung wird exportiert

In Vorbereitung der universitätsinternen Maßnahmen zur Fortführung der Forschungstaucherausbildung kam es zu diversen Gesprächen zwischen Dr. Niedzwiedz und seinen künftigen Kollegen im Institut für Biowissenschaften. An einem davon nahm auch Dr. Dirk Schories teil. Dieser plante einen längerfristigen Aufenthalt als Gastprofessor an der Universidad Austral de Chile in Valdivia (UACH) und wollte wissen, wie denn der gesetzliche Unfallversicherungsschutz für ihn als Forschungstaucher geregelt wäre, wenn er dort auch unter Wasser wissenschaftlich arbeiten würde. Eine der Grundvoraussetzungen ist die Arbeit in einer Forschungstauchergruppe, deren Mitglieder alle entsprechend der Mindestanforderungen an den ESD (= European Scientific Diver) ausgebildet sein müssen – das war die Antwort, die aber damals noch nicht praktikabel umsetzbar war.

Auf Anregung von Schories und Niedzwiedz wurden erste Ideen zum Thema "Forschungstauchen im (Nicht-EU)-Ausland" während der Jahrestagung der KFT

Ende 2006 in Berlin diskutiert und u. a. der Beschluss gefasst, eine Expertenkommission nach Chile zu entsenden, um dort nach Möglichkeiten einer gemeinsamen Forschungstaucherausbildung zu suchen. Dankenswerterweise übernahm das BMBF die Reisekosten, so dass bereits im März 2007 die deutsche Delegation (bestehend aus je einem Vertreter der KFT, der BG Bau und der Universität Rostock) mit Behörden und Einrichtungen in Chile (u. a. chilenisches Wissenschaftsministerium, deutsche Botschaft in Chile, chilenische EU-Koordinationsstelle, der chilenischen Marine und Vertretern der UACH konstruktive und letztlich sehr erfolgreiche Gespräche führen konnte.



Abb. 14: Vorstellung der Idee zum Aufbau einer Forschungstaucherguppe in Chile durch Dirk Schories auf der KFT-Jahrestagung 2006 in Berlin (links) und Gruppenfoto der Diskussionsteilnehmer der Ausbildungs idee bei der chilenischen Marine (SHOA=Servicio Hidrografico y Oceanografico de la Armada) im März 2007 u. a. mit Prof. Philipp Fischer (KFT), Dr. Elena Clasing (UACH), Dr. Dirk Schories (UACH), Dr. Gerd Niedzwiedz (Uni Rostock) und Prof. Frank Werner (BG Bau) (1. Reihe von links nach rechts)



Abb. 15: Die chilenischen Forschungstaucherlehrgänge 2009 (links) und 2010 (rechts).

Es wurde vereinbart, 1 – 2 Forschungstauchlehrgänge entsprechend des ESD-Minimalausbildungsstandards in Valdivia mit deutscher Unterstützung durchzuführen. Auch die Prüfung sollte dort unter Federführung der BG Bau stattfinden. Geplant war, die Ausbildung später möglichst unter alleiniger Verantwortung der UACH fortzuführen,

allerdings unter Beibehaltung der dann hinreichend bekannten ESD-Ausbildungsstandards. Damit würden die Grundlagen nicht nur dafür geschaffen, dass ein deutscher Wissenschaftler in Chile als Forschungstaucher in gesetzlich unfallversicherter Form unter Wasser arbeiten kann, sondern viel weiter reichend wäre eine umfassendere Kooperation in anderen gemeinsamen Projekten möglich. Diese sicher nicht ganz einfachen Vorarbeiten sollten sich aber schnell bezahlt machen.

9.3 Internationale Kooperation – nicht nur bei der Forschungstaucherausbildung

Aufgrund der frühzeitigen Einbeziehung der Universität Rostock in die Idee des Ausbildungsexports konnte ihr Vertreter insbesondere bei der Freiwasserausbildung der chilenischen Studenten unterstützend agieren. Finanziert wurden die mehrmaligen Aufenthalte des Rostocker Forschungstaucherausbilders aus einem BMBF-geförderten Projekt, welches die Entwicklung einer GPS-gestützten Navigationshilfe für wissenschaftliche Taucherarbeiten zum Ziel hatte (BMBF-Projekt CHL 07 / 007: Georeferenzierung als zusätzliche Komponente für Unterwasserarbeiten im marinen Bereich). Hierbei gelang es, für ein handelsübliches GPS-Handgerät ein UW-Gehäuse bei der Firma SEALUX bauen zu lassen, welches unter Wasser die volle Funktionalität des GPS-Handgeräts sicherstellte.

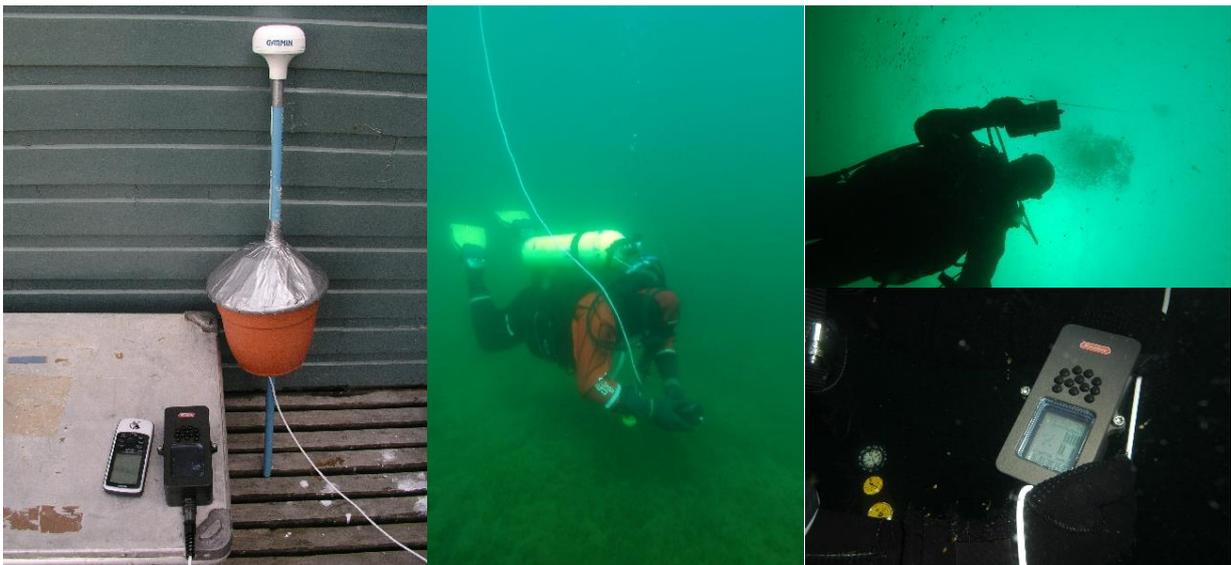


Abb. 16: Erste Einsätze des UW-GPS (Garmin GPS 76) in Chile mit selbstgebauter GPS-Boje und SEALUX-UW-Gehäuse.

Das Gehäuse war mit einer schwimmenden Antenne an der Wasseroberfläche über ein Spezialkabel verbunden, welches bis zu 50 m lang sein konnte. Die geografische Abweichung zwischen der Position der GPS-Antenne und der Position des Tauchers ist berechenbar, wenn quer zur Schwimmrichtung wirkender Wind und Wasserströmungen vernachlässigt werden können; sie hängt vor allem vom Verhältnis der Kabellänge zur Tauchtiefe ab. Die entsprechenden Algorithmen wurden in Rostock programmiert. Damit waren Voraussetzungen geschaffen, künftig alle während eines Tauchganges gespeicherten Daten zu georeferenzieren, d. h. ihnen eine (korrigierte) Geoposition zuweisen zu können. Diese Daten können marine Messdaten vom

Wasserkörper an der Position des Tauchers sein, wie bspw. Salzgehalt, Temperatur, statischer Druck (Tiefe), Sauerstoffgehalt, Chlorophyll etc. aber auch UW-Fotos und Videos. Während der Forschungstaucherausbildungen ab 2009 wurden in Chile und auch in Rostock mit Prototypen des "UW-GPS" gearbeitet und erste Erfahrungen gesammelt (Abb. 16).

Diese waren Erfolg versprechend. Kollegen aus der UACH argumentierten daraufhin bei der Beantragung eines Forschungsprojektes in der Antarktis, welches sich mit der Biodiversität der dortigen Tierwelt beschäftigen sollte, mit dieser Technik als neuartige Methode und sie bekamen tatsächlich den Zuschlag von ihrem Wissenschaftsministerium. Wieder ging die Frage von Valdivia nach Rostock, ob die gute Zusammenarbeit auch in der Antarktis fortgesetzt werden könne?

So kam es, dass deutsche Wissenschaftler und mehrere Studenten bzw. Mitarbeiter aus Chile (einige davon waren frisch ausgebildete Forschungstaucher) ab 2010 auf King-George-Island für die Biodiversitätsforschung zum Einsatz kamen (Projekt: "Biodiversidad y Monitoreo Subacuático en el Océano Austral", 2010 – 2012, Projektleiter: Dirk Schories). 2011 durfte auch der Autor seinen Teil zu dieser spannenden Arbeit beitragen. Der Export der Forschungstaucherausbildung von Deutschland nach Chile hatte weitere Früchte getragen.

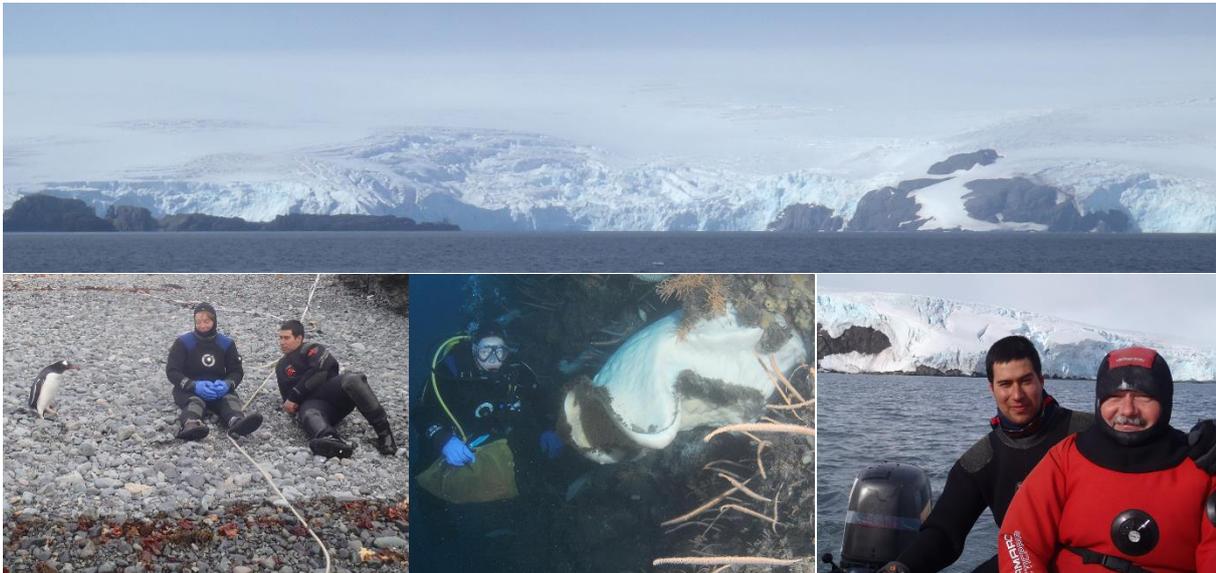


Abb. 17: Forschungstauchen in der Antarktis.

Einige Jahre später ergab sich nochmals eine Gelegenheit zur fachlichen Zusammenarbeit mit der UACH im BMBF-finanzierten Projekt "AquaCare" (2014 – 2016, Förderkennzeichen 01DN14012). Hier ging es darum, benthische Filtrierer (Muscheln) bezüglich ihrer Aktivitätsmuster zu untersuchen und ggf. relevante Einflussparameter zu benennen. Als wichtigste Methode bei diesen Untersuchungen kristallisierten sich sehr schnell Zeitrafferaufnahmen heraus, die mit geeigneter UW-Fototechnik hergestellt wurden. Die verwendeten Kameras wurden durch Taucher ausgebracht und auch wieder geborgen – eine ähnliche Arbeitsweise, wie sie bereits bei der Beobachtung von Seeigeln in der Antarktis Jahre zuvor angewendet worden war. Neu war, dass auch nachts ablaufende Vorgänge erfasst werden sollten. Damit machten sich tatsächlich einmal Nachtauchgänge erforderlich, was beim Forschungstauchen ja eher die Ausnahme darstellt. Als entscheidend für die Qualität der

Ergebnisse erwies sich die Art der Ausleuchtung der Nachtaufnahmen. Hierbei zeigte sich, dass ein Blitzlicht weitaus weniger Einfluss auf nächtliche Aktivitäten im beobachteten Habitat ausübt als ein Dauerlicht. Die Beobachtungsmöglichkeiten am chilenischen Panguipullisee erwiesen sich insgesamt als deutlich besser im Vergleich zu deutschen Gewässern (Kohlberg et al. 2019), wobei aber auch hier die geplante Messkampagnen realisiert werden konnten.



Abb. 18: Ausbringen der Beobachtungs- und Messtechnik zur Dokumentation des Filtrierverhaltens von *Diplodon chilensis* am Panguipullisee /Chile (Bild links und mitte) und Zeitrafferaufnahmen von Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) am Ostseeriff Nienhagen (Bild rechts).

9.4 Bilanz

"AquaCare" war aber nur eines von vielen anderen nationalen und internationalen Projekten mit Beteiligung von in Rostock ausgebildeten Forschungstauchern. Zwischen 1995–2019 beendeten insgesamt 267 Wissenschaftler und Studenten hier ihre Forschungstaucherausbildung. Fast die Hälfte davon kamen aus der Universität Rostock und dem IOW; ca. 25 % wurde von Institutionen aus MV zur Forschungstaucherausbildung delegiert. Ein großer Teil der letzteren Gruppe kam bspw. in uw-archäologischen Projekten zum Einsatz.

Aber nicht nur erfolgreiche Prüfungen sollten das Ziel der angehenden Forschungstaucher sein, sondern auch fachliche, taucherische und soziale Kompetenz und damit verbundene Einsetzbarkeit nicht nur in eigenen Projekten. So kommen immer wieder Anfragen aus anderen wissenschaftlichen Einrichtungen (bspw. GEOMAR, AWI, ZMT oder auch UWA-Logistic) nach Forschungstauchern. Häufig werden diese für Projektarbeiten im Ausland benötigt. Manchmal gibt es nach ihrer Rückkehr aus Neuseeland, Australien, Curacao, Chile oder auch aus den polaren Gebieten (Spitzbergen, Antarktis) einen kleinen Bericht für den Ausbildungsbetrieb. Insgesamt haben sich "unsere Taucher" bei diesen Einsätzen bisher immer sehr ordentlich geschlagen. Solche Einsätze bestärken aber die Auffassung im Ausbildungsbetrieb, die angehenden Taucher auf alle möglichen Einsatzbedingungen gut vorzubereiten, so dass auch in Zukunft am bewährten Ausbildungskonzept festgehalten werden wird.

10 Résumé und Blick nach vorn

Wir haben erfahren, dass es in Rostock eine sehr lange Tradition bei der Ausbildung von Wissenschaftstauchern gibt aber auch bei der Entwicklung wissenschaftlicher Methoden bei der Unterwasserarbeit. Noch völlig unerwähnt ist geblieben,

dass das Tauchen mit technischem Gerät eigentlich sogar in Mecklenburg-Vorpommern erfunden worden ist – und das bereits ca. 1800 (Jung 1999). Zumindest fanden damals bereits erste erfolgreiche Tauchversuche mit einem von Peter Kreeft aus Barth gebautem speziellem Tauchgerät in der Ostsee statt. Erst Jahre später gab es in England ähnliche technische Entwicklungen. Wir wollten aber den Blick jetzt nach vorn richten.

Es gibt nicht wenige Stimmen, die behaupten, dass das Forschungstauchen an Bedeutung verliere, weil es immer mehr Tauchroboter gibt, die den Menschen unter Wasser ersetzen können. Und diese Geräte brauchen keine Luft unter Wasser und erleiden auch keine Dekompressionskrankheit. Solche Argumente sind prinzipiell sicher richtig – sie treffen aber eher für bemannte Tieftauchgänge zu. Forschungstauchen ist typischerweise Tauchen im Flachwasser, manchmal sogar so flach, dass manche Schiffe sich im Tauchgebiet gar nicht mehr aufhalten können bzw. von Land aus getaucht werden muss. Für kurze Tauchgänge bis in 30 m Tiefe (ohne Überschreitung der Nullzeit) ist der Einsatz eines autonomen Schwimmtauchers aus ökonomischer Sicht konkurrenzlos! Deswegen kann behauptet werden, dass auch künftig der Bedarf an tauchenden Wissenschaftlern vorhanden sein wird.

Es ist nun leider ein normaler Vorgang, dass sehr viele Studenten und Nachwuchswissenschaftler die Universität nach ihrer Ausbildung bzw. Qualifikation wieder verlassen (müssen). Daraus ergibt sich ein weiterer Grund, weshalb der universitäre Bedarf an Forschungstauchern bestehen bleiben wird, vorausgesetzt das maritime Forschungsprofil wird an der Universität Rostock auch in Zukunft weiter verfolgt. Die Alternative wäre der sicher noch viel billigere Einsatz von Sporttauchern für wissenschaftliche Zwecke. Das ist in Deutschland illegal – wird aber leider an einigen deutschen Universitäten praktiziert.

Forschungstauchergruppen umfassen mindestens 3 Personen. Für diese Arbeiten sind entsprechend geeignete und gewartete Tauchtechnik, Logistik und Hilfseinrichtungen erforderlich. Der hier entstehende Aufwand ist eine permanente Herausforderung und kostet Geld und natürlich auch Personal.

Der Gesetzgeber hat für alle beruflichen Tätigkeiten spezifische Arbeitsschutzregeln und -vorschriften erlassen, die einzuhalten sind. Der Arbeitgeber bzw. die in seinem Auftrag handelnden Personen (Abteilungs-, Labor- oder auch Tauchereinsatzleiter) stehen in der Verantwortung. Sie sind verpflichtet, über bestehende Sicherheitsvorschriften die Mitarbeiter zu informieren und deren Einhaltung zu kontrollieren. Für die Forschungstaucherausbildung an der Universität Rostock aber auch für die materiell-technische Absicherung der erforderlichen Einsätze gibt es eine verantwortliche Person, die einen erheblichen Teil der Arbeitszeit diesen Aufgaben widmen muss. Es gilt zudem, den fachlichen Inhalt der Ausbildung ständig zu aktualisieren. Dazu ist u. a. auch die aktive Mitarbeit im Berufsverband der deutschen Forschungstaucher, der "Kommission Forschungstauchen Deutschland e. V." erforderlich. So ist bspw. noch für 2019 die Veröffentlichung einer überarbeiteten berufsgenossenschaftlichen Regel für das Forschungstauchen in Deutschland angekündigt. Die aktuelle Forschungstaucherregel ist (derzeit noch) unter der Bezeichnung "DGUV Regel 101-023 – Einsatz von Forschungstauchern" veröffentlicht und u. a. im Internet nachlesbar.

Die Prüfungskommission für Forschungstaucher steht unter der Leitung der BG-Bau, deren Vertreter in der Prüfung die Gesetzeskunde abfragt. Mindestens 2 weitere Kollegen prüfen das vorhandene Wissen in der Tauchmedizin, Tauchphysik und -technik. In der 2-tägigen Prüfung müssen die angehenden Forschungstaucher natürlich auch praktische und konditionelle Fähigkeiten in der Schwimmhalle mit und

ohne Tauchgerät nachweisen. Für die Prüfung in den 7 deutschen Ausbildungsbetrieben entsteht für die 3-köpfige Prüfungskommission (PK) ein erheblicher zeitlicher Aufwand, der natürlich nicht immer nur von denselben Personen getragen werden kann. Seit einigen Jahren sind deshalb die Vertreter der Ausbildungsbetriebe aufgefordert, in der PK mitzuarbeiten und an den Prüfungen bei ihren Kollegen anderenorts teilzunehmen. Auch ein Ausbilder aus Rostock hat vor mehr als 10 Jahren diese Aufgabe übernommen. Vorteilhaft ist dabei sicherlich, dass man in anderen Ausbildungsbetrieben die dort vermittelten Ausbildungsinhalte und -methoden kennen lernen kann; nachteilig ist der damit verbundene Zeit- und Reiseaufwand vor allem dann, wenn die Prüfung nicht in Deutschland stattfindet. Als Prüfer für Forschungstaucher sollte man sich die Kursteilnehmer natürlich auch im Wasser ansehen was bedeutet, u. U. eigene Tauchausrüstung zum Prüfungsort mitnehmen zu müssen. Nichts wäre dann aber peinlicher, wenn der tauchende Prüfer unter Wasser eigene taucherische oder konditionelle Defizite erkennen lässt. Also heisst es auch für ihn, nicht nur die jährliche medizinische Tauchtauglichkeit (G31) einzuholen sondern regelmäßig konditionell zu trainieren und den Umgang mit spezieller Tauchtechnik zu üben. Das IOW hat es bspw. in diesem Jahr erstmalig geschafft, seinen Forschungstaucher*Innen spezielle Schwimmhallenzeiten für das Training anzubieten.

Über die Forschungstaucherausbildung hinausgehend sind die Ausbilder als wissenschaftliche Mitarbeiter aufgefordert, Projekte methodisch dort zu unterstützen, wo Taucher zum Einsatz kommen müssen. Es sind u. U. Technologien zu erarbeiten bzw. zu erproben, wie Erprobungsgeräte tauchergestützt ins Wasser kommen und wieder geborgen werden können. Zum Kartieren des Erprobungsgebietes im Projekt BalticTransCoast mussten bspw. mehrfach 1 km lange Transekte auf einem definierten Strich abgetaucht und der Boden mit Videokamera dokumentiert werden. Hier wurde erstmalig ein Scooter eingesetzt, für dessen Navigation das bereits erwähnte UW-GPS-System ebenfalls sehr vorteilhaft verwendet werden kann. Die am Scooter angebrachten Halterungen konnten neben einer Action-Videokamera noch eine CTD-Sonde aufnehmen, so dass für die betauchten Transekte in georeferenzierter Form aufbereitete Videodaten ergänzt durch Salzgehalt, Temperatur und Tauchtiefe vorlagen. Die entsprechend notwendige Software zur zeitlichen Synchronisation der Daten und zum Schreiben eines Video-Untertitels wurde am Forschungstaucherausbildungszentrum der Universität Rostock in Eigenregie erstellt. Vorteilhaft sind hier vorhandene Programmierkenntnisse beim Taucher, der dann auch die Technik unter Wasser bedient.

Solche Programmierkenntnisse verschafften zudem die Möglichkeit, ein mathematisches Modell für die Nutzung am PC aufzubereiten, welches die Auf- und Ent sättigung der menschlichen Gewebe mit inerten Gasen beim Tauchen simuliert. Die entsprechenden medizinischen Grundlagen waren von Prof. A.A. Bühlmann bereits 1983 publiziert worden (Bühlmann 1993); sie dienten, wie bereits erwähnt, der Programmierung der ersten Tauchcomputer. Solche Tauchcomputer sind jedoch noch immer "black boxes", deren Algorithmen kaum öffentlich zugänglich sind. Will man die vorliegenden Erkenntnisse für die Taucherausbildung nutzen, ist man gezwungen, eigene Lösungen zu schaffen. So entstand bereits Ende der 90er das DOS-Programm DEKO und im Jahr 2018 die vollständig überarbeitete Version DEKO_GeNie. Die hiermit möglichen Simulationen der Inertgasauf- und entsättigungen menschlicher Gewebe stellten eine sehr wertvolle Hilfe bei der Vermittlung der nicht ganz einfachen Dekompressionsprobleme beim Tauchen dar. Die neueste Programmversion wurde am Beispiel der (noch gültigen) Dekotabellen in der DGUV Regel 101-023 und der Sauerstoffaustauchtabelle in der BGV-C 23 getestet. Bei einigen dieser simulierten

Tauchgänge wurden medizinische Probleme durch das Programm angezeigt, die allerdings nicht (wie anfangs vermutet) auf Programmierfehler in DEKO_GeNie zurückzuführen waren. Nach Rücksprachen mit zuständigen Vertretern der BG werden nun diese Tabellen überarbeitet, denn hier lagen jahrelang nicht bemerkte Fehler bzw. Probleme.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass Forschungstaucherausbildung und praktisches Forschungstauchen, also Lehre und Forschung genau so gegenseitig befruchtend sein können, wie das in anderen Fachgebieten ähnlich der Fall ist. Es ist vorteilhaft, wenn der verantwortliche Ausbilder gleichzeitig als Wissenschaftler arbeiten kann und eine solide mathematisch / physikalische Grundausbildung absolviert hat. Spezielles Fachwissen muss ohnehin ständig neu erarbeitet oder vertieft werden.

Und so verwundert es nicht, wenn plötzlich auch die Vertreter der Forschungstaucherei gebeten werden, grundlegende technische Parameter eines neuen Forschungsschiffes für die Universität Rostock mit zu skizzieren. Wir befinden uns derzeit in einer brisanten Ausschreibungsphase für ein solches Schiff, welches die Universität Rostock möglichst bereits ab 2020 für ihre Zwecke gemeinsam mit Partnern einsetzen möchte. Es ist erfreulich, dass die taucherischen Belange bei der Konzeption des Schiffes frühzeitig mit berücksichtigt werden sollen. Die Hoffnung besteht, das mit dem Schiff die maritimen Ambitionen der Universität Rostock in Lehre und Forschung weiter verstärkt werden können und ihre Attraktivität für Partner in der Industrie, in der Forschung aber auch bei potentiell neuen Studenten nach Außen hin zunimmt. Forschungstaucherausbildung und wissenschaftliche Taucheinsätze würden auf einem solchen Schiff wieder wesentlich einfacher dafür aber mit höherer Sicherheit auf See umsetzbar sein.

Gelingt es zusätzlich, die personellen Lücken zu schließen, die mit dem Ausscheiden einiger Ausbilder entstehen, könnte sehr optimistisch in die Zukunft geblickt werden: Denn mit dem angekündigten Freiwasserlabor (OTC = Ocean Technology Center) unter der Federführung der Fraunhofer-Gesellschaft will Rostock zum weltweiten Vorreiter für die Unterwassertechnologie werden, wie das Redaktionsnetzwerk Deutschland (RND) am 23.03.2018 verkündete. Nördlich des Riffes Nienhagen sollen diverse Versuchsfelder zum Testen neuer Unterwassertechniken eingerichtet werden. Es ist zu erwarten, dass hier gerade für beteiligte Wissenschaftler und Ingenieure umfangreiche Aufgaben auch unter Wasser anfallen werden. Dazu wäre aber die Zusatzqualifikation Ingenieur- bzw. Forschungstaucher unabdingbar.

Danksagung

Der Autor möchte sich bei Günter Dreiucker, Hermann Winkler, Dr. Martin Rauschert, Dr. med. Steffi Kreuzfeld, Dr. med. Eberhard Peter und Prof. Dr. med. Niklas bedanken, die am Zustandekommen dieses Beitrages wesentlichen Anteil hatten. Sie machten private Aufzeichnungen und Bildmaterial verfügbar und gaben z. T. als Zeitzeugen Antworten auf Fragen, die bis dato gängige Auffassungen zur Entwicklung des wissenschaftlichen und Forschungstauchens in Ostdeutschland, Mecklenburg-Vorpommern und Rostock veränderten.

Literatur

- Autorenkollektiv, 1963. Die Seewirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin, Transpress 1: 20–27
- Bühlmann, A. A., 1993. Tauchmedizin – Barotrauma, Gasembolie, Dekompression, Dekompressionskrankheit. Springer Verlag, ISBN 3-540-55581-1
- Strobel, D. & Hahlbeck, W.-H., 1995. Hiev up – So war die Hochseefischerei der DDR. Koehlers Verlagsgesellschaft mbh Hamburg, ISBN 3-7822-0634-7
- Kohlberg, G., Herbst, A., Niedzwiedz, G., Wölfl, S., Nimptsch, J. & Schories, D., 2019. Time lapse photography with two different camera systems for in situ observation of the bivalve *Diplodon chilensis* (Gray, 1828) in a southern Chilean lake. *Gayana* 83 (1): 21 – 32
- Brosin, H.-J., 1996. Zur Geschichte der Meeresforschung in der DDR. Meereswissenschaftliche Berichte, Marine Science Reports 17, Institut für Ostseeforschung Warnemünde
- Elflein, A., 1969. Tauchende Fischer, Poseidon 4.
- Hermann, J., 2003. Deko-Brain – Die Geschichte des Tauchcomputers (Interview), veröffentlicht auf: <http://plongeesanssel.com/files/DecoBrain.pdf>
- Harff, J., (Hrsg.), 1997. Zusammenstellung und wissenschaftliche Interpretation von Daten über den Meeresboden der westlichen Ostsee aus den Jahren 1953 – 1985, Schlussbericht des BMBF-Projektes 03F0079A, Institut für Ostseeforschung Warnemünde
- Jung, M., 1999. Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Nagelschmid, ISBN 3-925342-35-4
- Kröger, G., 2019. http://www.rostocker-hochseefischerei.de/geschichte/berichte/081222_kroeger_guenther.php, siehe auch UnsFischVerlag 2009 – 2019.
- Meyer, F.-K., Entzian, G. & Seiler, K.-D., 2017/18. Wie das Sporttauchen und die Unterwasserfotografie in Warnemünde begannen. *Tiedingsbringer* 22: S. 101
- Niklas, A. & Peter, E., 1993. Verfahren und Vorrichtung zur tätigkeitsspezifischen Leistungsdiagnostik für Schwimmtaucher. In: Bartmann, H.: Taucherhandbuch. Landsberg/Lech VIII – 1.6: 99 – 106
- Paech, H.-J., 1990 (erschienen 1992). Die DDR-Antarktischforschung Retrospektive. *Polarforschung* 60 (3): 197 – 218
- Rauschert, M., 2009. Antarktis – auf und unter dem Eis. Verlag epubli GmbH, ISBN-10: 3941071521
- Rauschert, M., 2013. Tauchen im Eismeer. Verlag Norbert Gierschner, ISBN-10: 3937522360
- Rauschert, M., 2019. Tschernomor, ein Unterwasserhaus im Schwarzen Meer. ISBN: 9783748586258
- Rehme, W. & Dürr, R., 1988. Untersuchungen der Grundlagen zur Anwendung von Licht in der Fischerei. Abschlussbericht, VEB Fischfang Rostock (unveröffentlicht)
- Winkler, H., 1960. Über die Erprobung eines Taucherschlittens. *Fischereiforschung* 3: 6 – 10, Herausgeber: Institut für Hochseefischerei und Fischverarbeitung Rostock-Marienehe
- Winkler, H., 2010. Ein Taucherlehrling erinnert sich – Taucherausbildung in 1950er Jahren. *Deutsches Schifffahrtarchiv* 32 (2009), Oceanum Verlag, Deutsches Schifffahrtmuseum Bremerhaven
- Winkler, H., 2018. Auf dem Taucherschlitten durch die Korallenriffe – mit einem DDR-Forschungsschiff ins Rote Meer. *Das Maritime Magazin* 3. Oceanum Verlag e.K., Wiefelstede,

Ulrich van LAAK*

* Medical Direktor für Deutschland & Österreich, DAN Europe Foundation

uvanlaak@daneurope.org

Der Tauchunfall als misslungene Prävention: Ergebnisse aus der DAN Europe Feldforschung

Zusammenfassung

Die DAN Europe Foundation befasst sich seit mehr als 30 Jahren mit der Prävention von Unfällen beim Tauchen. Hierzu wurden unterschiedliche Programme aufgelegt. Der Ansatz ist dabei vergleichbar mit dem präventiven Auftrag einer Berufsgenossenschaft. Die Bedeutung der Prävention ist mit Spezialisierung und Technisierung, hier insbesondere auch beim Sporttauchen, gewachsen und fokussiert auf der maximalen Reduktion der Entstehung von Inertgasbläschen und deren Auswirkungen – „lessbubbles, lesstroubles“ – oder auch traditionell nach Galen: die Dosis macht das Gift.

1 Der tauchmedizinische Notfall

Tauchmedizinische Notfälle sind eher seltene Ereignisse. Insbesondere die schweren Tauchunfälle abseits aller Verkehrsverbindungen, wie zum Beispiel auf See, stellen aber große Herausforderungen dar. Dann dauert es oft länger als 4 Stunden, bis eine Druckkammer erreicht wird, was für einen günstigen Behandlungsausgang eine schlechtere Ausgangslage als die relative Sofortbehandlung ist. Es sind meistens, aber keineswegs immer, die tauchtypischen Dekompressionsunfälle jeden Ausprägungstyps, gefolgt vom Ertrinkungsunfall, durchaus auch aus anderen gesundheitlichen Gründen, dem davon abzugrenzenden Taucherlungenödem, zunehmende Zwischenfälle beim Freitauchen (ohne Gerät) und bisweilen auch einmal ein Tauchunfall auf Reiseflughöhe, wenn das Mindestintervall von 24 Stunden nach dem letzten Tauchgang nicht eingehalten worden ist. Barotraumata im HNO-Bereich sind viel dagegen häufiger, in aller Regel aber nur leichtere Notfälle.

Tauchen allgemein hat eine enorme professionalisierende Entwicklung genommen, mit Technologien, die früher nur Spezialisten aus dem beruflichen Tieftauchen zur Verfügung standen, mit innovativen Ansätzen, ständigem Streben nach mehr, aber durchaus auch mit gewachsenem tauchphysiologischem Verständnis mit dem erklärten Ziel der Tauchunfallvermeidung.

Weniger verbreitet sind Sensibilität und Selbstverständlichkeit im direkten Umgang mit tauchbedingten gesundheitlichen Problemen, denn sämtliche gesundheitlichen Auffälligkeiten nach dem Tauchen müssen zunächst ernst genommen und

lieber einmal zu früh, als einmal zu wenig durch einen Taucherarzt im Nahbereich oder über eine Tauchunfall-Hotline fachlich abgegrenzt werden. Ziel muss es dabei immer sein, manifeste von fraglichen oder nur minimalen Symptomen eines Dekompressionsunfalls differentialdiagnostisch möglichst sicher abzugrenzen. Dies setzt signifikantes Expertenwissen und viel Erfahrung mit Tauchunfällen aller Art voraus. Von großer Hilfe ist dabei der Kurz-Neurocheck, der unter Anleitung in kürzester Zeit von Mittauchern vor Ort durchgeführt werden kann.

Die wichtigste Maßnahme, die ausnahmslos immer sofort nach möglicherweise zuvor erforderlicher Stabilisierung folgen muss, ist die maximal dosierte Sauerstoffatmung mit dem Ziel $FiO_2 = 1$ (100 % O_2 erreichen die Lungenalveolen). Sauerstoff steht an Tauchorten fast immer zur Verfügung. Er muss dort zur Abmilderung eines aufkommenden Tauchunfalls ohne jeden Verzug eingeleitet werden. Das erfolgt aber leider nur in etwa der Hälfte der Fälle. Hier, ganz zu Anfang eines tauchmedizinischen Notfalls, besteht nach wie vor eine eigentlich leicht abzustellende signifikante Sicherheitslücke.

Zu den größten Herausforderungen zählen die schweren Dekompressionsunfälle. Mit einer Inzidenz von ca. 1/15 000 Tauchgängen ist das ein seltenes Ereignis, das sich im Eintrittsfall vor allem durch progrediente neurologische Ausfälle bedrohlich entwickeln kann und dann in möglichst kurzer Zeit die spezifische tauchmedizinische Therapie (Ziel maximal 4 h) mit hyperbarem Sauerstoff in einer Druckkammer erforderlich macht.

Viele Taucher geraten indes schon bei banalen Auffälligkeiten massiv in Panik, neigen andererseits aber leider zur Verniedlichung robuster Symptome eines Tauchunfalls. Hierdurch kommt es sowohl zu Überbehandlungen, viel schlimmer aber zunehmend zu hausgemachten erheblichen Verzögerungen bis zur definitiven Notfallbehandlung manifester Tauchunfälle in einem Druckkammerzentrum. Diese folgt international vergleichbaren Leitlinienvorgaben.

Für die Beurteilung eines Tauchunfalls sind Entwicklung, Manifestation, Eintrittszeit, Belastung mit Inertgas und Wahrscheinlichkeit für eine Überdehnung der Lungen von höchster Bedeutung. Deswegen müssen im Notfall auch Daten und Profile der letzten Tauchgänge sowie weitere abzufragende Information bereitgehalten werden.

Einige wenige zielgerichtete Hinweisen tragen bei Beachtung dazu bei, die tauchmedizinische Sicherheit deutlich zu erhöhen:

- Konsequente Hydrierung mit etwa einem Liter Wasser vor dem Tauchgang.
- Optimaler Kälteschutz zur Vermeidung schon geringster Unterkühlung.
- Keine körperliche Belastung bis zu 90 Minuten nach dem Tauchgang.
- 24 bis 36 Stunden Intervall vor Rückflug oder Höhenexposition.
- Sicherheitscheck bezüglich Notfallsauerstoff und Möglichkeiten der definitiven hyperbaren Sauerstofftherapie.
- Tauchunfallversicherung mit 24/7 Zugriff auf eine leistungsfähige Hotline.

2 Tauchsicherheitskampagnen

Mit jährlichen Sicherheitskampagnen wird angestrebt die Taucher-Community über vermeidbare Risiken umfassend aufzuklären. Hierzu gehören Programme zur Vermeidung einer Deko-Unfall förderlichen Exsikkose, Techniken zum Druckausgleich

zur Vermeidung von Barotraumata oder etwa Sicherheitshinweise für ältere Taucher. Eigene Forschungsprojekte haben ebenfalls die Erhöhung der Tauchsicherheit zum Ziel, wie beispielsweise Untersuchungen zur Gasbläschenbildung in Flugzeugen nach dem Rückflug aus typischen Urlaubstauggebieten oder den Erkenntnisgewinn über das Risiko körperlicher Belastung unmittelbar vor oder nach einem Tauchgang.

Solche Kampagnen sind erforderlich, um den aktuellen tauchmedizinisch zu begleitenden Entwicklungen im Sporttauchen Rechnung zu tragen. Im Vordergrund steht dabei eine fortschreitende Technisierung des Tauchens, die zuweilen eine Scheinsicherheit bedingt, aber auch das Freitauchen als aktueller „Hype“ mit seinen assoziierten Hypoxierisiken sowie das Tauchunfallmanagement in abgelegenen Destinationen.

3 Tauchmedizinische Forschung für die Tauchsicherheit

DAN Europe Forschung wurde vom DAN Gründer Professor Alessandro Marroni bereits vor 40 Jahren für den bekannten Apnoeopionier Jacques Mayol auf 86 m durchgeführt, indem der Taucherarzt den Freitaucher zur Pulsfeststellung einfach mal mit Tauchgerät begleitete. Wirklich einfach mal so? Bei 86 m mit Luft sicher ein harter Einsatz für die Wissenschaft.



Abb. 1: Pulsfrequenzbestimmung bei J. Mayol durch den Taucherarzt „persönlich“ auf 86 m.

Aktuell stehen für die Tauchsicherheit Telemonitoring und Telemedizin unter Wasser im Fokus der DAN Forschung. Dabei geht es nicht nur um Herz- und Atemfrequenz, sondern um weitere wichtige ableit- und übertragbare Daten, wie z. B. der Blutzuckerwert. Auf diesem Weg wird auch die Vision verfolgt Online Daten zu erheben, aufzuzeichnen und sogar zu übertragen. Dies hilft enorm dabei Abweichungen der Körperfunktionen durch das Tauchen und Zwischenfälle beim Tauchen besser zu verstehen.

Auch das Gebiet des Technischen Tauchens wird von der DAN Europe Forschung „2020 plus“ profitieren können. Mit den Zielen, das Deko-Risiko und die Gastoleranzen besser abschätzen zu können, laufen entsprechende Forschungsprojekte an. Diesbezügliche Datensammlungen werden wieder als „Citizen Science“ erhoben, so, wie es schon beim EU-geförderten „Green Bubbles“ Projekt bereits der Fall gewesen ist. Die Datenerhebung erfolgt sowohl durch die Taucher, wie auch durch Mithilfe interessierter medizinischer Laien. Die Tauchgänge werden elektronisch gespeichert, Beobachtungen protokolliert, weitere Messdaten erfasst und alle Datensätze zentral wissenschaftlich ausgewertet.

4 Erkenntnisgewinn für die Tauchmedizin durch Feldforschung

„Spende Deinen Tauchgang“ – dieser durch Fürsorgegedanken geprägte Ansatz schlägt sich insbesondere in der DAN Europe Forschung nieder, die parallel zur universitären Forschung und durch diese unterstützt, obwohl sie sich nur selten offensiv für das Sporttauchen interessiert, versucht, Antworten auf die brennenden tauchmedizinischen Fragen unserer Zeit zu finden. Wie es von einer Mitgliederorganisation zu erwarten ist, steht hierbei „das DAN Mitglied“ im Fokus. Man könnte es so formulieren: der Schwarm der Mitglieder spendet seine Daten für die Allgemeinheit.

Zwei plakative Beispiele hierfür sind die Projekte „DAN Safety Laboratory (DSL)“ und „Flying Bubbles“.

5 Lessbubbles, lesstroubles

Für eine medizinische Tauchsicherheitsorganisation kann der Eindruck nicht als akzeptabel hingenommen werden, dass die Mehrzahl der betreuten verunfallten Taucher keine nachweislichen Fehler gemacht, mithin eine sogenannte „unverdiente“ Dekompressionskrankheit (DCI – Decompression Illness) erlitten haben.

DAN Europe unterhält als integrativen Baustein des Projekts „DivingSafety Laboratory“ (DSL) eine Datenbank digital aufgezeichneter Sporttauchgänge, die durch parallele Abfrage wesentlicher Begleitparameter flankiert wird. Die Evolution des Projekts resultiert in der speziellen Software „DiverSafety Guardian“ (DSG) mit eingebetteter Funktion einer Risikoanalyse von Tauchprofilen in Echtzeit „DecoRisk Analysis“ (DRA). Die Besonderheit des Projekts ist die Online Aufzeichnung tatsächlich durchgeführter Sporttauchgänge, die mit der ad-hoc Erhebung tauchphysiologischer und weiterer Daten kombiniert ist:

- Tauchgangs-Daten
- Biometrische Daten
- Bioimpedanz
- Hämoglobin, Hämatokrit
- Urindichte
- Blutzucker
- Thermographie (Kamera)
- Dopplersonographie trocken / nass
- Echokardiographie
- Hinweise auf Dekompressionsunfall

Bei der freiwilligen Teilnahme am Programm erlauben es die Taucher, dass ihre ohnehin geplanten Tauchgänge aufgezeichnet und weitere Daten erhoben werden. Die Taucher tauchen nicht zu Studienzwecken, sondern die Daten der Tauchgänge fließen zum Erkenntnisgewinn in eine Datenbank ein.



Abb. 2: Gefäßdoppler zur Detektion von Gasbläschen bereits am Tauchplatz.

Gegenwärtig wird bei DAN Europe nach Auswertung der bisherigen Daten eine aktualisierte Version des DSG entwickelt, die auf eine zukünftige erweiterte Datensammlung ausgerichtet sein wird.

Im bisherigen Ergebnis konnte gezeigt werden, dass es eine signifikante Beziehung zwischen vielen Bläschen und dem BMI (Body Mass Index), Körperfett, Lebensalter sowie Tauchprofil gibt. In Bezug auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Dekompressionskrankheit konnten weibliches Geschlecht, starke Strömung und körperliche Anstrengung als auffällige Risikofaktoren identifiziert werden. Die überwiegende Mehrzahl der aufgezeichneten Symptome, die auf eine Dekompressionskrankheit schließen lassen, entsprach nicht den Erwartungen, wie sie sich mathematisch aus den etablierten Rechenmodellen ableiten ließen. Es handelte sich somit definitionsgemäß um „unverdiente Ereignisse“. Innerhalb der jeweils als sicher geltenden Korridore wären sie nicht zu erwarten gewesen.

Diese Analyse der DAN Europe DSL Datenbank unterstreicht frühere Beobachtungen, dass Sporttauchgänge, die innerhalb von als absolut sicher geltenden Bereichen durchgeführt wurden, nicht automatisch sicher sind. Es besteht eine Grauzone mit einem erhöhten Risiko, die nicht mit den akzeptierten Dekompressionsberechnungen erklärt werden können, wahrscheinlich aber mit anderen Risikofaktoren, die individuell und wahrscheinlich auch interindividuell unterschiedlich sind.

Solche individuellen Risikofaktoren, die Gegenstand der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion sind, wären zum Beispiel die Reaktion auf oxydativen Stress durch den erhöhten Sauerstoffpartialdruck und hydrophobe arteriosklerotische Mikroareale oder Plaques (Kalkablagerungen) an der Gefäßinnenhaut (Intima). Weil solche Intima-Veränderungen altersbedingt zunehmen, könnte dies eine mögliche Erklärung für ein steigendes DCI-Risiko im Alter sein.



M-Werte erklärt

- Maximal zulässiger Wert für Inter gas-Überdruck (Gewebe)
- Bei 2 Inertgasen (z.B. N₂ / He) „Mittelwertbildung“
- M-Wert **theoretisches Gewebe** immer ↑ als Umgebungsdruck
- Bei Dekompression Ausgasen von M-Wert zu M-Wert
- M-Werte ↑ → DCI ↑↑ / M-Werte ↓ → DCI sehr selten
- Vorsicht! **Mathematik ./. individuelle Faktoren!!**



GF erklärt

- M-Werte dürfen also nicht „ausgereizt“ werden
- GF (Gradient Faktor) = 1 → ist exakter M-Wert
- GF = 0 → **theoretisches Gewebe** auf Umgebungsdruck
- Basis zumeist Bühlmann ZH L-16 Limite
- „Koordination der Limite“ – Dekompression z. B. von GF 0,3 (aus Tiefe) auf 0,8 (auf Sicherheits-Stopp)
- Werkseinstellung Tauchcomputer oft **30/80**



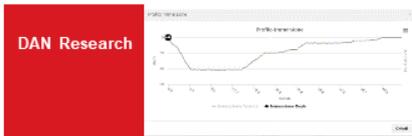
GF (Baker EC, 1998)

- **GF Low**
M-Wert in % des führenden Gewebekompartiments, das den ersten (tiefsten) Stopp bestimmt
- **GF High**
M-Wert in % des führenden Gewebekompartiments, während Aufstieg und Dekompression



GF Tauchcomputer

- 30 / 70** konservativ für „empfindliche“ Taucher
- 30 / 80** oft Standardeinstellung
- 25 / 85** mittlere Einstellung
- 15 / 90** sehr **aggressive** Einstellung
- 10 / 100** **Russisch-Roulette am Bühlmann-Limit**



GF & M-Werte

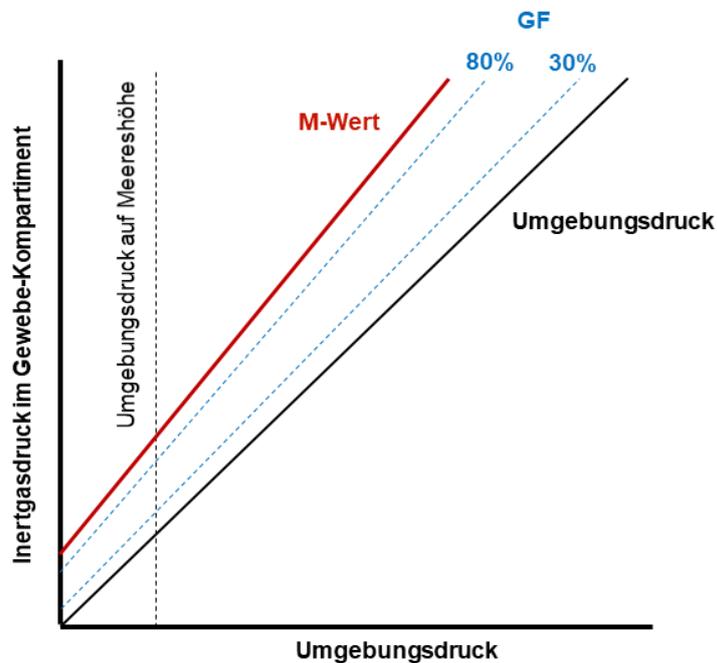


Abb. 3: Erklärung der M und GF-Werte. (Gradient Factor). Der M-Wert beschreibt die maximale Inertgassättigung eines gewissen Gewebekompartiments, ohne dass Symptome eines Dekompressionsunfalls entstehen.

Der DAN Europe Datenpool ermöglichte eine genauere Bewertung der allgemeinen Tauchrisiken und insbesondere der individuellen Prädisposition für dekompressionsbedingte Gesundheitsprobleme. Die Mittelwerte von Tauchtiefe und Gradient Factor (GF) der aufgezeichneten Tauchgänge betragen 27,1 m bzw. 0,66. Die Auswertung zeigte, dass es unterhalb des M-Werts von 1,0 eine erhebliche Grauzone der Unsicherheit gibt, somit bislang als perfekt tolerierbar eingeschätzte Tauchprofile betroffen sind und sich der Gasbläschengipfel 30 bis 45 Minuten nach einem einfachen Tauchgang bestätigt.

Die überwiegende Mehrzahl der aufgezeichneten DCI-Fälle entspricht nicht den Erwartungen, wie sie sich mathematisch aus den angewandten und etablierten Algorithmen berechnen ließen. Es handelte sich definitionsgemäß um unverdiente Ereignisse. Innerhalb der jeweils als sicher geltenden GF Korridore wären sie nicht zu erwarten gewesen.

Für die Deko-Krankheit scheinen also Frauen, ältere und korpulentere Personen etwas gefährdeter zu sein.

Diese Analyse der DAN Europe DSL Datenbank unterstreicht frühere Beobachtungen, dass Sporttauchgänge, um die es sich hier ausschließlich handelte, die innerhalb von als absolut sicher geltenden Bereichen durchgeführt wurden, gleichwohl mit einem erhöhten Risiko im Sinne einer kalkulatorischen Grauzone verknüpft sind, die nicht mit den akzeptierten Dekompressionsalgorithmen, wahrscheinlich aber mit anderen individuellen Risikofaktoren erklärt werden können. Diese beeinflussen die Wahrscheinlichkeit, einen Dekompressionsunfall zu entwickeln, möglicherweise unabhängig von einer direkten Beeinflussung der Gasbläschenbildung, sondern im Sinne einer Verstärkung der gasbläschenbedingten Effekte.

6 Fliegen nach dem Tauchen: endlich Fakten

„Bubble detection“, also Ultraschalluntersuchungen auf Intergasbläschen im strömenden Blut bei Rückkehrern aus dem Tauchurlaub im Verkehrsflugzeug – das war der Plan. Bisherige Daten basierten auf simulierten Expositionen in Druck- und Unterkammern. Sich auf dieses Unterfangen einzulassen, war schwierig, fast unmöglich, besonders aufgrund der vielen behördlichen Auflagen. Um die EMI-Zertifizierung zu erhalten (EMI steht für Elektromagnetische Interferenz), die für den Einsatz des Ultraschalls während des Fluges erforderlich ist, mussten Techniker und Forscher von DAN Europe viele Stunden auf dem Flughafen Malpensa in Mailand verbringen. Letztlich war auch diese Hürde genommen und zum allerersten Mal war es möglich, zu sehen, was wirklich im Körper eines Tauchers während des Fluges geschieht.

Die Methode der „bubbledetection“ im Projekt „flying after diving“ bestand aus vier Kontrollphasen.

Die erste Phase fand auf dem Hinflug statt, wenn die Taucher für mindestens 48 Stunden nicht getaucht hatten. Diese ersten Tests sind notwendig um bei den hyperbar unbelasteten Tauchern unter anderem das sogenannte Ultraschallfenster sowie mögliche Gasbläschen durch die hypobare Exposition parallel zu einer präzisen Messung des Kabinendrucks alle 15 Minuten zu bestimmen.

In einer zweiten Phase wurden über die Dauer einer Woche auf einem Tauchsafariboot Ultraschalluntersuchungen und andere Tests nach jedem Tauchgang durchgeführt. Die Tauchprofile wurden mit dem Computer überprüft und für die

nachfolgenden Tests heruntergeladen. Alle Tauchgänge fanden innerhalb der Sicherheitsgrenzen statt. Auftauchen bei korrekter Geschwindigkeit mit Sicherheitsstopp von 3 Minuten bei 5 Meter Tiefe wurde immer eingehalten. Keiner der Taucher hatte Symptome eines Dekompressionsunfalls.

Die dritte Kontrollphase fand vor dem Heimflug im Flughafen statt, wo Herzultraschallsignale der Taucher unmittelbar vor dem Besteigen des Flugzeuges nach einem 24-Stunden-Oberflächenintervall aufgezeichnet wurden.

In der letzten Phase, auf dem Heimflug, wurden alle Taucher genau 30, 60 und 90 Minuten nach Erreichen der Reiseflughöhe des Flugzeuges mit Herzultraschall und Doppler kontrolliert.

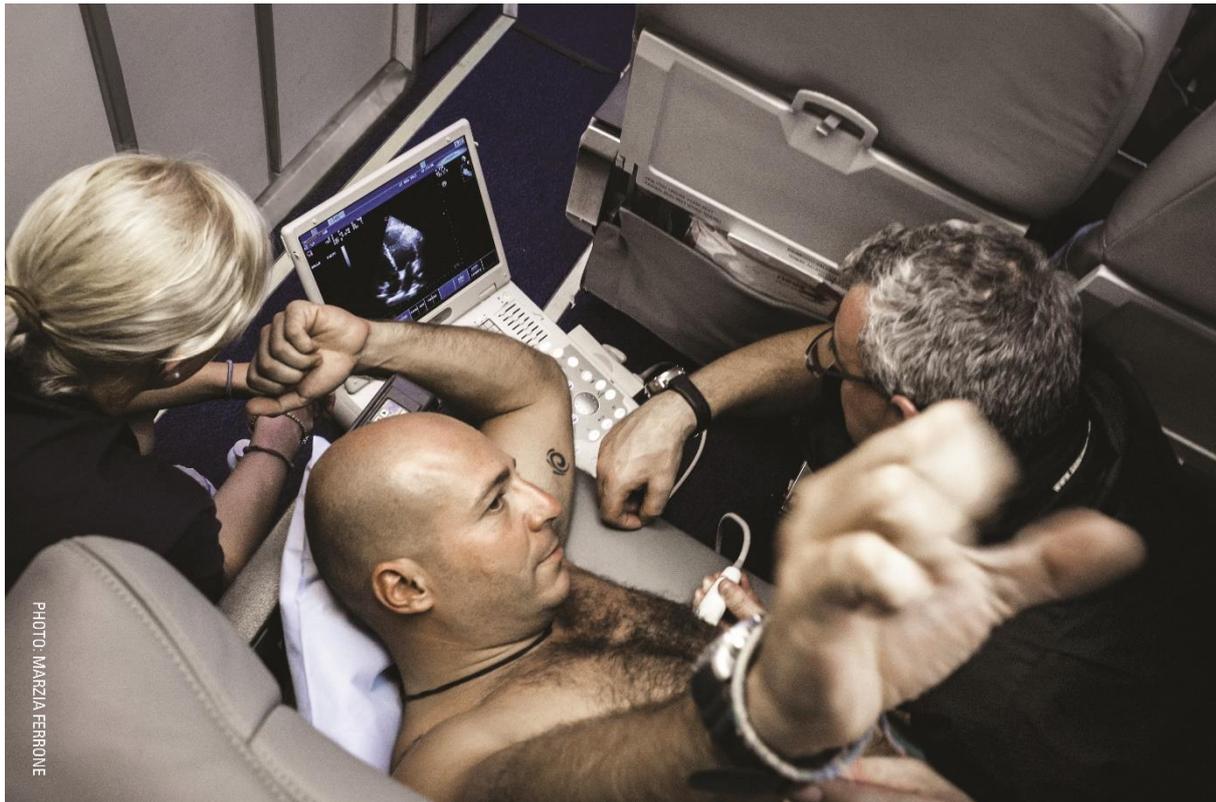


Abb. 4: Herzultraschalluntersuchung auf Reiseflughöhe.

Bei keinem der an der Studie teilnehmenden Taucher wurden auf dem Hinflug Bläschen beobachtet. Dieser Ausgangsbefund schloss aus, dass detektierte Gasbläschen auf dem Rückflug nicht durch den Flug selbst, sondern durch den kombinierten Effekt von Tauchen und folgendem Druckabfall während des Fluges verursacht worden wären.

Entgegen der bisherigen Annahmen, dass auf Langstreckenflügen hinsichtlich der Dekompressionskrankheit ein größeres Risiko bestünde als auf Mittelstreckenflügen, zeigte die Studie das Gegenteil. Das hängt höchstwahrscheinlich damit zusammen, welcher Kabinendruck in der Höhe erreicht wird: ungefähr 1500–1800 Metern über dem Meeresspiegel für die Reise Malediven und bei 2400 Metern über dem Meeresspiegel (erlaubtes Maximum) für nähere Reiseziele.

Ganz eindeutig bilden einige Taucher mehr Bläschen als andere, selbst bei sehr ähnlichen Tauchprofilen. Die Untersuchungen während der Woche auf dem Tauchsafariboot führten zur Einteilung der Taucher in drei Kategorien:

- Taucher, die keine Bläschen bilden,
- Taucher, die manchmal Bläschen bilden, sowie
- Taucher, die geradezu „Bläschen-prädestiniert“ sind, also nach jedem Tauchgang Bläschen bilden („bubble-prone“).

Um einen konsistenten Vergleich zu erhalten, durften die Tauchprofile nur einen geringen Einfluss auf die Kategorisierung haben, denn es ist offensichtlich, dass ein belastendes Profil mehr Bläschen erzeugen kann als ein leichtes.

Die Analyse auf dem Rückflug hat gezeigt, dass die meisten Taucher bei Einhaltung eines 24-Stunden-Intervalls nach dem letzten Tauchgang keine Bläschen bildeten, abgesehen von den „Bläschen-prädestinierten“ Tauchern. Daher ist es ratsam, dass diejenigen, die in diese Kategorie fallen, ihre Wartezeit vor einem Flug verlängern sollten. Während der Woche erwiesen sich zwei Taucher als „super-prädestinierte Bläschenbildner“ („super bubble-prone“). Deswegen rieten wir ihnen von ihrem letzten Tauchgang ab, damit die Wartezeit vor dem Flug 36 Stunden betrug. Es ist für die Studie von besonderer Bedeutung, dass keiner der Taucher während des Rückfluges Bläschen bildete. Für die super-prädestinierten Taucher ist eine Wartezeit von über 24 Stunden angebracht. Alternativ empfiehlt DAN Research die präventive Atmung von normobarem Sauerstoff vor dem Flug.

Die höchsten Bläschengrade wurden 30 Minuten nach Erreichen der Reise Flughöhe gemessen. In der dann folgenden 60- bis 90-Minutenphase nahmen die Bläschengrade ab.

Im Grunde ist das ähnlich wie beim Auftauchen nach einem Tauchgang. Andererseits wirkt eine Druckerniedrigung wie Auftauchen selbst und hat die gleiche Wirkung. Mit zunehmender Zeit in der Höhe entsättigt der Körper und die Bläschen nehmen ab. Es gibt eine weitere mögliche Erklärung: die kleinen Bläschen befinden sich bereits im Blut, sind jedoch so klein, dass sie mit einem normalen Herzultraschallgerät nicht entdeckt werden können. Die Erniedrigung des Druckes könnte ihre Dimensionen vergrößern und sie dadurch besser sichtbar machen.

Was können diese Studienergebnisse zukünftig für Taucher bringen?

Die Zukunft wird sein, dass die individuelle Komponente das mathematische Deko-Modell richtungsweisend beeinflusst. Der neue Weg ist deswegen faszinierend, weil auf unseren Organismus abgestimmte Parameter in mathematische Modelle integriert werden. Damit steht dann wohl nicht mehr der Tauchcomputer, sondern sein Träger, also der tauchende Mensch, im Fokus.

7 Reduktion von Gasbläschen und Shunteffekten

Das individuelle Tauchverhalten kann bei vermutetem oder bekannt erhöhtem Risiko für vermehrte Bildung von Inertgasbläschen durch sogenannte „Regeln für das sichere Tauchen“ positiv beeinflusst werden. Hierbei werden zwei Schutzziele verfolgt: geringere Bläschenbildung („lowbubbliving“) und der Übertritt venöser Gasbläschen ins arterielle System über sogenannte „Shunts“. Solche Verbindungen können auf

Herz- und Lungenebene vorkommen: offenes Foramen ovale (PFO, Herzvorhöfe) oder venös-arterielle Kurzschlüsse (Lungen).

Das erste Schutzziel geringer Gasbläschenproduktion wird unter anderem durch konsequenten Sicherheitsstopp, ab 10 m reduzierte Aufstiegsgeschwindigkeit, 4 h Oberflächenintervall für Folge-TGe, mindestens 2 h Wartezeit bei Höhenwechsel, Vermeidung von milder Unterkühlung und Flüssigkeitsmangel, Nitrox-Tauchen nach Lufttabellen und den Sicherheitsmodus des Tauchcomputers erreicht, was insbesondere für Taucher von Bedeutung ist, die als „Bläschenbildner“ schon einmal auffällig geworden sind.

Das zweite Schutzziel, die Verhinderung von Rechts-Links-Shunts, umfasst die Vermeidung von JoJo-Tauchgängen und jedweden Anstrengungen im 10 m Bereich des Aufstiegs sowie über 2 h nach dem TG (Klettern, Heben, Tragen, Pressen, Aufblasen ...) und ein absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (Husten!).

Nachdem über die Hälfte aller Deko-Unfälle auf den ersten Blick keine wirklichen Fehler erkennen lassen, sind es bei näherer Analyse dann doch oft einzelne Punkte aus dem Schutzzielkatalog.

Die 15 Regeln des sicheren Tauchens (lowbubbling) sind, angepasst nach GTÜM & ÖGTH (2014):

- Tauchgang mit größter Tiefe beginnen
- keine JoJo-Tauchgänge im 10 m Bereich
- Aufstiegsgeschwindigkeit ab 10 m auf $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Sicherheitsstopp 3 bis 5 m Tiefe > 5 bis 10 min
- „Nullzeit“ nicht ausreizen, keine „Deko-TGe“
- mindestens 4 h Oberflächenintervall Folge-TG
- maximal 2 TGe pro Tag
- mindestens 2 h Wartezeit bei geographischem Höhenwechsel
- nach TG keine starke Hauterwärmung
- (Haut-) Kälte, Flüssigkeitsmangel vermeiden
- Nitrox-Tauchen nach Lufttabellen
- Sicherheitsmodus Tauchcomputer
- keinerlei Anstrengungen letzte 10 m des TGs
- keine Anstrengungen über 2 h nach dem TG (Klettern, Heben, Tragen, Pressen, Aufblasen ...)
- absolutes Tauchverbot bei Erkältungen (kein Husten und forcierter Druckausgleich ...)

8 Taucherlungenödem

Das Taucherlungenödem ist erstaunlicherweise erst in den vergangenen zwei Jahrzehnten in seiner Bedeutung als Notfall Unterwasser erkannt worden. Es ist eine Form des „immersionpulmonaryedema“ (IPE) und zeigt sich durch Husten (auch unter Wasser), Thorax-Druck oder Engegefühl, blutig gefärbten Auswurf, Eisengeschmack im Mund und Rachen sowie mehr oder weniger ausgeprägte Atemnot. Verursacht und somit zum Teil vermeidbar wird das Taucherlungenödem durch die Kombination von

zentraler Flüssigkeitsverlagerung durch den Immersionseffekt, zu viel Flüssigkeitszufuhr unmittelbar vorm Tauchen, peripherer Unterkühlung, (belastungsbedingtem) hohem Blutdruck, physischem und psychischem Stress und der Atemarbeit am Lungenautomat.

Die Soforttherapie durch medizinische Laien besteht in der normobaren Sauerstofftherapie mit 100 % in der Einatmung, Oberkörper Hoch- und Beine Tieflagerung sowie Verzicht auf jegliche Flüssigkeitsgabe.

9 Sport vor dem Tauchen?

Die Frage nach submaximaler sportlicher Betätigung vor dem Tauchen konnte von DAN Europe dahingehend beantwortet werden, dass dies sogar eine Prä-Konditionierung darstellt, indem durch die mit dem Sport einhergehenden Vibrationen Mikro-Blasenkerne, die Voraussetzung für die Bildung manifester Gasbläschen sind, aus dem venösen System ausgeschüttelt werden und dann gemäß „goodvibrations – lessbubbles, lesstroubles“ wirken. Der Grad der nachweisbaren manifester Gasblasen in der vulnerablen Phase bis 60 Minuten nach dem Auftauchen reduziert sich hochsignifikant.

Sport oder schon allein körperliche Beanspruchung nach dem Tauchen bleibt aufgrund des Intergasbläschen-Plateaus über 120 min „post“ aber grundsätzlich untersagt.

Literatur

Baker, E. C., 1998. Understanding M-values. Immersed. 3 (3): 23 – 27.

GTÜM & ÖGTH, 2014. Checkliste Tauchtauglichkeit. 2. Auflage. Stuttgart, A. W. Gentner Verlag, Gentner, 384 Seiten.

Thomas MOHR*

* Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei – Institut für Fischerei, Fischerweg 408,
18069 Rostock

t.mohr@lfa.mvnet.de

Überblick zum Forschungsprojekt „Riffe in der Ostsee“

Zusammenfassung

Das Riffprojekt ist ein im Wesentlichen über Mittel der Europäischen Union und Landesmitteln Mecklenburg-Vorpommerns finanziertes Projekt. Die Projektdurchführung steht unter der Leitung der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV (LFA). Dem internationalen Trend folgend sollte das Einbringen von Hartsubstrat als Aufwertung des Ökosystems, in diesem Fall der Ostsee, wissenschaftlich begleitet und untersucht werden. Das Projektziel, den Nachweis zu erbringen, dass das Einbringen von Hartsubstrat in den Gewässern Mecklenburg-Vorpommerns zu einer Erhöhung der fischereilichen Wertigkeit führt, konnte erbracht werden. Neben einer Reihe von anderen signifikanten positiven Effekten besteht der momentane Projektinhalt darin, die Flächenwirkung eines künstlich angelegten Riffs am Beispiel der Nutzfischart Dorsch zu beschreiben.

Die Forschungstaucherei hat einen großen Teil zum Erreichen der Projektziele beigetragen. Eine grobe Hochrechnung hat ergeben, dass ca. 10 bis 15 % der gesamten Projektmittel für die Forschungstaucherei verwendet wurden.

1 Chronologie

Die Strategie bei der Umsetzung der wissenschaftlichen Arbeiten bestand darin, eine gewisse Flexibilität bei der Projektbearbeitung zu gewährleisten. Durch die Untersetzung des Riffprojektes in einzelne Projektetappen oder spezielle Unterprojekte und den darin erbrachten Ergebnissen konnte in selbst vorgegebenen und überschaubaren Zeitabständen über den weiteren Fortgang der Arbeit entschieden werden. Die Projektziele konnten dem jeweiligen Wissensstand angepasst, neu ausgerichtet und die Finanzierung entsprechend organisiert werden.

In der Anfangsphase des Projektes wurde über Landesmittel eine Studie „Die biologische und fischereiliche Situation in den Küstengewässern des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Grenzen und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung durch künstliche Riffe“ finanziert, um die Erfolgsaussichten des Einbaus von Hartsubstrat für die geplanten Untersuchungen zur fischereilichen Aufwertung eines Gewässers zu eruieren. Zu diesem Zeitpunkt gab es im Ostseeraum keine wissenschaftlichen

Arbeiten zu dieser Thematik. Es gab dringenden Bedarf, da den Genehmigungsbehörden Anfragen von privatwirtschaftlichen Einrichtungen und hier in erster Linie von Tauchbasen zum Einbau von „Reef Balls“ in die Ostsee vorlagen. „Reef Balls“ sind halbkugelförmige Gebilde mit Lochdurchbrüchen aus unterschiedlichen Materialien in erster Linie aber aus Beton. Sie wurden und werden international bei der Errichtung von künstlichen Riffen verwendet. Die Tauchbasen, die sich in den 90iger Jahren entlang der Küste Mecklenburg-Vorpommerns etablierten, beabsichtigten durch die Errichtung von künstlichen Riffen die Attraktivität ihrer Tauchspots zu erhöhen. Die wissenschaftlichen, aber auch die populärwissenschaftlichen Meinungen zu den Auswirkungen durch den Einbau von Hartsubstrat in ein Biotop, waren zu jener Zeit sehr unterschiedlich, weil die Grundlagen für eine objektive Bewertung fehlten. Also lag ein sehr großes wissenschaftliches, wirtschaftliches wie auch öffentliches Interesse vor, hier Klarheit zu schaffen. Mit dem Riffprojekt sollten nun die entsprechenden biologischen, technischen sowie technologischen aber auch finanziellen Basisdaten gewonnen werden. In nachfolgender Tabelle (Tab. 1) sind die chronologischen Eckpunkte des Riffprojektes aufgezeigt.

Tab. 1: Chronologie des Riffprojektes.

Zeit	Aktivität	Finanzierungsmittel
1994 – 1995	Studie	Landesmittel (LM): Fischereiabgabe
1996	Einbau der ersten Strukturen am Standort Nienhagen, Kleinriff und Telemetriemast der Universität Rostock	FIAF, LM und Universität Rostock über LM (Kultusministerium)
2/1998	Erweiterung des Kleinriffs durch den Einbau von ca. 2000t Natursteinen	
1999 – 2002	Betreuung des Standortes Nienhagen, Planung und Vorbereitung des Großprojektes	Fisch und Umwelt M-V e.V. und Universität Rostock
2002	Beginn des Großprojektes „Riffe in der Ostsee“	FIAF und LM
2003	Einbau Riff NIENHAGEN	FIAF und LM
2006	Erweiterung Riff NIENHAGEN mit speziellen Elementen für Algen	FIAF und LM
2009	Einbau Riff ROSENORT inklusive Arbeitsplattform (Monopile)	EFF und LM
2010	Einbau Arbeitsplattform (drei Standrohre) am Riff NIENHAGEN	EFF und LM
2012	Erbringung des Nachweises, dass die fischereiliche Wertigkeit erhöht wurde	EFF und LM
10/2015	Vorlage von Empfehlungen für die Errichtung von künstlichen Riffen in den Küstengewässern MVs westlich der Darßer Schwelle	EFF und LM
2015 – 2022	Bestimmung der Flächenwirkung von „künstlichen“ Riffen und deren positive Effekte bezogen auf die Nutzfischart Dorsch	EMFF und LM

Mit einem für die Weiterführung des Riffprojektes positiven Abschluss der Studie wurde der Einbau eines Kleinriffs im Fischereischutzgebiet der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei - Institut für Fischerei vorbereitet. Zum Einsatz kamen 20 Stück 1 m lange Betonröhren mit einem Durchmesser von 40 cm und einer Wandstärke von 3,5 cm aus der landwirtschaftlichen Melioration (Abb. 1) und neben flexiblen Strukturen ca. 2000 t Natursteine (Abb. 2), die bei dem Rückbau der Mittelmole Warnemünde dem Projekt kostenlos durch das WSA Stralsund zur Verfügung gestellt wurden.



Abb. 1: Verladung der ersten Betonrohre.

Mit dem Einbau vom Kleinriff, aber vor allem mit dem Anlegen des Natursteinfeldes, wurden die Erfolgsaussichten für das Großprojekt „Riffe in der Ostsee“ deutlich und die Vorplanungen konnte begonnen werden.

Mit dem Einbau der Riffe NIENHAGEN und ROSENORT (nähere Beschreibung im Abschnitt 2) und dem wissenschaftlichen Begleitprogramm wurde 2012 das gestellte Ziel erreicht und es konnte der Nachweis der Erhöhung der fischereilichen Wertigkeit im Untersuchungsgebiet erbracht werden. Dabei wurde das Potential von Riffstrukturen als aktive Managementmaßnahme für die Bestandserhaltung und den Schutz der Fischbestände in der Ostsee erkannt. Bei der Weiterführung der Arbeiten blieb das Monitoringprogramm zum fischereilichen Aufkommen und dem Bewuchs in Bezug auf die Riffstrukturen die Kernaufgabe, wobei neben der statistischen Untermauerung der bisherigen Versuchsergebnisse die Untersuchungen zur Erfassung der Verweildauer der Dorsche an den Riffen sowie die Ermittlung der fischereilichen Aufwertung und die natürlichen Wiederbesiedlungsrate von Schütt- und Verklappungsstellen durch das Einbringen von Hartsubstrat eine wesentliche Rolle spielten. Das

beinhaltete Aussagen zum ökologischen Potential sowie zum Stoffkreislauf im Ökosystem RIFF. Die Ergebnisse der Untersuchungen an beiden Riffen bildeten die Grundlage für die Erstellung von Empfehlungen für den Einbau weiterer Riffe in Mecklenburg-Vorpommern mit der Beschränkung auf das Seegebiet westlich der Darßer Schwelle (Abb. 3).



Abb. 2: Steinstürzer bei der Verklappung der Natursteine.

Bei der Erarbeitung der Empfehlungen war natürlich deren Umsetzung ein wichtiger Diskussionspunkt. Im Abschlussbericht 2015 wurde vorgeschlagen, neben Projekt- oder privaten Mitteln (Basis war die Taucher- und Anglerbefragung im Jahr 2006) vor allem Gelder aus der Kompensationsregelung in M-V freizusetzen. In diesem Stadium befinden sich die Arbeiten, die im Abschnitt 5 noch näher beschrieben werden.

2 Die Riffe

2.1 Riff NIENHAGEN

Das Riff NIENHAGEN wurde mit der Grundsteinlegung im Jahre 1996 über mehrere Stufen ausgebaut, wobei das Großriff 2003 installiert wurde. Es umschließt derzeit ca. 50 000 m² Meeresgrund in 11 bis 12 m Wassertiefe und ist in ca. 1,5 km Entfernung von der Küste nördlich des Ostseebades Nienhagen westlich Rostock Warnemünde positioniert.



Abb. 3: Empfehlungen für neue Riffstandorte westlich der Darßer Schwelle.

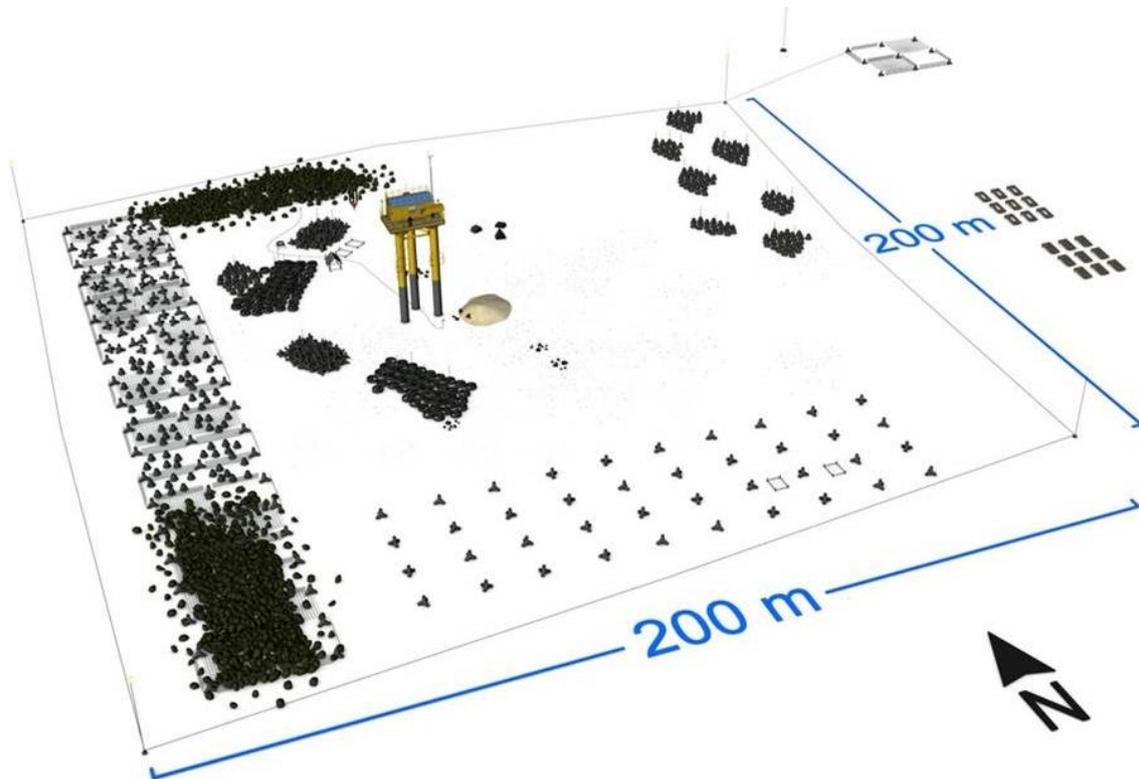


Abb. 4: Riff Nienhagen (Graphik: style-KÜSTE).

Das Riff besteht aus ca. 1400 Stück Betonelemente und ca. 2500 t Naturstein (Abb. 4). Die Natursteine mit Größen von 30 bis 150 cm Durchmesser stammen aus der Region. Bei den Betonstrukturen kamen drei Elementeformen zum Einsatz (Abb. 5). Das waren Riffkegel, Ring und Tetrapode (2 t und 6 t). Über die Untersuchungsjahre haben sich die Riffkegel und Tetrapoden bewährt. Die Ringe, die aus dem standardisierten Klärwerksbau stammen und mit ihren großen Hohlräumen gute Eigenschaften mitbrachten, sind für die rauen Bedingungen der Ostsee als Einzel-element und in einer gestapelten Anordnung zu instabil und damit nicht geeignet. Wie in Abb. 5 zu sehen, wurden auch unterschiedliche Oberflächen (glatt, rau, Naturstein) bei den Betonelementen getestet. Durch die Zugabe von Rundgestein (Rollsplit) bei der Herstellung der Elemente besteht die Möglichkeit, den Natursteinanteil in der Oberfläche auf 90 % und mehr zu bringen.



Abb. 5: Betonelemente – links: Riffkegel, Mitte: Ring, rechts: Tetrapode.

2.2 Riff ROSENORT

Ein zweites Riff mit ca. 1200 m² Grundfläche wurde im Projektverlauf im Jahr 2009 zwischen Markgrafenheide und Graal-Müritz (Höhe Rosenort) auf 6 bis 7 m Wassertiefe und in ca. 2 km Entfernung von der Küste auf einer nicht mehr genutzten Verklappungsstelle errichtet. Das Riff besteht aus 180 t Naturstein und 86 Betonelementen (Abb. 6).

3 Untersuchungen

3.1 Fischereiliche Untersuchungen

Die mit Projektbeginn angewandte und nach den ersten Erfahrungen präzierte Methodik für die fischereilichen Untersuchungen bezieht sich auf das jeweilige Riffgebiet und ein dazugehöriges Referenzgebiet. Das Referenzgebiet liegt auf gleicher Wassertiefe wie das Riff und hat in etwa die gleiche natürliche Struktur am Meeresboden wie die am Riff vor dessen Einbau. Es wurden Abstände zwischen den jeweiligen Riff- und Referenzgebieten von ca. 4 km gewählt. Am Standort Nienhagen liegt das Referenzgebiet westlich vom Riff Höhe Börgerende. Am Standort Rosenort fiel es auf Grund der verhältnismäßig geringen Größe der Verklappungsstelle und der für die fischereilichen Untersuchungen zur Verfügung stehenden Flächen nicht leicht, ein zum Riff vergleichbares Referenzgebiet auf 6 bis 7 m Wassertiefe zu finden. Hier

musste ein Kompromiss eingegangen werden, da nicht genügend sandiger Boden in dieser Wassertiefe aufzufinden war. So wurde westlich vom Riff ein leicht strukturierter Meeresboden bei gleicher Wassertiefe mit vereinzelt Hartsubstrat und dazwischenliegenden Muschelbänken, im Gegensatz zum reinen Sandboden, auf dem das Riff errichtet wurde, gewählt. Die fischereilichen Beprobungen an den Riffstrukturen und in den naturbelassenen Referenzgebieten wurden in der Projektanfangsphase monatlich, dann achtmalig im Jahr und später quartalsmäßig durchgeführt. Egal in welchen Abständen die Beprobungen erfolgten, sie wurden am Riff wie im Referenzgebiet am gleichen Tag durchgeführt. Dabei kamen Stellnetze, Multimaschennetze (Schwedenetze) und Aalkorbketten zum Einsatz. Die Fanggeräte wurden so gewählt, dass das gesamte Fischartenspektrum erfasst werden konnte, aber auch die unterschiedlichen Längsklassen der Zielfischart Dorsch.

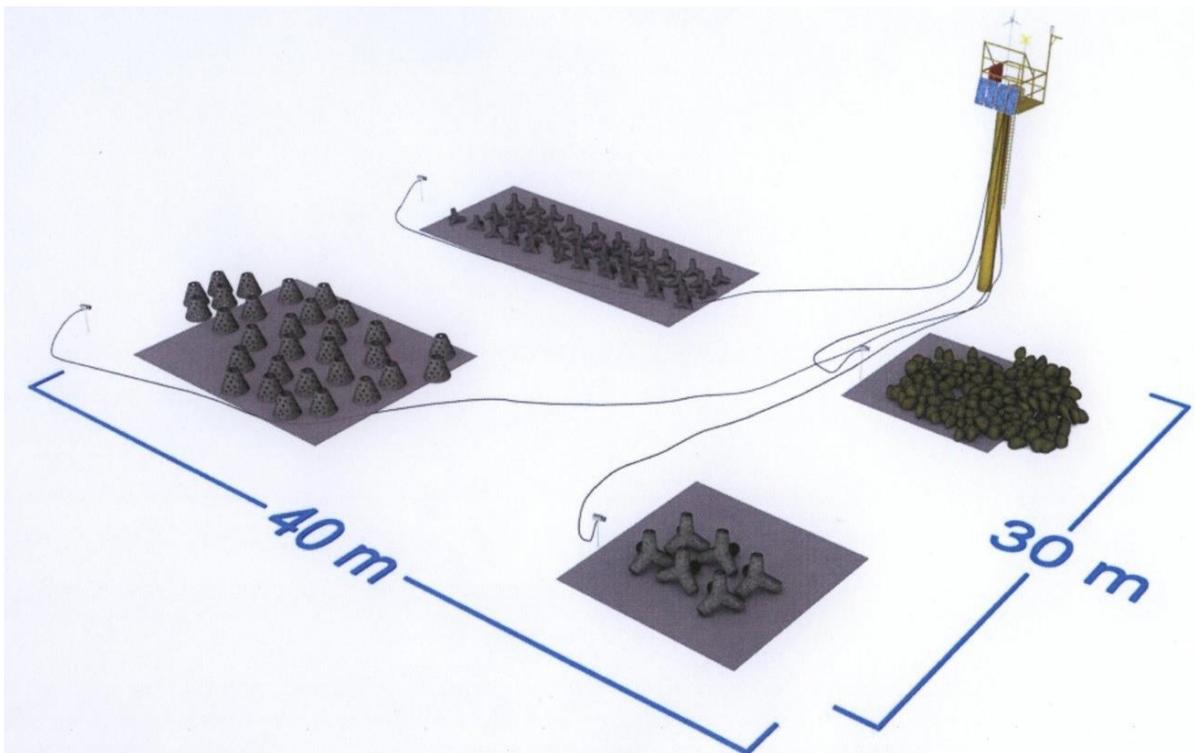


Abb. 6: Riff Rosenort (Graphik: style-KÜSTE).

Es kamen pro Standort 2 Stellnetzflote mit jeweils einem 1-wandigen Stellnetz (60 mm Maschenweite, 45 m Länge und 2,4 m Höhe), einem 1-wandigen Stellnetz (55 mm Maschenweite, 45 m Länge und 2,4 m Höhe) und einem Ledderingsnetz (60 mm Maschenweite (innen), 350 mm (Spiegelmaschen), 50 m Länge und 2,0 m Höhe) zum Einsatz. Des Weiteren wurde pro Standort ein Stellnetzfleet mit zwei 1-wandigen Multimaschennetze eingesetzt. Das 1-wandige Multimaschennetz besteht aus sieben Einzelnetzen a 7 m, die jeweils eine andere Maschenweite von 6,5 – 15 – 20 – 26 – 35 – 50 – 70 mm aufweisen, und hat eine Gesamtlänge von 49 m und 2,0 m Höhe. Die eingesetzten Aalkorbketten bestehen aus fünf Doppelreusen mit je einem 8 m langen Leitwehr, die miteinander verbunden sind und so eine Einheit bilden. Jede Reuse ist mit drei Kehlen ausgerüstet. Die Gesamtlänge des Reusenkorbes beträgt eingestellt 3 m und die Maschenweite im Stert beträgt 11 mm. Die Form der Reuse wird durch 7 rostfreie Stahlbügel (Bügeldurchmesser: 55 – 50 – 45 – 40 – 35 – 30 – 30 cm) bestimmt.

3.2 Bewuchsuntersuchungen

Die Bewuchsuntersuchungen mit Fotodokumentation erfolgten an beiden Riffstandorten in der Anfangsphase monatlich. Später wurde zur quartalsmäßigen Durchführung übergegangen. Dabei wurden repräsentative, im unteren und oberen Bereich der Strukturen dauerhaft gekennzeichnete Flächen mit Fotorahmen (20 cm × 25 cm), in den vorgegebenen zeitlichen Abständen fotografiert. Neben den Fotoflächen wurden halbjährlich Kratzproben auf einer Fläche von 15 × 15 cm entnommen. An beiden Riffstandorten wurden Bewuchsplattengestelle eingebaut, die es ermöglichten genormte Probestplatten unterschiedlichster Materialien und Oberflächen mit einer Kontrollfläche von 9 × 24 cm über gewisse Zeiträume auszulagern und abzugeben. Die sogenannten Langzeitplatten wurden zu Projektbeginn in das Gestell eingebaut und in vierteljährlichen Abständen entnommen und untersucht. Die sogenannten Quartalsplatten aus Plexiglas mit der gleichen Kontrollfläche (9 × 24 cm) wurden vierteljährlich ausgetauscht, um nicht nur die Bewuchsmenge und die Zusammensetzung, sondern auch die Besiedlungszeitpunkte einzelner Organismen genauer zu erfassen. Darüber hinaus wurden aus den Riff- und im Referenzgebieten vierteljährlich je 1 mittelgroßer (10 – 15 cm Durchmesser) natürlicher Stein entnommen und dessen Besiedlung untersucht und bewertet sowie die umgebenden Sandflächen unter zur Hilfenahme eines an die Kamera angepassten Rahmens (40 × 60 cm) an je 3 repräsentativen Stellen fotografiert. Zur Dokumentation der Gesamtsituation am Riff wurden quartalsmäßig Videoschnitte von einer mit Leine gekennzeichneten Strecke in den Riffen aufgenommen.

3.3 Weitere Untersuchungen und Aktivitäten

Hier soll nur ein grober Überblick zu den weiteren Aktivitäten im Projekt vermittelt werden. In der Anfangsphase standen neben der fischereilichen und bewuchstechnischen Iststandserfassung und Optimierung der Methoden, Untersuchungen zu Materialien, deren Oberflächen und der Statik im Vordergrund. Es wurden unterschiedliche Fangmethoden z. B. Langleinenfischerei und insbesondere die Reaktivierung der Fischfallenfischerei erprobt. Die Fischfallen sind im laufenden Projekt wichtige Voraussetzung für die Markierung von Dorsch als Basis für den Nachweis des Wanderverhaltens oder auch anders formuliert: der Standorttreue. Neben strömungstechnischen Untersuchungen gelangten auch andere marine Organismen in den Fokus der Untersuchungen. So wurde die Rotalge *Delesseria sanguinea*, die auch international einer wirtschaftlichen Verwertung zugeführt wird, in einem gesonderten Projekt untersucht. Die für medizinische, kosmetische oder als Nahrungsergänzung interessanten Polysaccharide der Rotalge aus der Ostsee wurden extrahiert, mit anderen verglichen und die Vorteile dargelegt. Leider konnte eine wirtschaftliche Verwendungsmöglichkeit nur theoretisch nachgewiesen werden. Für die praktische Umsetzung war ein Humantest nötig. Für diesen Test wurden Mittel aus der pharmazeutischen Industrie in Aussicht gestellt. Leider scheiterte die Umsetzung aufgrund von Problemen bei der Finanzierung weiterer wissenschaftlicher Begleitarbeiten, so dass das Projekt 2012 beendet wurde. Die Bewuchsuntersuchungen wurden mit dem Einsatz von ARMS (Autonome Riff-Monitoring-Strukturen) ergänzt. Die ARMS (Abb. 7) sind genormte Elemente, die international zur objektiven, vergleichbaren Bewertung der Besiedlung von Hartsubstrat (Riff) eingesetzt werden. Die in diesem Projekt erhobenen Daten wurden in die weltweit geführte Datenbank integriert. Unter der Rubrik Öffentlichkeit wurde schon in der Anfangsphase des Projektes eine Webseite erstellt (www.riff-nienhagen.de), auf der die Aufgaben und Ziele sowie der Fortgang der Arbeiten und die Ergebnisse

präsentiert werden. Darüber hinaus wurden die Riffe visualisiert, Filme und Fotos zur Dokumentation der Projektarbeiten erstellt und Livebilder von der Unterwasserwelt im Internet gezeigt. Bei allen Präsentationen stand die Sensibilisierung der Menschen und vor allem der Jugend für das Ökosystem OSTSEE im Mittelpunkt. Mit diesem Anliegen wurde über die Initiative „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen“ unter der Schirmherrschaft des

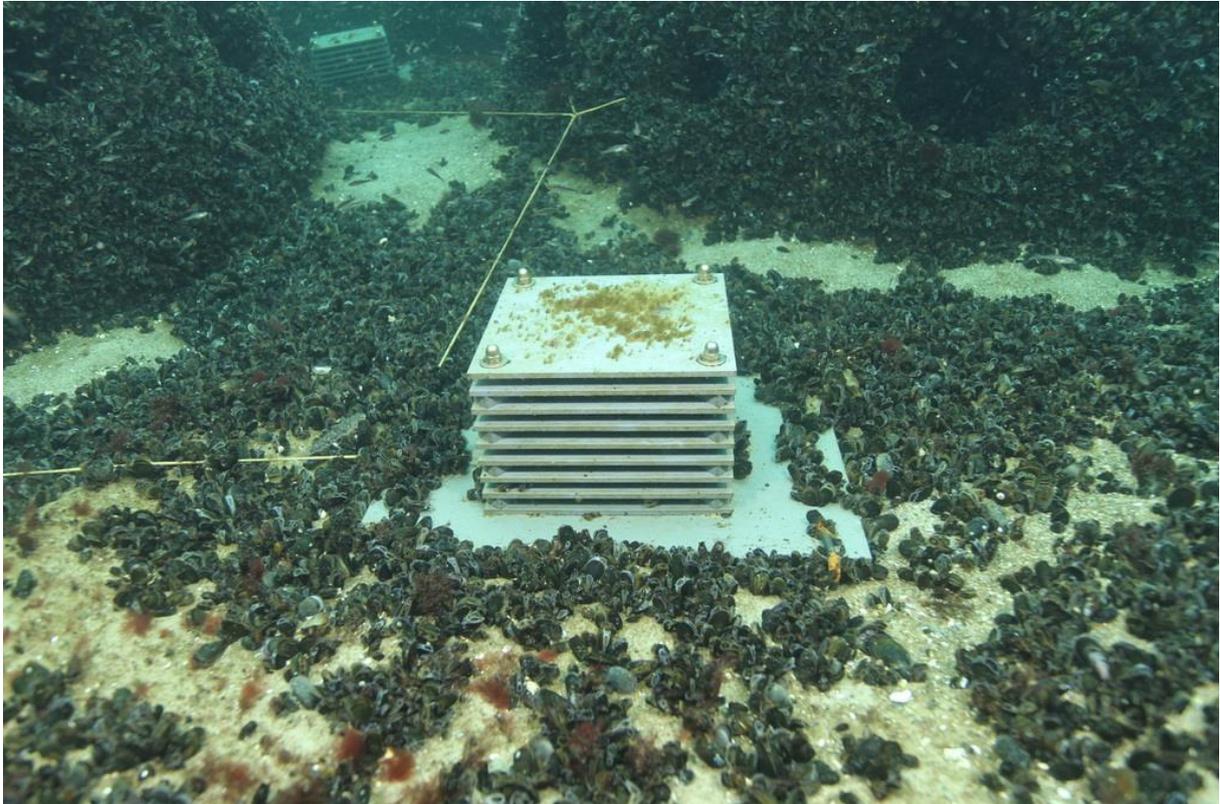


Abb. 7: ARMS an Riffkegeln.

Bundespräsidenten und dem nationalen Förderer, der Deutschen Bank, die Idee einer Seestation am Riff NIENHAGEN (Abb. 8), die mit Seilbahn erreichbar sein sollte, als „Ausgewählter Ort 2011“ prämiert. In diesem Zusammenhang entstand unter Mitwirkung von Lehrern und Schülern eine Lernplattform „Mytilus“ (www.mytilus.baltic-reef.de), die die Miesmuschel in ihrem Aufbau, mit ihren Lebensfunktionen wie Atmung und Verdauung aber auch ihrer Funktion im Ökosystem beschreibt. So sollte digital und spielerisch Schulwissen vermittelt (Abb. 9) werden. Leider scheiterte auch hier die praktische Umsetzung. Das deutsche Bildungssystem war für die digitale Vermittlung von Lehrstoff noch nicht bereit.



Abb. 8: Seestation mit Landanbindung (Graphik: style-KÜSTE).

4 Aktueller Stand der Arbeiten

Der letzte Punkt in der Rubrik Ergebnisse, die Finanzierung weiterer Maßnahmen zum Einbau von Hartsubstrat in die Ostsee, veranlasste die Neuausrichtung der Projektziele – es sollte die Flächenwirkung eines Riffs in Bezug auf die dominante Fischart Dorsch beschrieben werden. Die positiven Effekte, wie Artenschutz, Deutrophierung, Rückbau von mit Grundschleppnetz- und Steinfischerei zerstörten Habitaten, lassen sich nicht materiell beziffern. Daher soll versucht werden, an einer Fischart mit Marktpreis bekannter Größe auch den jährlichen Nutzen für die Beschreibung eines Kompensationswertes zu beziffern.

Die Methodik für den wissenschaftlichen Ansatz zur Bestimmung der Flächenwirkung der Riffe in Bezug auf die Fischart Dorsch musste neu entwickelt werden, da es keine vergleichbaren Arbeiten oder zu übernehmende Monitoringprogramme gab. Basis war der im Projekt bereits erbrachte Nachweis, dass das Vorkommen von Jungdorschen an den Riffstrukturen doppelt so hoch ist wie in einem Referenzgebiet. Es wurde also angenommen, dass dieses erhöhte Aufkommen von Jungdorsch von den Riffen abwandert und sich die Dorsche in der Küstenregion verteilen. Um dieses Abwandern zu erfassen, wurden, dem Küstenverlauf folgend, 22 Fischfallen im Abstand von einer Seemeile von Kühlungsborn bis Dierhagen eingesetzt. Dabei wurden die Riffstandorte miteingeschlossen. Mit den Fallen (Abb. 10) werden in erster Linie lebende Dorsche gefangen. Der Beifang ist sehr gering, wird mengenmäßig erfasst und wieder zurückgesetzt. Die gefangenen Dorsche werden vermessen, markiert und ebenfalls wieder in die Ostsee zurückgesetzt. Nur ein geringer Teil der Dorsche, der für Proben benötigt wird (Genetik) oder konditionell nicht geeignet ist, wird nicht markiert. Von Juli 2016 bis August 2018 wurden 8081

Dorsche gefangen und davon 6661 markiert. Von diesen wurden 358 Dorsche wiederfangen, so dass die Wiederfangrate bei 5,4 % lag. Von 358 wiedergefangenen Dorschen wurden 323 in der Falle, bei der auch die Markierung erfolgte, wiedergefangen. Das sind 90 %! Der zeitliche Mittelwert zwischen Markierung und Wiederfang lag bei 76 Tagen und das Maximum bei 406 Tagen. 18 Dorsche wurden westlich und 17 Dorsche östlich von der Fischfalle des markierten Rückbesatzes wiedergefangen.

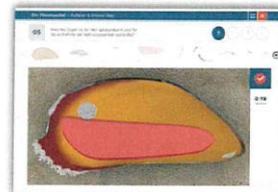
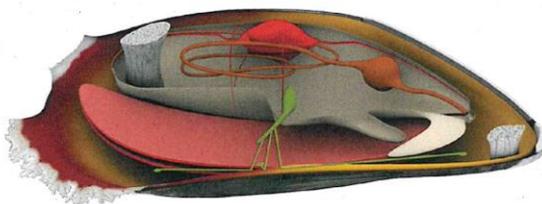
PC/MAC ONLINE



BROWSERANWENDUNG
keine Installation
notwendig

LOGIN www.mytilus.baltic-reef.de
Benutzername Tester
Passwort mytilus

SEK I UND II
MYTILUS - Die Miesmuschel
interaktive Lernanwendung im Unterricht



MYTILUS ist eine Lernanwendung. Speziell für den Gebrauch an Schulrechnern konzipiert kann sie im Unterricht zum Einsatz kommen.

ONLINE ist die Lernanwendung jederzeit in jedem Internetbrowser abrufbar und bedarf keiner Softwareinstallation!

EINFACH und benutzerfreundlich gestaltet kann die Anwendung von SchülerInnen und LehrerInnen ohne spezielle Computer-Vorkenntnisse sofort bedient werden.

AUDIOVISUELL werden die Inhalte durch anschauliche 3D-Animationen und spektakuläre Realaufnahmen vermittelt.

SPIELERISCH können sich die SchülerInnen untereinander messen. Darüber hinaus können Wissens-Wettbewerbe zwischen Klassen und Schulen organisiert werden.

DIDAKTISCH aufbereitet und mit Multimediatechnologie umgesetzt bildet dieses Zusammenspiel eine ganz besondere Lernumgebung für den Schulunterricht.

Adressatenempfehlung:	6. - 12. Klasse (SEK I UND II)
Sachgebiet:	Biologie - Zoologie - Wirbellose - Weichtiere
Thema:	Miesmuschel
Inhalt:	äußerer & innerer Bau, Ernährung, Atmung
Medienart:	Film, interaktive Lernanwendung, Arbeitsblätter
Sprache:	Deutsch
Filmlänge:	10 min

GEFÖRDERT DURCH Europäischen Fischereifonds (EFF) der Europäischen Union und das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern

KOORDINATION Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV - Institut für Fischerei

KONTAKT www.baltic-reef.de
mytilus@baltic-reef.de
+49 173 826 4412

LOGIN www.mytilus.baltic-reef.de
Benutzername Tester
Passwort mytilus

Abb. 9: Arbeitsblatt der Lernplattform „Mytilus“ (Graphik: style-KÜSTE).



Abb. 10: Fischfalle (Foto: U. Friedrich).

Die Wiederfangrate entsprach den Erwartungen aus Vorversuchen, aber mit dem Wiederfang von 90 % in der Falle, in der die Markierung erfolgte, war nicht zu rechnen. Es konnte kein Wanderverhalten erkannt und damit auch nicht bestimmt werden. Andererseits wurde erstmalig eine sehr hohe Rückkehrate, international auch als Homing bezeichnet, von Dorschen nachgewiesen. Trotz seiner ausgedehnten Wanderwege zum Laichen oder zur Nahrungssuche ist der Dorsch standorttreu. Daraus wurde geschlussfolgert, dass das Abwandern der Jungdorsche schon vor dem Erreichen des ersten Lebensjahres erfolgen muss. Mit den Fischfallen können nur Dorsche ab einer Länge von 25 cm, also einjährige oder ältere Tiere, gefangen werden. Die Fallen haben eine Maschenweite von 24 mm und die Jungdorsche können durch die Maschen entweichen. Daher werden bei den zurzeit laufenden Arbeiten, die im Oktober 2022 abgeschlossen werden sollen, parallel zu den Fischfallen Multimaschennetze, die auch die 0-Gruppe der Dorsche erfassen, eingesetzt.

Eine flächenbezogene Auswirkung der Riffe lässt sich momentan nur an den Fangmengen in den einzelnen Fischfallen (Abb. 11) beschreiben, ohne dass das Abwandern der Jungdorsche nachgewiesen wurde und das Riff dafür als das Ursächliche bestimmt zu haben.

Falle 8 steht am Riff NIENHAGEN und Falle 15 am Riff ROSENORT. An den Riffen selbst wird wenig Dorsch gefangen, da die Fallen in den Riffstrukturen von den Dorschen als nicht so attraktiv angesehen werden. Bestätigt wird diese Annahme durch die in westlicher Richtung bis zu Falle 1 nicht so ausgeprägter Zunahme der Fänge. Im Westen ist der Meeresboden zwar sandig, aber mit Block- und Steinfeldern belegt. Richtung Osten ist der Meeresboden sandig und nur ganz vereinzelt mit Steinen belegt. So ist am Standort ROSENORT in westliche und östliche Richtung nach doppelter bis dreifacher Fangmenge eine gleichmäßige Abnahme der Fänge mit

größerer Entfernung vom Riff zu verzeichnen. Am Riff NIENHAGEN ist das nur in östlicher Richtung so ausgeprägt. Die Flächenwirkung kann mit ca. 3 Seemeilen in West- sowie in Ostrichtung beziffert werden.

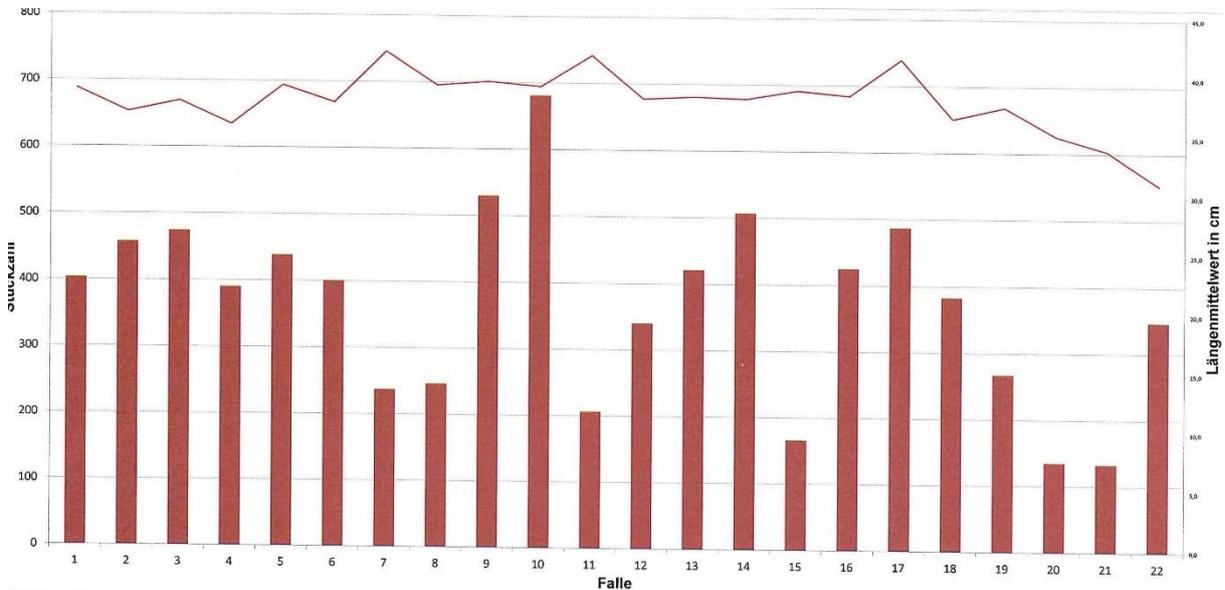


Abb. 11: Dorschfänge 2016 bis 2018.

5 Aussichten

Mit dem 2018 bereits erbrachten Nachweis des Homings und damit der Standorttreue der Dorsche, kann jetzt schon festgestellt werden, dass mit dem Einbau von Hartsubstrat in die Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns westlich der Darßer Schwelle eine Bestandsmanagementmaßnahme für diese Fischart gefunden wurde. Andere derzeit praktizierte Vorgehensweisen wie Quotierungen, Fangverbote oder Mindestmaßfestlegungen sind zeitlich begrenzt wirkende Maßnahmen. Riffe dagegen wirken solange, wie es das Ökosystem OSTSEE geben wird. Sie sind darüber hinaus Schutzraum, Fluchraum, marines Klärwerk, Nahrungsproduzent und -spender sowie die Spots für Angler und Taucher und damit aber auch ein ökologischer wirtschaftlicherer Faktor für das Land Mecklenburg-Vorpommern. Der Nutzen von Riffen ist nachhaltig. Mit dem geplanten Einbau eines Steinfeldes bei Dierhagen sollen noch in dieser Projektphase die Annahmen und Voraussagen in Bezug auf die Flächenwirkung von Riffen bestätigt werden.

Literatur

- Krüger, O., Schulz, N. & Steinfurth, P., 2015. Untersuchungen zu den Fischbeständen im Riff Nienhagen und im Referenzgebiet Börgerende in den Jahren 2009 bis 2015.
- Sandrock, S., Scharf, E. & Hennig, J., 2015. Bewuchsuntersuchungen an den Standorten Riff Nienhagen und Riff Rosenort.

Gerd NIEDZWIEDZ¹, Dirk SCHORIES^{2,3}

¹ Universität Rostock, Forschungstauchzentrum (FTZ), 18059 Rostock

² Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

³ DLR Projektträger, Heinrich-Konen-Straße 1, D-53227 Bonn, Germany

gerd.niedzwiedz@uni-rostock.de

dirk.schories@gmx.de

Georeferenzierung von Unterwasserdaten: Iststand und Perspektiven

Zusammenfassung

Für jede wissenschaftliche Feldarbeit ist die genaue Angabe des Arbeitsortes für Messungen und/oder Probennahme absolut notwendig. Bei Taucharbeiten ist aber die Orientierung unter Wasser gerade bei mäßiger Sicht nicht immer einfach. Sie findet zudem nicht nur 2-dimensional statt. Die 3. Dimension, die Tiefe, spielt eine bedeutende Rolle. Innerhalb weniger Tiefenmeter ändern sich physikalische Parameter wie Druck, Helligkeit oder Temperatur im Wasser gravierend und dem entsprechend die hier zu beobachtende Flora und Fauna. Ein Unterwasserfoto, welches seinem geografischen Aufnahmeort, der Tiefe und anderen Umgebungsparametern nicht zugeordnet werden kann, ist u. U. nur von geringem wissenschaftlichem Wert. Die klassischen Verfahren bei der UW-Orientierung durch Taucher verlangen viel Erfahrung und führen nur bedingt zu befriedigenden Ergebnissen bei der Georeferenzierung von Daten. Moderne Navigationssysteme basierend auf GPS versagen unter Wasser physikalisch bedingt. Es gibt eine Reihe von Verfahren und inzwischen auch technische Hilfsmittel, um Abhilfe zu schaffen. Im Vortrag wird versucht diese einzuordnen und auf ihre praktische Einsetzbarkeit hin zu bewerten. Dabei wird auch der erreichte Stand eigener Entwicklungen dargestellt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Forschungstauchen, Unterwasserorientierung, GPS, Georeferenzierung, Positionsgenauigkeit, Datenqualität, Dokumentation

Underwater-Georeferencing: State of the art, trends and perspectives

Abstract

For any scientific field work the exact indication of the place of work for measurements and/or sampling is absolutely necessary. When diving, however, the orientation under water is not always easy, especially with moderate visibility. It's not just 2-dimensional. The third dimension, the depth, plays a significant role. Within a few meters of depth, physical parameters such as pressure, brightness or temperature in the water drastically change and accordingly the flora and fauna observed here. An underwater photo that can not be assigned to its geographic location, depth, and other environmental parameters may be only of little scientific value. The classical procedures for the UW orientation by divers require a lot of experience and lead to only partially satisfactory results in the georeferencing of data. Modern navigation systems based on GPS fail physically under water. There are a number of procedures and now also technical aids that can help. The lecture attempts to classify these and evaluate their practical applicability. At the same time the level of own developments achieved is presented and discussed.

Keywords: *Scientific diving, underwater orientation, GPS, georeferencing, position accuracy, data quality, documentation*

1 Einführung

Forschungstauchen ist eine spezielle Form wissenschaftlicher Feldarbeit. Ohne exakte Definition des Untersuchungsortes würde allerdings ein wesentliches Qualitätsmerkmal dieser Feldarbeit fehlen. Beim Tauchen ist es wie bei der Seefahrt: für die Bezeichnung der Tauchstelle auf See werden meist deren geografische Koordinaten verwendet, weil eine Ortsbezeichnung im Sinne von "Seegebiet" zu ungenau ist. Die Vergabe von Namen für touristische Tauchspots wie bspw. "Sharkbay" dient anderen Zwecken und hat nicht das Ziel, Untersuchungsgebiete möglichst exakt für die wissenschaftliche Bearbeitung durch Taucher zu identifizieren.

Dem Taucher stehen unter Wasser in der Regel nur eingeschränkte Navigationsmittel zur Verfügung. Von der UW-Orientierung anhand natürlicher Merkmale (markante Bodenstrukturen, Pflanzenwuchs, Wassertiefe, Sonnenstand) mal abgesehen hat der Taucher in der Regel nur den UW-Kompass. Doch selbst erfahrene Taucher verfehlen damit angepeilte Ziele in den meisten Fällen. So haben viele der handelsüblichen UW-Kompassse eine Aufteilung der Kompassrose von 10°, einige wenige liegen bei 5°. Der magnetische Kompasszeiger muss gerade unter Wasser bei schlechten Sichtverhältnissen gut erkennbar sein, so dass der ablesbare Kompasskurs ohnehin nur mit Genauigkeiten von bestenfalls $\pm 3^\circ$ erkennbar ist. Das führt dann zu einer Abweichung vom Zielpunkt bei 100 m Entfernung von ± 5 m. Meist kommen aber noch eigene Fehler dazu (Verkanten des Kompasses, kurzzeitig höhere Kursdifferenzen mit unzureichender, subjektiv abhängiger Kompensation), so dass in der Realität oft größere Abweichungen auftreten. Bei schlechter Sicht ist ein angepeiltes

Unterwasserziel praktisch kaum zu treffen. Das nächste Problem ist die Frage, wann denn die Zielentfernung abgeschwommen wurde? Ohne weitere Instrumente bleibt nur das Zählen von Flossenschlägen. Das funktioniert mehr oder weniger gut und hängt stark von der Ausrüstung und der Erfahrung des Tauchers ab.

Sollen also für wissenschaftliche Zwecke bspw. für ein Monitoring entlang einer definierten Strecke (bspw. Transekte) UW-Daten erhoben werden ist entweder diese Strecke mittels einer Orientierungsleine zu kennzeichnen oder eine eventuell eingesetzte Taucherplattform an der Wasseroberfläche von Punkt zu Punkt zu verholen. Alle Verfahren verursachen in jedem Fall zusätzlichen Zeitaufwand.

Die Frage nach alternativen UW-Navigationsverfahren ist also naheliegend. Nachfolgend sollen einige prinzipielle Möglichkeiten vorgestellt werden, viele davon sind bereits technisch umgesetzt und am Markt eingeführt bzw. sollen eingeführt werden. Dem künftigen Nutzer dieser Techniken obliegt dann ggf. die Kaufentscheidung anhand einer Kosten-Nutzen-Abschätzung. Die Kostenentwicklung ist aber oft sehr dynamisch, weshalb in diesem Beitrag darauf nicht näher eingegangen wird.

2 Prinzipielles zu globalen Koordinatensystemen

Als geografische Koordinatenvorgabe ist die Angabe von Länge und Breite üblich, die auf der Erdoberfläche jeden Punkt definieren: So wurde über die Erde als näherungsweise Kugel ein Netz von 180 Breitengrade ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$) und 360 Längengrade ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$) gelegt. Entlang $\varphi = 0^\circ$ verläuft der Äquator; bei $\varphi = 90^\circ$ finden wir den Nordpol und entsprechend bei $\varphi = -90^\circ$ den Südpol. Genauere Ortsbestimmungen auf der Erde müssen berücksichtigen, dass die Erde keine ideale Kugel ist und der magnetische nicht mit dem geografischen Pol zusammenfällt. Daraus resultieren Fehler bei der Positionsbestimmung. Diese Fehler spielen natürlich auch bei der Navigation mit dem Kompass eine Rolle, werden aber jetzt eventuell noch durch andere Methoden und Techniken verstärkt, mit der die Position bestimmt (gemessen) wird. Früher war es der Sextant, heute sind es bei GPS-Geräten Laufzeitmessungen von elektromagnetischen Signalen zwischen Satelliten im Weltraum und Empfangsgeräten auf der Erde.

Tauchgebiete sind meist lokal begrenzt, Tauchstrecken und UW-Vermessungen bleiben relativ kleinskalig. Hier würden sich u.U. Koordinatensysteme aus dem Vermessungswesen besser verwenden lassen als das übliche Sexagesimalsystem, welches die Koordinaten auf einer Kugeloberfläche beschreibt. Im Sexagesimalsystem hat ein Grad 60 Minuten und eine Minute 60 Sekunden. Minuten und Sekunden lassen sich in dezimaler Form schreiben. Für den seefahrenden Taucher ist es zumindest nützlich, die Umrechnung von einer in die andere Schreibweise zu kennen (Tab. 1; in GPS-Handhelds ist die Koordinatenschreibweise i. d. R. einstellbar).

Tab. 1: Angaben derselben geografischen Position in unterschiedlicher Schreibweise.

Beispiele: Dez.grad:	Grad°min'sec'' __° __' __''	Grad°min,dezmin' __° __, __'	Bogenmaß [-] = Dez.grad · Pi/180°
54,5°	54°30'00''	54°30,000'	0,95120444
57,12345°	57°07'24,42''	57°07,407'	0,99699228

Für die Berechnung von Distanzen auf der Erdoberfläche kommt immer das aus der Mathematik bekannte Bogenmaß zur Anwendung. Das Bogenmaß ist aus den geometrischen Berechnungen am Kreis bekannt. So ergibt sich der Kreisumfang $U = 2 \cdot \pi \cdot R$ (R = Kreisradius). Ein Kreisbogensegment hat die Länge $S = R \cdot \alpha$ (α = Öffnungswinkel [in Bogenmaß] des Segments) bzw.

$$S = U \cdot \frac{\alpha[-]}{2\pi} \text{ bzw. } S = U \cdot \frac{\alpha[^\circ]}{360^\circ} \quad (1.1)$$

also ist:
$$\alpha[-] = \alpha[^\circ] \cdot \frac{2\pi}{360^\circ} \quad (1.2)$$

Bezogen auf das Gradnetz der Erdoberfläche ist das Bogenmaß einer Minute $1 \text{ min}[-] = 1/60 \cdot \pi/180 = 2,9088821 \cdot 10^{-4}$. Idealisiert man die Erde als Kugel und multipliziert die Bogenminute mit dem Erdradius $R = 6.378.137 \text{ m}$ erhält man eine Distanz (Länge des Kreisbogensegments) von 1855 m. Mit anderen Worten: Die Bogenminute auf einem Großkreis entspricht also der Entfernung von 1 Seemeile. Damit ist klar, warum die mit dem Stechzirkel auf einer Seekarte abgegriffene Entfernung mit den Bogenminuten an der rechten Blattkante, also am Längengrad, referenziert wird, um dadurch die Umrechnung einer Distanz in Seemeilen vornehmen zu können. Weiter wird deutlich, welche Bedeutung die Kommastelle bei den Positionsangaben auf deren Genauigkeit hat. Nachfolgende Tabelle 2 ordnet 1/10 Grad, 1/10 Minute, 1/10 Sekunde und 1/10 des Bogenmaßes die entsprechende Distanz auf einem Großkreis zu.

Tab. 2: Fehlerquelle: Kommastelle

0,1° Grad = 1 dezgrad	0,1 min = 1 dezmin	0,1 sek.	0,1 [rad] =
11 131,9 m	185,5 m (= 1 Kabellänge)	3,09 m	0,1 rad = 5,73° ≈ 637 813,69 m

Eine Positionsgenauigkeit von 1,8 m wird somit aus rein mathematischen Gründen im Koordinatenformat Grad°min,dezmin' erst bei 3 Dezimalstellen in der Minutenangabe erreicht!

Die vollständige geografische Position enthält natürlich auch Angaben, ob sich der Punkt nördlich oder südlich vom Äquator (N, S) und östlich oder westlich (O, E/W) von Greenwich befindet. Üblich ist auch, den Längengrad ggf. mit führenden Nullen zu schreiben, weil dieser dreistellig werden kann. Die korrekte geografische Bezeichnung des Aufstellortes einer Messstation im Gebiet des künstlichen Ostseeriffes vor Nienhagen ist demnach N54°10,491' E011°56,602' bzw. N54°10' 29,4" E011°56' 36,1".

Man sollte noch wissen, dass für die Angabe geografischer Positionen auch andere Koordinatensysteme genutzt werden. Dafür gibt es regionale bzw. historische Gründe. Im deutschsprachigen Raum ist bspw. das Gauss-Krüger-System weit verbreitet (gewesen). Sehr viele amtliche topografische Kartenwerke, insbesondere großer und mittlerer Maßstäbe, bauen auf dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem auf. Inzwischen werden im Rahmen der Internationalisierung diese nationalen Koordinatensysteme durch weltweit einheitliche UTM-Koordinaten ersetzt (UTM = Universal Transverse Mercator = globales Koordinatensystem auf der Erdoberfläche). Die Koordinatentransformationen zwischen diesen Systemen sind aber hier nicht das Thema. Moderne GPS-Handhelds führen diese Umrechnungen inzwischen problemlos aus.

3 Strategien zur Positionsbestimmung des Tauchers

3.1 Physikalische Probleme

Der Taucher befindet sich in einem Medium, in dem bekanntermaßen die Reichweite elektromagnetischer Wellen sehr klein ist. Von Vandyshev wurden Ergebnisse auf <http://www.vfo-magazin.de/2005/06/eindringtiefe-elektromagnetischer-wellen-in-wasser> in Form eines Diagramms publiziert, welches deutlich zeigt, dass elektromagnetische Wellen mit 10 000 KHz, also 10 Mhz gerade mal ca. 20 cm in Seewasser eindringen. Die bekannten Frequenzen von GPS-Signalen (L5: 1176,45 MHz; L2: 1227,60 MHz; L1: 1575,42 MHz) begründen die Annahme, dass sich die Reichweiten dieser Signale unter Wasser nur auf wenige Millimeter beschränkt, also praktisch keine Nutzbarkeit vorhanden ist. Da die Frequenzen der beim europäischen globalen Satellitennavigationssystem Galileo verwendeten Signale ebenfalls durchweg > 1000 MHz sind, ändert sich am Problem nichts Grundlegendes.

Die direkte Nutzung von GPS-Signalen durch Taucher unter Wasser ist somit nicht möglich!

Unter Wasser befindliche Objekte werden heute i. d. R. hydroakustisch geortet. Diese Ortung beinhaltet Entfernung- und Richtungsmessung bezüglich eines Basispunktes. Grundlage dieser Messung sind Schallsignale, also unter Wasser erzeugte Töne einer bestimmten Frequenz. Die Entfernung wird anhand der Zeitdifferenz zwischen Signalabstrahlung und Empfang des reflektierten Signals ermittelt. Dabei spielt die Schallgeschwindigkeit im Wasser eine entscheidende Rolle. Diese ist abhängig vom Druck (Tiefe), Temperatur und Salzgehalt. Sehr oft kommt es im Meer in der Nähe der Wasseroberfläche zu deutlichen Änderungen dieser Parameter. Durchläuft der Schallimpuls Wasserschichten mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten können entsprechende Messfehler bei der Entfernungsbestimmung auftreten. Hinzu kommt, dass es bei einer Schallabstrahlung, die nicht exakt vertikal erfolgt, zu Brechungs- und Reflektionseffekten (Impedanz) kommt, die sich ebenfalls auf die Ortungsgenauigkeit auswirken. Man kann diesen Problemen technisch begegnen bspw. durch Verwenden einer korrigierten Schallgeschwindigkeit bei der Entfernungsberechnung, angepasste Auswahl der Schallsignalfrequenzen und durch Anzahl, Anordnung und Größe der Sonarschwinger. Diese technischen Lösungen sind jedoch mehr oder weniger kostenintensiv bzw. verlangen eine vorher auszuführende physikalische Analyse des Wasserkörpers.

3.2 Tauchernavigation unter Wasser

Wie bereits erläutert stellt die UW-Navigation mit Instrumenten (Kompass) eine sinnvolle bzw. in vielen Fällen sogar zu favorisierende Hilfestellung bei der UW-Orientierung des Tauchers dar. Zur Positionsbestimmung wird aber zunehmend auch auf hydroakustische und Trägheits navigationsverfahren verwiesen.

Bei Forschungstaucherarbeiten sollte die geografische Position des Untersuchungsortes, wenn möglich, durch die Angabe der Wassertiefe ergänzt werden, in der Messdaten, Fotos oder Videos entstanden sind. Damit sind diese Daten dreidimensional georeferenziert. Die vom GPS-Gerät mitgeteilte geografische Höhe bezieht sich immer nur auf die Höhe des Gewässers, in dem getaucht wird. Neben dem GPS-Handheld zur Bestimmung von geogr. Breite und Länge ist also auch ein Tiefenmesser erforderlich, der möglichst zeitabhängig die Tauchtiefe speichert – also am Besten ein auslesbarer Tauchcomputer.

Seit 1985 wird mit Hilfe von 24 Satelliten das NAVSTAR-GPS (=Global Positioning System) als immer noch wichtigstes Ortungs- und Navigationssystem betrieben. Zur Bestimmung von geografischer Position (Länge, Breite) und ellipsoidischer Höhe ist der Signalempfang von mindestens 4 Satelliten erforderlich. Probleme bei der Berechnung der Position entstehen überall dort, wo ein direkter Sichtkontakt zu den Satelliten eingeschränkt ist (bspw. durch hohe Gebäude, Wald, Schiffsaufbauten), das Signal gestört bzw. seine Übertragung be- oder verhindert wird. Beginnend mit dem 1. Mai 2000 verbesserte sich die Ortungsgenauigkeit mit den Standard-Codes auf unter 10 m, weil die bis dahin praktizierte künstliche Signalverzerrung durch das Militär abgeschaltet worden ist. Die Ortungsgenauigkeit lässt sich mit speziellen Methoden (bspw. zusätzliche landgestützte Referenzstationen (dGPS)) in den cm-Bereich und mit Mehrfrequenzverfahren in den mm-Bereich weiter verbessern. Heute handelsübliche mobile GPS-Empfänger (Handhelds) weisen Ortungsgenauigkeiten bei freier Sicht von 3–5 m aus. Es ist zu erwarten, dass mit Einführung neuer Satellitensysteme (bspw. das europäische Navigationssystem Galileo) die Ortungsgenauigkeit evtl. weiter verbessert werden wird. Wie bereits in Punkt 2 erläutert, ist aber bei höherer Ortungsgenauigkeit ein entsprechend angepasstes Datenformat zu verwenden. Die Verwendung von (d)GPS gelingt aber nur oberhalb der Wasseroberfläche. Das GPS-Signal müsste immer transformiert oder zum Taucher transportiert werden, so dass es auch unter Wasser nutzbar ist.

Die GPS-Nutzung ist beim Tauchen nun folgendermaßen möglich:

3.2.1 Stationäre Nutzung

Der Signalempfang erfolgt über Wasser und zwar genau über der einzumessenden UW-Station. Üblicherweise wird die Antenne bzw. das gesamte GPS-Gerät an einer langen Stange montiert, deren unteres Ende vom Taucher platziert wird und deren anderes Ende sich oberhalb der Wasseroberfläche befindet. Der Taucher muss die Stange genau senkrecht halten.

Vorteil:

hohe Ortungsgenauigkeit (liegt im Bereich des GPS-Signalfehlers RGPS); geringer Einsatzaufwand. Bei Verwendung eines dGPS wäre sogar die Vermessung von UW-Strukturen möglich.

Nachteil:

keine aktive Navigation durch den Taucher möglich; Einsatz nur für Wassertiefen < Stangenlänge. Die Stange muss vom Taucher sicher (senkrecht) handelbar sein (Größe, Gewicht, Ablesbarkeit der Libelle).

3.2.2 Geschleppte GPS-Boje

Der Taucher schleppt eine Boje mit

- a) montiertem GPS-Handheld bzw. einem auslesbaren Tracker (Katzenhalsband) oder
- b) einer GPS-Antenne an der Wasseroberfläche.

Vorteil:

Das auf einer Boje am Seil geschleppte Handheld stellt die kostengünstigste und einfachste passive GPS-Nutzung durch Taucher dar. Die spätere Auswertung aufgezeichneter GPS-Tracks erlaubt bereits die Georeferenzierung von Messdaten, Wasserproben, UW-Fotos und -Videos.

Wird als Schleppmittel ein HF-taugliches Kabel mit ausreichender Zugfestigkeit eingesetzt, ist es zudem möglich, ein vom Taucher geführtes, wasserdicht eingeschlossenes GPS-Handheld mit der GPS-Empfangsantenne zu verbinden und dem Taucher damit ein aktiv nutzbares Navigationssystem während seines Tauchganges zur Verfügung zu stellen. Damit kann seine UW-Orientierung auch bei schlechten Sichtbedingungen enorm verbessert werden. Bessere UW-Orientierung erhöht immer auch die Sicherheit beim Tauchen.

Nachteil:

Es treten nicht vernachlässigbare Navigationsfehler auf! Die GPS-Boje befindet sich i. d. R. nicht genau über dem Taucher, sondern ist zu dessen Position infolge von Wind- und Wasserströmung horizontal verdriftet. Der Wert dieser Verdriftung C hängt insbesondere von der Länge der Schleppleine (Kabel) S im Verhältnis zur Tauchtiefe WT ab. Er kann ein Mehrfaches des GPS-Signalfehlers R_{GPS} betragen (Abb. 1).

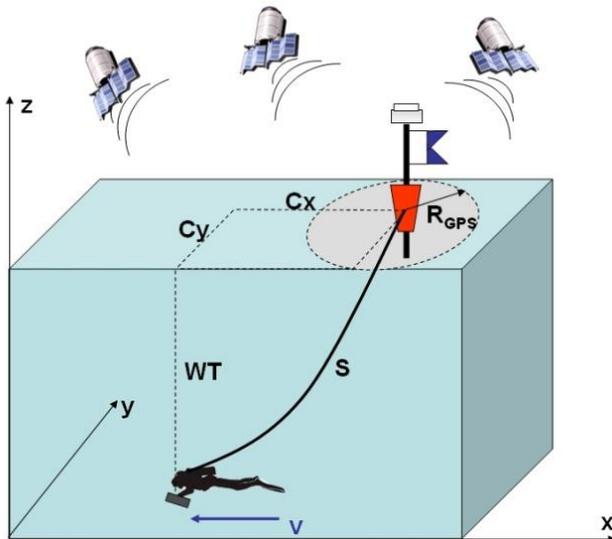


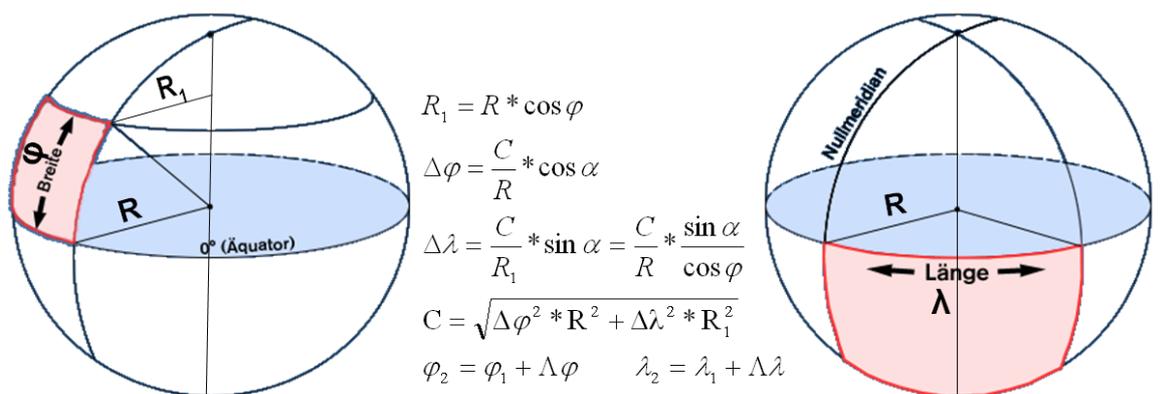
Abb. 1: Taucher schleppt GPS-Boje.

Angenommen, die Krümmung des Schleppkabels ist zu vernachlässigen, so kann mit Hilfe bekannter Rechenregeln bereits am rechtwinkligen Dreieck gezeigt werden, dass bei einer Tauchtiefe (Kathete 1) von 10 m und einer Schleppleinenlänge (Hypotenuse) von $S=12$ m eine näherungsweise Verdriftung (Kathete 2) von ca. $C=6,6$ m bzw. bei $S=13$ m eine Verdriftung von $C=8,3$ m zu erwarten ist. Das ist bereits das 2–3-fache des üblichen GPS-Signalfehlers R_{GPS} auf See.

Es gibt aber Korrekturmöglichkeiten:

- die GPS-Boje wird insbesondere bei der Probennahme oder im Moment des Fotografierens möglichst senkrecht über dem Taucher platziert (straff gehaltenes Kabel). Das Ziel ist, die Verdriftung C auf nahezu 0m zu reduzieren! Das gelingt unter "guten" Bedingungen (geringe Tauchtiefe, keine Wind- oder Wasserströmung, keine Eigenbewegung) ganz gut, insbesondere im Buddyteam, wo sich ein Taucher auf die Beprobung und der 2. Taucher auf die Bojenführung konzentrieren kann. Damit sind die Beprobungsorte später ausreichend genau identifizierbar.
- Der Wert der Verdriftung C und ihre Richtung wird abgeschätzt. Das ist nicht ganz so simpel wie am rechtwinkligen Dreieck gezeigt. Einerseits führen die Kabeleigenschaften (Durchmesser, Gewicht im Wasser) und die hydrodynamische

Belastung zu einer Kabelkrümmung. Die Biegesteifigkeit des Kabels kann i. d. R. vernachlässigt werden. Andererseits ist die Oberflächenboje Wind- und Wasserkraften ausgesetzt. Diese Kräfte stehen mit den hydrodynamischen Kräften auf das UW-Kabel in einem Verhältnis, welches die Richtung der Verdriftung C bzgl. der Taucherposition bestimmt. Hinzu kommt, dass die hydrostatische Auftriebskraft der Boje groß genug sein muss, damit diese aufgrund der hydrodynamischen Abtriebskräfte des Schleppkabels nicht untergeht. Diese Probleme entstehen vor allem dann, wenn der Taucher sich selbst bewegt (Scooterfahren) oder in einer Wasserströmung arbeitet. Es wird hier immer zu einer Verdriftung C kommen. Diese ist dann so gut wie möglich zu ermitteln! Dazu wurden bspw. für die am FTZ der Uni Rostock verwendeten UW-Kabel umfangreiche Variantenrechnungen durchgeführt, so dass der Betrag der Verdriftung C ausreichend genau ermittelbar ist. Die Verdriftungsrichtung muss derzeit öfters noch abgeschätzt werden, wobei in vielen Fällen davon ausgegangen werden kann, dass die Boje hinterhergeschleppt wird, dh. es gilt: Verdriftungsrichtung = Tauchkurs - 180°. Ist die Verdriftung C als Vektor bekannt gelingt es mit dem Inhalt von Abb. 2 und der Formeln (1) die GPS-Position der Antenne auf die der Taucherposition zu korrigieren:



- Bei kleinen Positionsunterschieden sollte vereinfachend in einer Ebene gearbeitet werden können.
- Deren Seitenlängen sind $\Delta \lambda \cdot R_1$ und $\Delta \varphi \cdot R$.
- Die Entfernung zw. P_2 und P_1 ist C;
- Die Richtung von P_1 nach P_2 ist α .

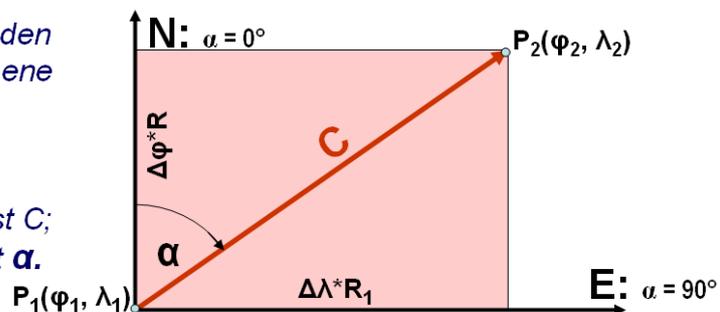


Abb. 2: Korrektur der Antennenposition P1 auf die Taucherposition P2.

Die technische Umsetzung der GPS-Nutzung kann somit relativ einfach erfolgen oder aber auch bereits etwas aufwändiger mit kommerziellem Anspruch. So wurde an der Universität in Valdivia (Chile) bereits 2007 damit begonnen, nach Variante 2a zu verfahren (siehe Abb. 3). Nachdem es gelungen war, einen Hersteller von hochwertigen UW-Foto/Videogehäusen davon zu überzeugen, auch ein UW-Gehäuse für ein GARMIN-GPS 76 zu bauen, konnte die UW-GPS-Nutzung nach Variante 2b gemeinsam mit der Universität Rostock erfolgen. Anfänglich wurde das GPS-Gehäuse vom Taucher noch per Hand geführt. Später gab es bessere Lösungen für die

Unterbringung der UW-Kabel oder auch für kombinierte Montagen von GPS, Video-kamera und zusätzlicher Messsensoren.



Abb. 3: Links: GPS-Einsatz (Variante 2a). Mitte und rechts: GPS-Handheld im UW-Gehäuse (Variante 2b).

Analoge kommerzielle Lösungen (bspw. das Valtamer-UW-Tablett mit GPS-Oberflächenboje; <http://allecoproducts.fi/uns/>) arbeiten prinzipiell genauso, sehen etwas eleganter aus, sind dafür aber teurer in der Anschaffung.

Der scheinbare Vorteil des UW-Tabletts, als modernes Schreibgerät oder gar Fotokamera beim Tauchen verwendbar zu sein, könnte sich aber auch als Problem erweisen. Bei begrenzter Tauchzeit, sind alle UW-Arbeiten möglichst schnell und einfach durchzuführen. Das Verfassen längerer Texte sollte deshalb immer an der Wasseroberfläche erfolgen.

3.2.3 GPS kombiniert mit Trägheitsnavigation

Wiederum ist ein genau einmessbarer Referenzpunkt die Startposition der Tauchstrecke. Die geografische Position der Startposition ist also gegeben. Vereinfacht dargestellt registriert jetzt ein vom Taucher mitgeführtes Gerät mit Hilfe von Trägheitssensoren Beschleunigungskräfte F_x , F_y , F_z , woraus sich die Verschiebung Δs ergibt (Gl. 2.1). Liegen die Beschleunigungswerte (a_x , a_y , a_z) im 3-dimensionalen Koordinatensystem in einem bestimmten Zeitabschnitt Δt vor, lassen sich daraus veränderte Geschwindigkeiten (v_x , v_y , v_z) berechnen und mit den bekannten kinematischen Beziehungen die zurückgelegten Wege (s_x , s_y , s_z) bestimmen:

$$a = \frac{F[N]}{m[kg]} \rightarrow \Delta v = a * \Delta t \rightarrow \Delta s = \frac{1}{2} * a * \Delta t^2 \quad (2.1)$$

Damit kann die räumliche Verlagerung des Gerätes nach einem Zeitschritt Δt berechnet werden – der Kurs wird wie in der Seefahrt gekoppelt. (siehe TAMIN = "Track And Memory Indicated Navigation"; das Gerät war auf www.taminportal.de beschrieben, diese Domain steht inzwischen (Stand 8/2019) aber zum Verkauf).

Wer bereits einmal ein Schiff mit Koppelnavigation, also ohne Landsicht und ohne GPS gesteuert hat, kennt die sich ergebenden Probleme. In der Seefahrt sind die Vorgaben (u. a. Steuerkurs und Geschwindigkeit) genau einzuhalten. Die Kursbestimmung mit Trägheitsnavigation verlangt eine permanent hohe Genauigkeit bei der

Messung der 3-dimensionalen Beschleunigung und eine Datenverarbeitung in Echtzeit. Die zwischenzeitliche Fehlerkorrektur (Abgleich der berechneten mit der GPS-Istposition) ist vorteilhaft und vermutlich auch notwendig. Damit wäre neben der Navigation über die Beschleunigungsaufnehmer zusätzlich also noch ein GPS-Empfänger erforderlich. Eine Arbeitsgruppe an der Fachhochschule Aachen hatte sich genau mit diesem Problem beschäftigt (siehe: <https://idw-online.de/de/news328723>) – lange gab es von dort aber trotz mehrfacher Nachfrage keine weiteren Informationen – Anfang September/2019 dann aber doch noch: die Entwicklung wurde eingestellt! Als Fazit ist zu vermuten, dass ein hoher Entwicklungs- und dann technischer Aufwand entsteht, der sich in den Kosten des Systems niederschlagen wird. Anfangs geweckte Erwartungen wurden nicht erfüllt. Eigentlich ist das schade, weil die Idee an sich sehr viel Potenzial enthält.

Vielleicht deshalb hat man an diesem System aber anderswo weitergearbeitet. Auf der Düsseldorfer Messe BOOT'2016 stellte die finnische Firma ARIADNA-Tech ein Gerät vor, welches in der Lage sein soll, drahtlos den Taucher unter Wasser navigieren zu lassen. Die Markteinführung sollte ursprünglich 2017 erfolgen, auf der Internetseite <http://ariadna.tech/> wurden aber ebenfalls Terminverschiebungen angekündigt. Aus den Beschreibungen lässt sich vermuten, dass auch hier das Prinzip der Trägheitsnavigation verwendet worden ist.

3.2.4 GPS kombiniert mit Hydroakustik (Richtungsortung)

An der Wasseroberfläche empfangene GPS-Signale werden benutzt, um ausgehend von diesen genau eingemessenen Referenzpunkten die Position des Tauchers über eine hydroakustische Ortung (drahtlos) zu bestimmen. Hier gibt es verschiedene Varianten. Eine davon wird bspw. beim Easy-Track technisch umgesetzt (Abb. 4). Dieses System könnte vom Taucher auch aktiv für seine UW-Navigation benutzt werden.

Vorteil:

Der Taucher bleibt „freihändig“ für andere Arbeiten verwendbar

Nachteil:

Ein deutlich höherer finanzieller Investitionsaufwand und u. U. Mehraufwand zur Installation und zum Betrieb der Anlage. Die Fehler bei einer hydroakustischen Entfernungsmessung steigen bekanntlich mit größer werdendem Signalweg; sie sind zudem abhängig von Einflussgrößen auf die Schallgeschwindigkeit (Temperatur, Salzgehalt), die sich über den Signalweg (manchmal deutlich) ändern können!

Eine weiterentwickelte Variante dieses Navigationsprinzips finden wir in dem extra für Taucher entwickelten System NAVIMATE™ (Quelle: www.navimate.com). Hier werden ebenfalls über ein Einweg-Signal dem Taucher eigene Positionsdaten und die seiner Buddies mitgeteilt. Die Information erscheint auf einem "Wrist unit" – einem am Handgelenk zu tragendem Display, ähnlich aussehend wie das eines Tauchcomputers. Auf der Web-Seite von NAVIMATE wird von der Markteinführung 2019 gesprochen. Anfragen an den Hersteller wurden leider bislang nicht beantwortet. So ist bspw. nicht bekannt, ob von Navimate die abgeschwommene Tauchstrecke aufgezeichnet wird (analog zu einem GPS-Track) und eine nachfolgende Georeferenzierung von Daten, Fotos und Videos erlaubt.

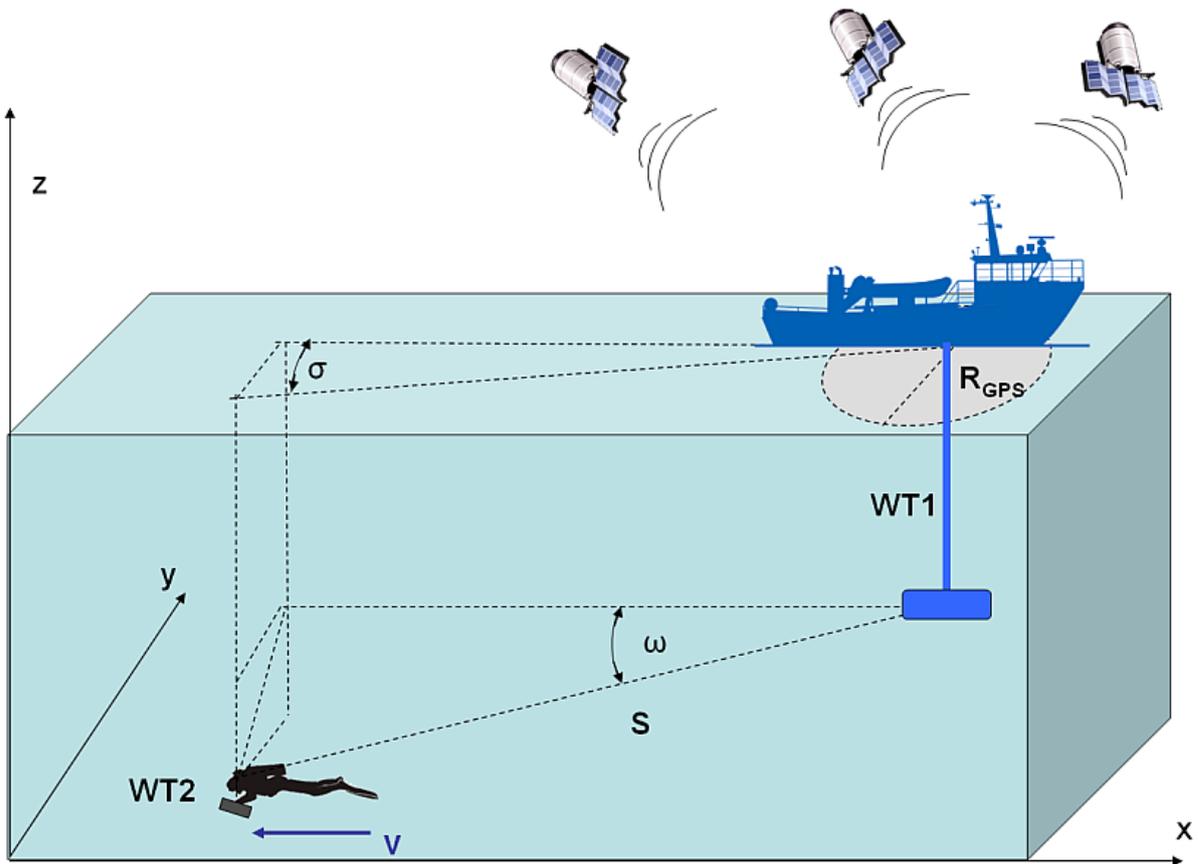


Abb. 4: Das Easy-Track-System (Quelle: www.appliedacoustics.com).

3.2.5 GPS kombiniert mit Hydroakustik (Entfernungsmessung)

Dem letzten System, welches hier der Vollständigkeit halber besprochen werden soll, liegt eine Idee zugrunde, die Friedrich Balck von der TU-Clausthal-Zellerfeld auf einem Forschungstauchersymposium bereits im Jahr 2000 vorstellte. Er sprach dort über "Vermessungsmethoden für den Flachwasserbereich". Genau genommen handelt es sich um die Verlagerung des Prinzips der GPS-Ortung an der Erdoberfläche in den Unterwasserbereich. Für die Entfernungsmessung (sonst zwischen Satellit (Signalquelle) und dem Empfänger auf der Erdoberfläche) erfolgte hier nicht über elektromagnetische Signale, sondern erst einmal einfach über 3 abspulbare Leinen, deren Längen R_1 , R_2 , R_3 permanent gemessen werden – also rein mechanisch.

Es wurden an 3 definierten Orten A, B, C Seilspulen aufgestellt, die in der Lage sein sollten, die Länge (R_1 , R_2 , R_3) ihres abgespulten Seiles zu messen und beim Nachlassen der Seilzugkraft dieses wieder aufzutrommeln (Abb. 5). Die Seilenden wurden miteinander im Punkt D verbunden. Diese Verbindungsstelle ist in bestimmten Grenzen frei verschiebbar, wobei aber gleichzeitig die abgetrommelten Seillängen $R_1 - R_3$ verändert werden. Sind die räumlichen Koordinaten der Orte A, B, C und die abgespulten Seillängen R_1 , R_2 , R_3 genau bekannt lassen sich die 3d-Koordinaten von Punkt D berechnen. D befindet sich nämlich im Schnittpunkt von 3 Kugeln mit dem Radius R_1 um Punkt A, R_2 um Punkt B und R_3 um Punkt C. Die mathematische Herleitung der entsprechenden Gleichungen haben die Autoren des Beitrages selbst einmal vorgenommen und Beispielrechnungen durchgeführt. Die Tests mit einem kleinen Excel-Sheet zeigten plausible Ergebnisse. Nebenbei bemerkt präsentierte der

Ideengeber Friedrich Balck in seiner damaligen Präsentation eigene Ergebnisse aus Objektvermessungen unter Wasser.

Mit Hilfe von GPS und Hydrakustik ist die Methode für das wissenschaftliche Tauchen technisch wie folgt erweiterbar: an den Orten A, B, C werden 3 Bojen platziert und ihre Position z. B. mit (d)GPS genau eingemessen. Damit sind deren räumliche Koordinaten bekannt. An jeder Boje befindet sich eine hydroakustische Sende- und Empfangseinheit zur Messung der Entfernung zum Punkt D – das ist die Position des Tauchers. Mit den bekannten geometrischen Beziehungen lässt sich diese Position jetzt berechnen.

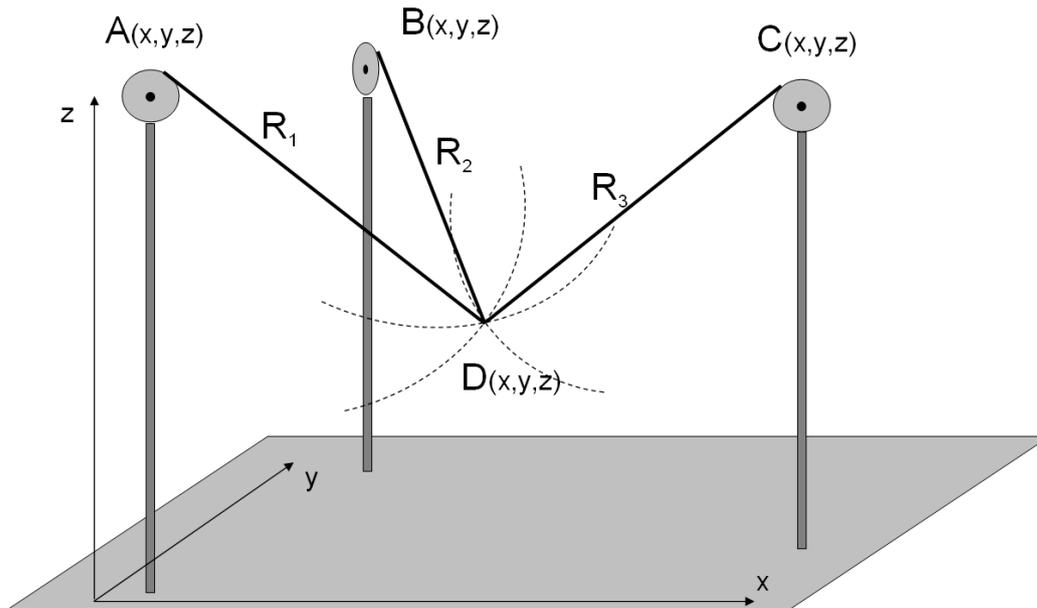


Abb. 5: mechanisches Modell zur räumlichen Messung von Punkten im Raum nach F. Balck.

Vorteile:

Die Koordinatenbestimmung für den Punkt D kann recht genau sein, vorausgesetzt die Messwerte sind fehlerfrei. Je nach betriebenen technischen Aufwand kann das System passiv (nur zur zeitabhängigen Positionsbestimmung) oder zusätzlich noch zur aktiven Navigation durch den Taucher benutzt werden. Sind die Koordinaten für A, B, C bekannt und bleiben unveränderlich, könnte eine sich anschließende Arbeit auch ohne weitere GPS-Nutzung ausgeführt werden! Eine Kabelverbindung zur Wasseroberfläche entfällt.

Nachteile:

Es könnte ein hoher Arbeits- und Zeitaufwand beim Einrichten der Arbeitsstelle für das genaue Einmessen der Eckpunkte A, B, C entstehen. Die Entfernungen zwischen den Eckpunkten sind begrenzt und hängen u. U. stark von den bathymetrischen und hydrologischen Bedingungen am Arbeitsort ab. Auf einige Fehlermöglichkeiten bei hydroakustischer Abstandsmessung wurde ja bereits hingewiesen. Die Strecken AD, BD, CD müssen frei sein von hydroakustischen Hindernissen. Damit wäre das Verfahren in dieser Form wahrscheinlich eher für kleinskalige Vermessungen bzw. Ortung von UW-Objekten geeignet, die sich über einen längeren Zeitraum am

selben Ort hinzieht. Es verlangt einen hohen technischen Aufwand (GPS, Hydroakustik, Kalibrierungen), der sich in den Kosten niederschlagen wird.

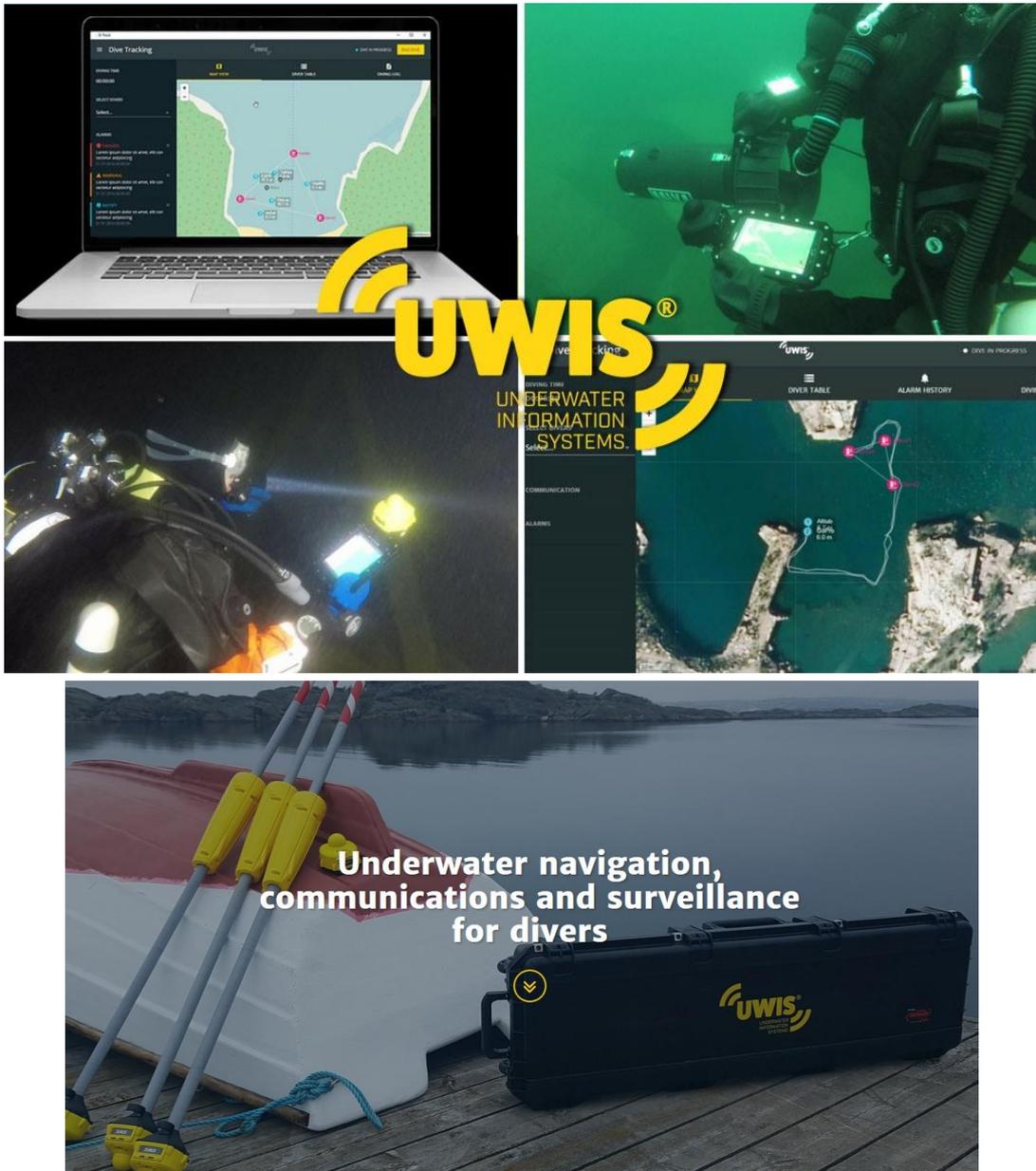


Abb. 6a: Das UWIS-Navigationssystem.

Manchmal entwickeln sich aber die Dinge schneller als erwartet, was zu einer Ergänzung dieser Ausführungen am 23.09.2019 führte. Während einer Weiterbildung für Forschungstaucher in Kristineberg im Sven Loven Centre for Marine Infrastructure 8/2019 durften die Teilnehmer mit Hilfe des in Finnland gebauten UWIS übungshalber navigieren (siehe www.uwis.fi). Das UWIS-Navigationssystem besteht aus 3 an der Wasseroberfläche treibenden Bojen und einem vom Taucher mitgeführten Empfänger (Abb. 6a & b). Die 3 Bojen messen permanent ihre GPS-Position und können so ihre Abstände an der Wasseroberfläche kontinuierlich berechnen. Zusätzlich findet zwischen den 3 Oberflächenbojen und dem Empfänger beim Taucher eine Kommunikation auf hydroakustischer Basis statt. Diese dient der Bestimmung der Abstände



Abb. 7b: Das UWIS-Navigationssystem.

zwischen Taucher und Oberflächenbojen. Damit ist genau die Idee von F. Balck technisch umgesetzt worden. Die treffenden Oberflächenbojen machen das System sehr einfach handelbar. Die o. g. Nachteile zum Einmessen der Oberflächenbojen entfallen. Vom Taucher kann zusätzlich ein UW-Tablett am Empfänger angeschlossen werden, so dass er mit diesem komfortabel interagieren kann. Der finnische Hersteller hebt folgende Merkmale des Navigationssystems hervor:

- bis zu 100 Taucher können gleichzeitig navigieren
- 100 Wegpunkte sind nutzbar
- Aufzeichnung der Tauchdaten: Position, Zeit, Tiefe, Temperatur
- Positionsgenauigkeit: $\pm 2,5$ m
- Tiefengenauigkeit: $\pm 0,1$ m
- max. Tiefe: 100 m; Durchmesser der Arbeitsfläche: 1000 m
- max. Distanz des Computers von der Masterboje: 200 m

Auf der Webseite www.uwis.fi/en/users/scientific-diving wird der besondere Vorteil des UWIS für wissenschaftliche Unterwasserarbeit herausgestellt. Zudem kann die Technik bei Anwendung spezieller Software zusätzlich zur räumlichen Vermessung von Unterwasserobjekten verwendet werden.

4 Zusammenfassung

Die optimale, technisch ausgereifte und gleichzeitig preiswerte Lösung für eine genaue UW-Navigation gibt es derzeit noch nicht. Letztlich ist die verwendete Methode nach folgenden Kriterien auszuwählen, deren Wichtung vom Tauchteam selbst vorzunehmen ist:

- gewünschte bzw. notwendige Genauigkeit bei der Positionsbestimmung und Georeferenzierung von UW-Daten
- Größe des betauchten Gebietes und der dort herrschenden hydrologischen und meteorologischen Bedingungen (Gefahr von Verlust oder Beschädigung)
- Zeitaufwand zur Definition und Kennzeichnung des Untersuchungsgebietes
- verfügbare finanzielle Mittel (Reserven für Ersatzgeräte)
- Reparaturmöglichkeiten am Einsatzort
- Notwendigkeit der flexiblen bzw. mobilen Einsatzfähigkeit der Technik
- Vorhandensein von Schiffen vor Ort
- Möglichkeiten zur Weiterverarbeitung der Navigationsdaten

Im Forschungstauchzentrum an der Universität Rostock wird seit mehr als 10 Jahren nach Variante 2a und 2b gearbeitet (siehe Abb. 3). Die Korrektur der GPS-Position entsprechend der Verfahrensweise in Abb. 2 ist in ein selbst geschriebenes Computerprogramm integriert, welches Daten aus den benutzten Geräten zeitlich synchronisiert und nebenbei auch noch einen Untertitel für Video schreiben kann. Auch für Zeitrafferaufnahmen ist die Erstellung solcher Untertitel möglich. Die jetzt vorhandene Hardware (GPS-Handheld im UW-Gehäuse, montiert auf einem Zeichenbrett oder auf einem Scooter, Antennenkabel zur GPS-Boje bis 50 m Länge) hat sich unter praktischen Anforderungen bewährt. Die Georeferenzierung von UW-Messungen und Beobachtungen kann die Qualität der Ergebnisse aus der UW-Feldarbeit erheblich verbessern und wertet Fotos und Videos entsprechend auf. Die Technik ist inzwischen auch unter zum Teil sehr robusten Bedingungen zum Einsatz gekommen; Beschädigungen waren sehr selten. Die wenigen Ausfälle liessen sich oft bereits am Einsatzort reparieren. Die Technologie mit der GPS-Boje lässt sich mit den DGUV-Regeln für das Forschungstauchen zudem sehr gut in Einklang bringen. Außerdem ist es möglich, die GPS-Navigation mit neuen Tauchtechniken zu kombinieren: so lässt sich ein UW-Scooter mit Hilfe von GPS wesentlich besser navigieren (Abb. 7).

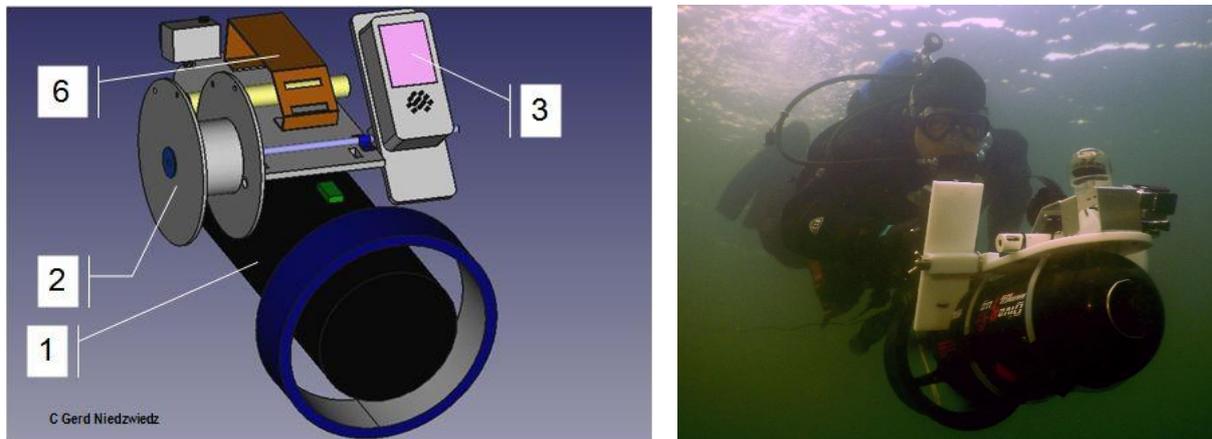


Abb. 8: Scooterkonzept mit GPS-Navigationssystem ergänzt durch UW-Kompass, Videokamera und CTD-Sonde.

Die Fahrstrecke mit UW-Scooter kann 2 – 3-mal länger sein als die abgetauchte Distanz, da der Luftverbrauch deutlich geringer ist. Während der Fahrt wird per Videokamera dokumentiert und mit CTD-Sonde gemessen. So wurden in den letzten Jahren mehrere Taucheinsätze erfolgreich bspw. im Projekt Baltic-TransCoast durchgeführt. Es besteht derzeit nicht unbedingt die Notwendigkeit, andere Navigations-techniken zu verwenden – allerdings durchaus das Interesse, neue Möglichkeiten kennenzulernen und zu testen. Hierbei wäre UWIS eindeutiger Favorit!

Danksagung

Die Autoren möchten sich insbesondere bei Pertti Arvonen von UWIS aus Finnland bedanken, der viele Informationen zum UWIS-Navigationssystem lieferte und die Verwendung firmeneigener Bilder im Artikel erlaubte.

Dirk SCHORIES^{1,2}

¹ Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

² DLR Projektträger, Heinrich-Konen-Straße 1, D-53227 Bonn, Germany

dirk.schories@gmx.de

Ein kurzer Ausschnitt über wissenschaftliches Fotografieren Unterwasser und deren Anwendung

Zusammenfassung

Das wissenschaftliche Fotografieren Unterwasser hat sich seit den 1950er Jahren in rasanter Geschwindigkeit weiterentwickelt, seine Ursprünge liegen aber wesentlich weiter zurück. Viele grundlegende Fragestellungen und die Möglichkeiten Ihrer optischen Umsetzung wurden bereits in den 1960er Jahren angedacht und teilweise erfolgreich umgesetzt. Mit zunehmender Digitalisierung und Automatisierung ist die Verfügbarkeit von Bildaufnahmen für das biologische Monitoring oder für punktgenaue Langzeitbeobachtungen kein beschränkender Faktor, die Herausforderungen liegen vielmehr in der Bildbearbeitung, der Bildverbesserung sowie der Auswertung des Materials. In diesem Artikel wird kurz auf die Historie der Unterwasserfotografie eingegangen, und es werden anhand von frei zugänglicher Software einige Methoden der Bildverbesserung und zur wissenschaftlichen Auswertung vorgestellt.

Schlüsselwörter: *iMARE, CPCe, ImageJ, PhotoQuad*

1 Einleitung

Etwas weniger als 100 Jahre liegt es zurück, dass im National Geographic die ersten Farbaufnahmen von Fischen veröffentlicht worden sind (Longley & Martin, 1927). Was damals eine Sensation war und einer langen Vorbereitungszeit für jede einzelne Aufnahme bedurfte, ist heute eine Sache von wenigen Sekunden. Im Jahr 2010 haben allein die CIPA Unternehmen über 121 Millionen Digitalkameras ausgeliefert (Tenzer, 2019). Seitdem nimmt diese Zahl zwar stetig ab, was aber vor allem daran liegt, dass zunehmend Smartphones eingebaute Kameramodule benutzt werden. Lediglich der Absatz von Action Kameras ist nach wie vor hoch. Viele dieser Kamera-Modelle, insbesondere auch die Action Kameras lassen sich Unterwasser nutzen oder es stehen spezielle bzw. universelle Unterwassergehäuse zur Verfügung.

Trotz der rasanten Entwicklung und der Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten von Digitalkameras darf nicht vergessen werden, dass die physikalischen Gesetze, die

auf die Entstehung des Bildes einwirken, nach wie vor die gleichen sind. Wasser absorbiert unterschiedliche Wellenlängen des Lichts in unterschiedlichem Maße. Die längsten Wellenlängen mit der niedrigsten Energie werden zuerst absorbiert, Lichtstreuung und die Präsenz von Partikeln wirken sich entsprechend auf die Bildqualität aus. Mit verschiedener Bildbearbeitungssoftware kann versucht werden Bildinformationen besser darzustellen. Einige Tools bzw. Algorithmen sind explizit für Unterwasseraufnahmen entwickelt worden, diese werden in diesem Artikel beispielhaft vorgestellt und es wird auf die weiterführende Literatur verwiesen. Selbstverständlich lassen sich Digitalbilder auch mit herkömmlichen Bildbearbeitungsprogrammen verbessern. Allerdings bleibt in diesen Fällen meist unklar, welche Algorithmen der Bearbeitung zugrunde liegen.

Die Erstellung eines Unterwasserfotos für wissenschaftliche Zwecke stellt insbesondere im Flachwasserbereich keinen Kostenfaktor mehr dar. Die wirklichen Kosten, d. h. die einzusetzende Arbeitszeit, beginnt erst mit der Auswertung des Bildmaterials. Der Prozess der Umwandlung von unter Wasser aufgenommenen Bildern in quantitative Daten, die für wissenschaftliche Studien und Managemententscheidungen nützlich sein können, erfordert erheblichen Zeitaufwand. Es wundert daher nicht, dass in Folge dessen entweder nur sehr wenig Bildmaterial ausgewertet wird oder von den Bearbeitern eventuell viel zu viel Material, das dann doch nicht benötigt wird. Detaillierte Versuchsplanung und Automatisierung einiger Arbeitsprozesse können hier den Arbeitsaufwand optimieren. Denn unbestritten sind digitale Bildaufnahmen eines der gebräuchlichsten Werkzeuge zur Charakterisierung der Meeresumwelt und des Meeresbodens. Die richtige Auswahl geeigneter Bildkennzeichnungs-Tools ist daher extrem wichtig, um eine effiziente Bearbeitung des Bildmaterials durchzuführen. Einige der gängigsten Tools werden im nachfolgenden beispielhaft dargestellt.

2 Von den Anfängen bis hin zur Digitalfotografie

Die Geschichte der Unterwasserfotografie begann vor ungefähr 130 Jahren. Louis Boutan, französischer Zoologe und Schiffsingenieur leistete von 1886 bis 1900 Pionierarbeit in der UW-Fotografie (Boutan 1900, Martinez 2014). 1893 gelangen erste Aufnahmen aus 3,5 m bis 11 m Tiefe. Die Belichtungszeiten betragen zwischen 10 und 30 Minuten. Tatsächlich gehen aber die ersten Versuche, mit einer Fotokamera Bilder des Meeresbodens aufzunehmen, auf die 1850er Jahre zurück. Im Februar 1856 führte William Thompson (1822 – 1879) den ersten Versuch durch, eine Fotokamera unter Wasser einzusetzen. Thompsons nahm das erste Bild in Weymouth Bay vor der Südküste Englands an einer Stelle neben einem Felskamm auf, der bei normalen Gezeiten unter der Wasseroberfläche verblieb. Die Kamera, die in einer speziell angefertigten Box aus Holz und Eisen untergebracht war, wurde untergetaucht auf einem Stativ montiert und mit einem Seil gesichert. Bei Thompsons Versuch konnte das Gehäuse mit der Kamera dem Druck allerdings nicht standhalten und wurde mit Salzwasser geflutet, jedoch wurde die Platte vom Salzwasser nur zum Teil zerstört, so dass ein zumindest schwaches Bild erzeugt werden konnte (Thompson 1856).

Eine sehr gute Übersicht mit zahlreichen Abbildungen über diese ersten Jahrzehnte der Unterwasserfotografie bis zum Jahr 1910 gibt Martinez (2014), wobei er darauf hinweist, dass die systematischsten Arbeiten in diesem Bereich von Louis Boutan in Frankreich und Jacob Reighard in den Vereinigten Staaten durchgeführt wurden.

Wenn man sich die frühen Zeichnungen ansieht, die darstellen sollen wie man das Benthos fotografieren könnte, stellt man fest, dass viele heutige Konstruktionen zur Befestigung eines Kameragehäuses auf einem Rahmen sich nur wenig von den damaligen Zeichnungen unterscheiden (Regnard 1891).

Der Meeresbiologe William Longley und der Fotograf Charles Martin machten 1926 im flachen Wasser um die Koralleninseln Dry Tortugas die ersten Unterwasser-Farbfotografien mit einer wasserdichten Kamera. Für die Belichtung der Unterwasser-aufnahmen bei 15 Fuß Wassertiefe verwendeten sie bis zu 0,5 kg Blitzlichtpulver (Magnesiumpulver), das sie auf einem Floss entzündeten (Longley & Martin 1927), eine seinerzeit extrem gefährliche Unternehmung, bei der es aufgrund der ausgelösten Explosion des Magnesiums immer wieder zu Unfällen kam. Longley unterrichtet entsprechend davon.

In den zwei nachfolgenden Jahrzehnten wurden etliche Patente für Unterwasser-aufnahmen gemacht. Bereits 1939 geht Hans Hass in seinem Buch "Jagd unter Wasser mit Harpune und Kamera" auf die Unterwasser-Fotografie ein (Hass 1939), aber breiteren Einzug in die biologische Forschung erzielte die Unterwasserfotografie erst Ende der 1940er Jahre. Bereits 1948 wurden auf der ATLANTIS-Expedition 151 ein Foto des Meeresbodens in 5500 m Wassertiefe aufgenommen (Pollak et al., 1948). Jacques-Yves Cousteau und Hans Hass stießen mit ihren frühen Film- und Fotoaufnahmen auf ein breites Interesse in der Öffentlichkeit, für ihre Filmproduktionen erhielten beide einen Oscar.

Die rasante Entwicklung der Unterwasser-Fotografie begann aber erst um 1950 als die Firma Beuchat das von Henry Broussard entwickelte erste kommerzielle Unterwassergehäuse auf den Markt brachte. Die Firma Franke & Heidecke entschloss sich in enger Zusammenarbeit mit Hans Hass zur Entwicklung eines Unterwassergehäuses für eine Mittelformatkamera, der Rolleimarin, das bis in die 1970er vertrieben wurde. Der Durchbruch kam dann um 1957 als der belgische Ingenieur Jean de Wouters, ein früheres Mitglied von Jacques-Yves Cousteau CALYPSO Mannschaft, eine Unterwasserkamera mit dem Namen Calypso-Phot entwickelte. Die Calypso-Phot ist insofern bemerkenswert, als sie die einzige Kamera ist, deren Rechte jemals von Nikon aufgekauft und als eigene Kamera unter der Produktbezeichnung Nikonos ab 1963 in Japan in Produktion genommen wurde und bis 2001 weiterentwickelt wurde. Für den Flachwasserbereich sei vor allem auf die verschiedenen Arbeiten und Innovationen von Rupert Riedl in den 1960er Jahren hingewiesen (Riedl 1967).

Seit Anfang der 1990er gibt es für diverse verschiedene Spiegelreflex- und Kleinbildkameras spezielle Unterwasser-Gehäuse. Mit dem Aufkommen von Digitalkameras wurden für viele gängige Modelle Gehäuse für die Unterwasserfotografie produziert oder sie wurden bereits so konstruiert, dass sie selbst einem Wasserdruck von mehreren Metern standhalten konnten. Die Grundlagen zur Digitalfotografie wurden bereits 1975 gesetzt. In dem Jahr konstruierte Steven J. Sasson mit seinem Team für die Firma Kodak den ersten Prototypen einer Digitalkamera, die einen CCD Sensor mit 100 × 100 Pixel von Fairchild verwendete, etwas mehr als 10 Jahre später hatte Kodak bereits einen Sensor mit 1,4 Millionen Pixeln entwickelt. Die erste im Handel erhältliche Digitalkamera war wahrscheinlich die MegaVision Tessera im Jahr 1987, während die erste tragbare Kamera, die 1989 in Japan verkaufte DS-X von Fuji war (Fossum & Hondongwa 2014).

Heutzutage kann man zwischen hunderten von Modellen wählen, Spiegelreflexkameras, spiegellose Kameras, Kompaktkameras und Action Kameras. Damit ergeben sich für die wissenschaftliche Forschung unzählige Anwendungsmöglichkeiten.

Welches das richtige Modell ist, hängt aber im Wesentlichen von der wissenschaftlichen Fragestellung ab, denn letztendlich ist die Kamera nicht mehr als Mittel zum Zweck. Gerade in den von luftversorgten Tauchern zu erreichenden Tiefen, gibt es zahlreiche kostengünstige Modelle, die für eine Dokumentation, ein UW-Monitoring oder mehrstündige Zeitraffer-Analysen geeignet sind. So lagen die Gerätekosten bei den von Schories et al. (2020) erstellten Zeitraffer-Aufnahmen in der Antarktis bei unter 300 €.

Prinzipiell muss unterschieden werden, welche Methodik es einem einerseits erlaubt die bestmögliche bzw. minimal notwendige Bildqualität zu erzeugen, um die gewünschten Bildinformationen noch auswerten zu können und andererseits welche Strategie zu treffen ist, um die notwendige Bildmenge für die Analyse von Experimenten oder Monitoring festzulegen. Die Vorabanalyse beider Aspekte ist vor dem Einsatz und der Auswahl digitaler Medien Unterwasser wichtig.

3 Methoden der Bildverbesserung

Lichtabsorption, Streuung sowie Schwebeteilchen sind die Hauptursachen für die teilweise nur bedingt aussagekräftigen Resultate bei Unterwasser-Bildern. Wenn man nicht gerade im Makrobereich fotografiert, zeigen Fotos fast immer einen Farbstich, z. B. eine grün-bläuliche Farbe, der durch die unterschiedliche Attenuationsverhältnisse von rotem, grünem und blauem Licht verursacht wird.

In der Online-Datenbank Fishbase kann man sich die verschiedenen Lichtverhältnisse und die entsprechende Farbwahrnehmung mit zunehmender Tiefe simulieren lassen (Lai & Christensen 2020). Gerade bei dem für den Menschen sichtbaren langwelligen Licht um 700 nm ist dies bereits nach wenigen Metern deutlich wahrnehmbar (Abb. 1).

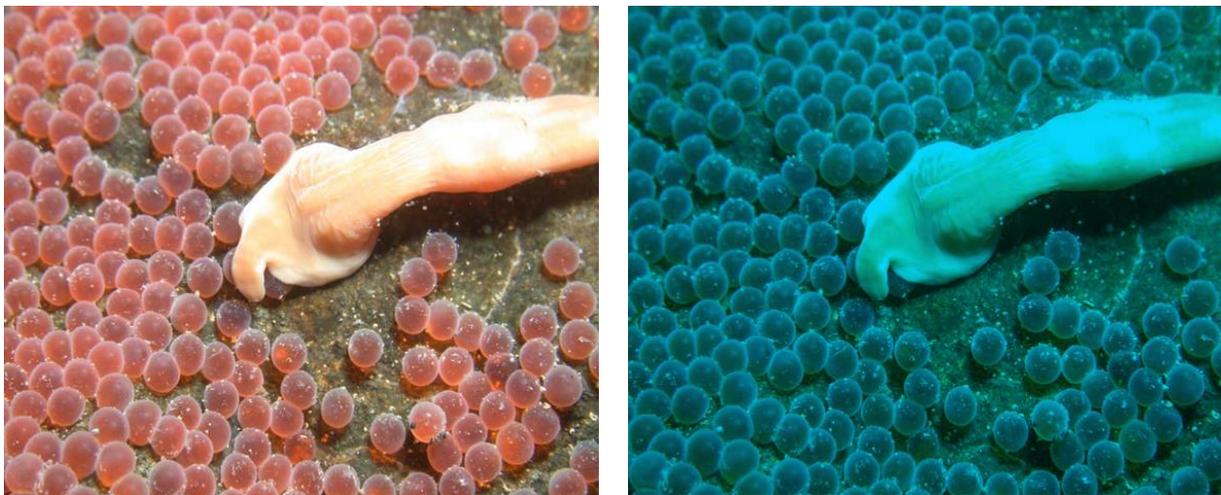


Abb. 1: Simulation der Attenuationsverhältnisse zwischen Wasseroberfläche und 5m Wassertiefe bei einer eigenen in Fishbase eingestellten Aufnahme.

Zudem absorbieren die unter Wasser suspendierten Partikel den weitaus größten Teil der Lichtenergie und ändern die Richtung des Lichts, bevor das von der Unterwasserszene reflektierte Licht die Kamera erreicht. Dies resultiert dann in der Regel in

kontrastarmen und unscharfen Bildern. Um die Qualität und Reichweite der Unterwasseraufnahmen zu erhöhen, werden daher häufig künstliche Lichtquellen wie Blitzgeräte oder Lampen verwendet. Doch genauso wie natürliches Licht wird auch Kunstlicht durch Absorption und Streuung beeinträchtigt. Gleichzeitig wird eine ungleichmäßige Beleuchtung eingeführt, die je nach Entfernung zu Objekt häufig zu einer zu hellen Bildmitte und unzureichender Belichtung an den Bildrändern führt. Ein weiteres Problem sind entstehende Schatten in dem Bild. Die Extraktion von höchstmöglicher Bildinformation erfordert daher effektive Methoden zur Korrektur von Farben, zur Verbesserung der Klarheit und zur Behebung von Unschärfe und Hintergrundstreuung. Dies ist das wesentliche Ziel von Algorithmen, die der Bildverbesserung dienen. Hier die richtigen auszuwählen ist aufgrund der komplexen Verhältnisse Unterwasser extrem schwierig.

Eine gute Übersicht, basierend auf experimentellen Ansätzen, über Bildverbesserungs- und Bildwiederherstellungsmethoden für Unterwasseraufnahmen ist bei Wang et al. (2019) zu finden. Innerhalb des von HORIZON 2020 geförderten iMARE Culture Projekts wurde eine Software entwickelt, die es ermöglicht fünf verschiedene speziell für Unterwasser-Aufnahmen entwickelte Algorithmen anzuwenden und dadurch eine signifikante Verbesserung der Qualität von Unterwasserbildern zu erzielen (Skarlatos et al. 2016, Mangeruga et al. 2018a, Mangeruga et al. 2018b). Folgende Algorithmen kommen bei der Software zur Anwendung:

- (1) Automatic Color Enhancement (ACE) (Getreuer 2012)
- (2) Contrast Limited Automatic Histogram Equalization (CLAHE) (Pizer et al. 1987, Zuiderveld 1994)
- (3) Lab Color Correction (LAB) (Bianco et al. 2015)
- (4) Non-Local Dehazing (NLD) (Berman & Avidan 2016)
- (5) Screened Poisson equation (SP) (Morel et al. 2014)

Wie unterschiedlich sich die Algorithmen auf das Ursprungsbild auswirken ist in Abb. 2 für ACE, CLAHE, LAB und SPE dargestellt.

4 Bildanalyse

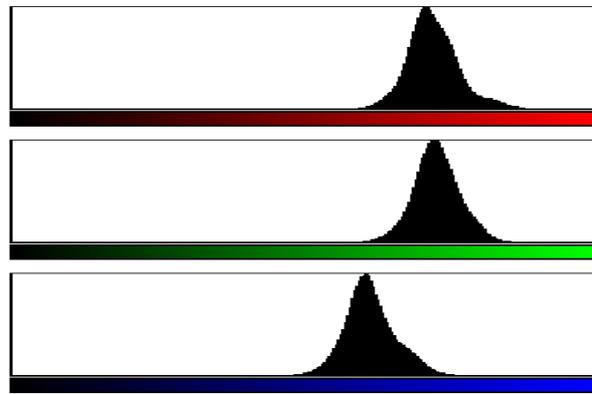
Die Notwendigkeit, die große Anzahl von Bilddaten, die bei Monitoring- oder anderen Aktivitäten entstehen, adequat auszuwerten, hat dazu geführt, dass eine ganze Reihe von Auswertungstools entwickelt worden sind. Gomes-Pereira et al. (2016) haben insgesamt 23 verschiedene zur Verfügung stehende Tools auf ihre praktische Anwendbarkeit und Funktionalität miteinander verglichen und die Stärken und Schwächen der verschiedenen Software analysiert. Ayroza et al. (2015) haben eine geringere Auswahl an Auswertetools für Korallenriffe miteinander verglichen. Einige dieser Werkzeuge sind hervorragend geeignet, um die Biodiversität des Benthos zu erfassen und Habitate miteinander zu vergleichen und stehen kostenfrei zum Download zur Verfügung oder sind auf Anfrage erhältlich. Da die wesentlichen Details bei Gomes-Pereira et al. (2016) aufgeführt werden, wird an dieser Stelle nur exemplarisch auf drei Beispiele hingewiesen, die offline zur Verfügung stehen und für Benthos-Kartierungen weit verbreitet sind sowie bei eigenen Untersuchungen zur

Anwendung kamen. Hingewiesen werden soll aber zumindest noch auf die web-basierte Anwendung BIIGLE 2.0 (Langenkämper et al. 2017, Biodata Mining Group 2020).

A Original – Image input



B R mean 185, G mean 186, B mean 157



C ACE; Alpha = 5



D CLAHE; Clip limit 0.20, Tile grid size 008



E LCC



F SPE; Lambda: 0.0001; Saturation 0,20



Abb. 2: Bildverbesserung am Beispiel ausgewählter Algorithmen. A Originalbild; B RGB Spektrum des unveränderten Originalbildes, C Automatic Color Enhancement; D Contrast Limited Automatic Histogram Equalization; E Lab Color Correction; F Screened Poisson equation. Die verwendeten Einstellfaktoren sind jeweils oberhalb des Bildes angegeben.

CPCe 4.1 (Coral Point Count mit Excel-Erweiterungen) ist ein Programm, das es erlaubt Bedeckungsgrade vom Epibenthos zu ermitteln (Kohler & Gill 2006). Das Programm kann zudem zur Bildkalibrierung und Flächenanalyse von benthischen Gemeinschaften verwendet werden. Es berechnet Abdeckungsstatistiken wie relative

Abundanz, Mittelwert, Standardabweichung, Standardfehler und den „Shannon-Wiener-Index, die automatisch sortiert an Excel-Arbeitsblätter gesendet werden. Ursprünglich wurde es für die Artenzusammensetzung in Korallenriffen entwickelt. Damit der Export der Daten in EXCEL funktioniert, ist darauf zu achten, dass man auf dem Rechner eine US-amerikanische Tastaturbelegung auswählt, bzw. eine, die anstatt des Kommas einen Punkt für die Nachkommastellen benutzt. Die Erstellung eigener Artentabellen, die von CPCE gelesen werden können, ist etwas mühsam.

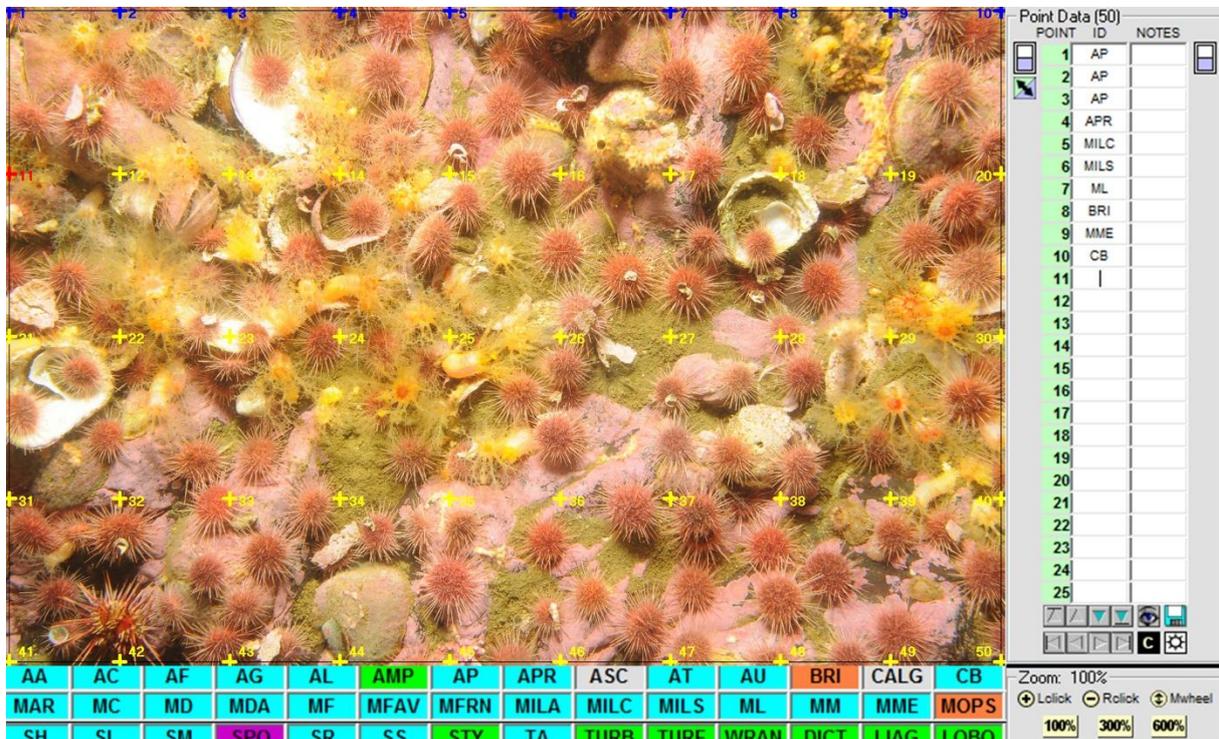


Abb. 3: Leicht modifizierte Bildmaske von CPCe 4.1. In diesem Beispiel wurden die Bildpunkte in regelmäßigen Abständen über das Bild verteilt. Unterhalb des Bildes sind die Akronyme von Benthos-Arten gelistet, die automatisch per Mausklick rechts in die Tabelle eingetragen werden.

Einer wirklich wichtigen Frage, die aber bei vielen Untersuchungen und nachfolgenden Publikationen außer Acht gelassen wird, wurde von Pante & Dustan (2012) aufgegriffen. Die Autoren haben die Hypothese getestet, inwiefern die Anzahl der auszuwertenden Bildpunkte von der Bedeckung des Meeresbodens durch das Benthos selbst abhängt. Es erscheint selbstverständlich, dass eine geringere Bedeckung eine höhere Dichte an Bildpunkten für eine verlässliche Aussage erforderlich macht, dennoch wird dieser Aspekt in der Literatur häufig nicht diskutiert. Pante & Dustan (2012) haben insgesamt 23 Studien ausgewertet, die das Programm CPCe benutzt haben, 16 der Studien haben nicht erwähnt auf welcher Grundlage sie die Bildpunkt-Dichte gewählt haben. Es ist offensichtlich, dass man sich gerade bei Langzeit-Aufnahmen darüber im Klaren sein muss, auf welcher Basis man die Anzahl der Photoquadranten bzw. der zu erstellenden Bilder wählt und wie hoch die Bildpunkt-Dichte sein muss, um ein statistisch abgesichertes Ergebnis zu erzielen. Das Problem ist dabei, dass sich die Bedeckungsgrade des Bodens über die Zeit bzw. im Jahresgang ändern können. Natürlich könnte man sich insgesamt an der Anzahl an Bildpunkten orientieren, die bei niedriger Bedeckung notwendig ist, dann würde man aber eventuell zu viel Zeit und Geld investieren, wenn die Bedeckungsgrade sich ändern und man eigentlich nur eine

geringere Anzahl an Bildpunkten zur statistischen Absicherung der Ergebnisse auswerten müsste. Gerade aus wirtschaftlichen Aspekten sind fundierte Vorstudien für die Auswertung von Langzeit-Datenreihen notwendig, werden aber viel zu wenig durchgeführt. Wie die Bildpunkte über den Photoquadranten verteilt werden, ob geklumpt, gleichmäßig verteilt, mit gleichem Abstand oder zufällig verteilt, kann in CPCE vorab ausgewählt werden (Abb. 3).

Eine zweite Entscheidung, die bei Programmen wie CPCE und PhotoQuad getroffen werden muss, ist, wie die Bildpunkte auf dem Quadranten verteilt werden, mit gleichem zueinander Abstand, gleichmäßig verteilt, gruppiert sind oder ganz zufällig. Wie ist also die Stichprobe zu wählen? Hier kann das Lehrbuch von Wiegand & Moloney (2013) zur Analyse räumlicher Punktmuster eine entsprechende Hilfestellung geben.

Eine gute Alternative zu CPCE ist das Programm PhotoQuad (Trygonis & Sini 2012), das allerdings selbst keine weiterführende Auswertung zu den Arten- und Häufigkeitstabellen ausführt, dafür bei der Aufteilung des Bildes in verschiedene Flächen wesentlich mehr Möglichkeiten bietet (Abb. 4).

Während CPCE und photoQuad speziell für die Analyse von Benthos-Gemeinschaften entwickelt worden sind, bietet das in Java geschriebene und damit plattformübergreifende Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungsprogramm ImageJ1 mit seinen Ablegern ImageJ2 und Fiji ein Vielfaches mehr für wissenschaftliche Bildanalysen. Für die pure Analyse von Benthos-Gemeinschaften zur Beschreibung Ihrer Diversität, Abundanz und ihrer Flächenanteile ist es allerdings nicht so komfortabel wie die zuvor genannten Programme.

Die Stärken von ImageJ liegen darin, dass die Funktionalität des Programms durch eine Vielzahl von Plug-ins erweitert werden kann. Hier bietet das Programm nahezu unbegrenzte Möglichkeit, angefangen von dem Vermessen von Strukturen, dem gezielten Freistellen von Objekten anhand von Form und Farbinformationen bis hin zu der automatisierten Verfolgung von sich bewegenden Partikeln bei Zeitrafferaufnahmen (Schneider et al. 2012). Aufgrund der Vielzahl an Möglichkeit, die ImageJ bietet, sollte man vermeiden das Programm einfach zu testen sondern sich zunächst auf die wissenschaftliche Fragestellung fokussieren, die man mithilfe eines Bildanalyse-Programms lösen möchte und dann gezielt nach den Plug-ins suchen, mit denen die Frage beantwortet werden kann. Für die meisten Fälle wird ImageJ eine entsprechende Lösung anbieten.

5 Ausblick & Trends

Es ist schwierig zu sagen, in welche Richtung sich die Unterwasser-Fotografie in den nächsten Jahren entwickeln wird. Vor wenigen Jahren schien es noch möglich, dass sich die plenoptische Fotografie, oder auch Lichtfeldfotografie genannt, als zusätzliche Anwendungsmöglichkeit durchsetzen könnte (Ehrmann & Błachowicz 2012, Georgiev et al. 2013), und damit ganz neue Möglichkeiten der Wahrnehmung der Tiefenschärfen und 3D-Bildern eröffnen würde, die sich auch gerade für Benthos-Aufnahmen vorzüglich eignen würden. Die Firma Lytro Inc. hat als einzige Firma im Jahr 2011 eine Kamera für den Endkonsumenten im Bereich der Lichtfeldfotografie auf den Markt gebracht, konnte sich aber nicht durchsetzen und zog sich vollständig aus der Produktion zurück. Die Firma wurde 2018 wieder aufgelöst. In Deutschland ist die Kieler Firma Raytrix GmbH noch aktiv, allerdings richten sich ihre Produkte nicht an die breite Öffentlichkeit, sondern an Industrie und Forschung.

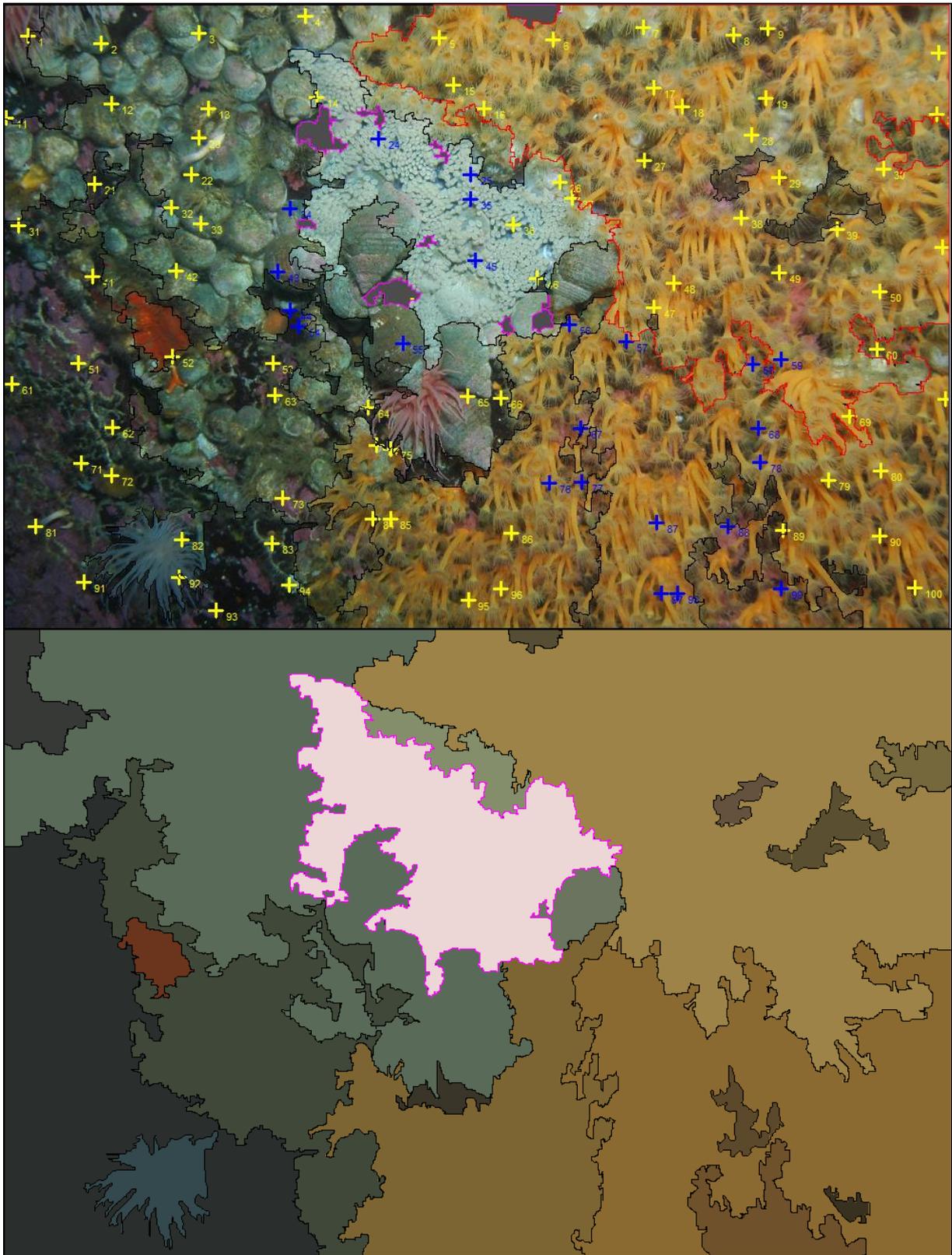


Abb. 4: Anwendungsmöglichkeiten von photoQuad 4.1 für Artenerfassung und Verteilung am Beispiel eines Hartsubstrates in Süd-Chile, 20 m Wassertiefe. Oben: 100 Bildpunkte wurden zufällig auf dem Bildausschnitt verteilt, so dass die unter den Bildpunkten Arten gelistet werden können. Blaue Kreuze stellen bereits ausgewertete Bildpunkte dar, gelbe Kreuze unbearbeitete Bildpunkte. Unten: automatische Flächenzuordnung von Artenregionen anhand von Form und Farbe (vereinfachte Darstellung).

Der Einsatz von künstlichen neuronalen Netzwerken (Convolutional Neural Networks) wird als ein Konzept im Bereich des maschinellen Lernens sicherlich stärker zur Anwendung kommen. Schon jetzt findet es bei Kartierungen an Land seine Anwendung (Adhiwibawa et al. 2019). Die automatisierte Identifikation von Epibenthos-Organismen wird sicherlich weiter fortschreiten, auch wenn die Genauigkeit bisher nicht an manuelle Auswertung heranreicht (Piechaud et al. 2019), und auch Biomasse-Abschätzungen anhand von Bildaufnahmen werden sicherlich stärker berücksichtigt werden (Benoist et al., 2019). Es ist wahrscheinlich, dass sich die zukünftig anfallenden Bildmengen und die bereits vorhandenen Daten nur durch zunehmende Automatisierung auswerten lassen werden, ersetzen werden sie die Qualität menschlicher Fähigkeiten zur Beurteilung von Einzelbildern aber kaum.

Literatur

- Adhiwibawa, M. A., Ariyanto, M. R., Struck, A., Prilianti, K. R. & Brotosudarmo, T. H., 2019. Convolutional neural network in image analysis for determination of mangrove species. In: Third International Seminar on Photonics, Optics, and Its Applications (ISPhOA 2018). International Society for Optics and Photonics, p. 1104404.
- Ayroza, C., Hustache, J., Fagundes, L., Sumi, M. & Ferrari, R., 2015. Finding the right tool for benthic image analysis: tips for optimizing analysis and processing of images. *Reef Encount Int Soc Reef Stud* 30: 34.
- Benoist, N. M., Bett, B. J., Morris, K. J. & Ruhl, H. A., 2019. A generalised volumetric method to estimate the biomass of photographically surveyed benthic megafauna. *Progress in Oceanography* 178: 102188.
- Berman, D. & Avidan, S., 2016. Non-local image dehazing. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 1674 – 1682.
- Bianco, G., Muzzupappa, M., Bruno, F., Garcia, R. & Neumann, L., 2015. A new color correction method for underwater imaging. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40: 25.
- Biodata Mining Group, B. U., 2020. Next generation image annotation. *Journal Volume: Pages*
<https://www.biigle.de/>
- Boutan, L., 1900. *La photographie sous-marine et les progrès de la photographie*. Paris: Schleicher Frères.
- Ehrmann, A. & Błachowicz, T., 2012. Fotografieren in der vierten Dimension: Plenoptische Kameras. *Physik in unserer Zeit* 43: 124 – 127.
- Fossum, E. R. & Hondongwa, D. B., 2014. A review of the pinned photodiode for CCD and CMOS image sensors. *IEEE Journal of the electron devices society*.
- Georgiev, T., Yu, Z., Lumsdaine, A. & Goma, S., 2013. Lytro camera technology: theory, algorithms, performance analysis. In: *Multimedia Content and Mobile Devices*. International Society for Optics and Photonics, p. 86671J.
- Getreuer, P., 2012. Automatic color enhancement (ACE) and its fast implementation. *Image Processing On Line* 2: 266 – 277.
- Gomes-Pereira, J. N., Auger, V., Beisiegel, K., Benjamin, R., Bergmann, M., Bowden, D., Buhl-Mortensen, P., De Leo, F. C., Dionísio, G., Durden, J. M., Edwards, L., Friedman, A., Greinert, J., Jacobsen-Stout, N., Lerner, S., Leslie, M., Nattkemper, T. W., Sameoto, J. A., Schoening, T., Schouten, R., Seager, J., Singh, H., Soubigou, O., Tojeira, I., van den Beld, I., Dias, F., Tempera, F. & Santos, R. S., 2016. Current and future trends in marine image annotation software. *Progress in Oceanography* 149: 106 – 120.
- Hass, H., 1939. *Jagd unter Wasser mit Harpune und Kamera*. Stuttgart: Kosmos / Franckh sche.
- Kohler, K. E. & Gill, S. M., 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* 32: 1259 – 1269.

- Lai, S. R. & Christensen, L. B., 2020. The 'Fish at Depth' Viewer. Journal Volume: Pages 04.01.2020 <http://fishbase.org/manual/english/FishBaseFishAtDepthViewer.htm>.
- Langenkämper, D., Zurowietz, M., Schoening, T. & Nattkemper, T. W., 2017. Biigle 2.0-browsing and annotating large marine image collections. *Frontiers in Marine Science* 4: 83.
- Longley, W. & Martin, C., 1927. The first autochromes from the ocean bottom. *National Geographic Magazine* 51: 56 – 60.
- Mangeruga, M., Bruno, F., Cozza, M., Agrafiotis, P. & Skarlatos, D., 2018a. Guidelines for underwater image enhancement based on benchmarking of different methods. *Remote Sensing* 10: 1652.
- Mangeruga, M., Cozza, M. & Bruno, F., 2018b. Evaluation of underwater image enhancement algorithms under different environmental conditions. *Journal of Marine Science and Engineering* 6: 10.
- Martinez, A. R., 2014. "A souvenir of undersea landscapes:" underwater photography and the limits of photographic visibility, 1890 – 1910. *Historia, Ciencias, Saúde* 21.
- Morel, J.-M., Petro, A.-B. & Sbert, C., 2014. Screened Poisson equation for image contrast enhancement. *Image Processing On Line* 4: 16 – 29.
- Pante, E. & Dustan, P., 2012. Getting to the point: Accuracy of point count in monitoring ecosystem change. *Journal of Marine Biology* 2012.
- Piechoud, N., Hunt, C., Culverhouse, P. F., Foster, N. L. & Howell, K. L., 2019. Automated identification of benthic epifauna with computer vision. *Marine Ecology Progress Series* 615: 15 – 30.
- Pizer, S. M., Amburn, E. P., Austin, J. D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., ter Haar Romeny, B., Zimmerman, J. B. & Zuiderveld, K., 1987. Adaptive histogram equalization and its variations. *Computer vision, graphics, and image processing* 39: 355 – 368.
- Pollak, M., Bumpus, D., Abel, R., Corwin, N. & Mather, F., 1948. Scientific Results of ATLANTIS Cruise 151 to the Mediterranean Area. In: WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION MASS.
- Regnard, P., 1891. *Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux*. Paris: G. Masson.
- Riedl, R., 1967. Die Tauchmethode, ihre Aufgaben und Leistungen bei der Erforschung des Litorals; eine kritische Untersuchung. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 15: 294.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods* 9: 671.
- Schories, D., Díaz, M. J., Garrido, I., Heran, T., Holtheuer, J., Kappes, J. L., Kohlberg, G. & Niedzwiedz, G., 2020. Analysis of time-lapse images as a tool to study movement in situ in four species of sea urchins and one limpet from North Patagonia and the South Shetland Islands. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 30: 117 – 136.
- Skarlatos, D., Agrafiotis, P., Balogh, T., Bruno, F., Castro, F., Petriaggi, B. D., Demesticha, S., Doulamis, A., Drap, P., Georgopoulos, A., Kikillos, F., Kyriakidis, P., Liarokapis, F., Poullis, C. & Rizvic, S., 2016. Project iMARECULTURE: advanced VR, iMmersive serious games and augmented REality as tools to raise awareness and access to European underwater CULTURAL heritage. In: Euro-Mediterranean Conference. Springer, pp. 805 – 813.
- Tenzer, F., 2019. Absatz von Digitalkameras durch CIPA-Unternehmen weltweit von 1999 bis 2018. Journal Volume: Pages 05.01.2020 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/30713/umfrage/ausgelieferte-digitalkameras-durch-cipa-unternehmen-seit-1999/>.
- Thompson, W., 1856. On taking photographic images under water. *Journal of the Society of Arts* 4: 425 – 426.
- Trygonis, V. & Sini, M., 2012. photoQuad: a dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 424: 99 – 108.
- Wang, Y., Song, W., Fortino, G., Qi, L.-Z., Zhang, W. & Liotta, A., 2019. An Experimental-based Review of Image Enhancement and Image Restoration Methods for Underwater Imaging. *IEEE Access* 7: 140233 – 140251.
- Wiegand, T. & Moloney, K. A., 2013. *Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology*: Chapman and Hall/CRC.
- Zuiderveld, K., 1994. Contrast limited adaptive histogram equalization. In: Heckbert, P. S. (Ed), *Graphics gems IV*. Academic Press Professional, Inc., pp. 474 – 485.

Ronny WEIGELT*, Janos HENNICKE*, Henning VON NORDHEIM*

* Bundesamt für Naturschutz, Außenstelle Insel Vilm, 18581 Putbus

ronny.weigelt@bfn.de

Ein Blick zurück, zwei nach vorne – Forschungstauchen am Bundesamt für Naturschutz zum Schutz der Meere

Zusammenfassung

Seitdem das Bundesamt für Naturschutz eine Außenstelle auf der Insel Vilm betreibt, hat es sich voll und ganz dem nationalen und internationalen Meeresnaturschutz verschrieben. Ein Ziel dabei war unter anderem die Ausweisung von Schutzgebieten in den Gewässern der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Um dies zu erreichen mussten sowohl Über- als auch Unterwasser funktionierende Infrastrukturen aufgebaut werden. Diese wurden in den folgenden Jahren auf zahlreichen Schiffsausfahrten dahingehend genutzt, schützenswerte Arten und Lebensraumtypen in Nord- und Ostsee zu erfassen.

Dabei kamen, neben Unterwasser-Foto- und Videotechnik, sowohl BfN-eigene als auch externe Forschungstaucher zum Einsatz. Ihr Anteil bei der Ausweisung von sechs marinen Naturschutzgebieten in der deutschen AWZ sowie die aktuellen und zukünftigen Aufgaben am BfN, sollen mit dem vorliegenden Artikel beleuchtet werden.

Schlüsselwörter: Bundesamt für Naturschutz, BfN, Forschungstauchen, marine Naturschutzgebiete, Nordsee, Ostsee

1 Die Vergangenheit

1.1 Die Anfänge des Meeresnaturschutzes auf der Insel Vilm

Am 06.10.1990 eröffnete der damalige Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Prof. Dr. Klaus Töpfer, die Naturschutzakademie Insel Vilm. Diese umfasste die drei Fachgebiete „Tagungen, Konferenzen, Verwaltung“, „Internationaler Naturschutz“ und „Meeres- und Küstennaturschutz“ und war zum damaligen Zeitpunkt ein Teil der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie (BFANL). Aus dieser ging am 15.08.1993 schließlich das Bundesamt für Naturschutz (BfN) in seiner jetzigen Form hervor. Der Hauptsitz befindet sich mit dem Großteil der Mitarbeiter in Bonn. Zudem gibt es zwei Außenstellen, in Leipzig (Landschaftsplanung) und auf der Insel Vilm (Meeresnaturschutz und die Internationale Naturschutzakademie), südöstlich von Rügen im Greifswalder Bodden. Dass sich

diese Außenstelle auf der Insel Vilm befindet, hat tiefere gesellschaftliche Gründe und ist zum Teil mit Entscheidungen kurz nach der politischen Wende in der DDR begründet. Es soll an dieser Stelle jedoch nicht weiter darauf eingegangen werden, da darüber an verschiedenen Stellen schon vertiefend berichtet wurde. Als weiterführende Literatur zu diesem Thema sei an dieser Stelle auf das BfN-Skript 419 „25 Jahre Außenstelle Insel Vilm des Bundesamtes für Naturschutz – eine Bilanz“ (2015) verwiesen.

Zu Beginn seiner Tätigkeit musste sich das damalige Fachgebiet „Meeres- und Küstennaturschutz“ mit fünf Mitarbeitern und drei Telefonleitungen von der Insel auf das Festland begnügen. Dies war alles andere als eine üppige Ausstattung, aber es war ein Start, der guten Gewissens auch als Aufbruch in eine neue Zeitrechnung bezeichnet werden kann. Denn bis zum damaligen Zeitpunkt lag der maritime Naturschutz in Deutschland weitestgehend brach. Naturschutz fand in Deutschland vor allem im terrestrischen Bereich statt. Seit dieser Zeit fanden jedoch viele Veränderungen statt: der Naturschutz im Allgemeinen und der Meeresnaturschutz im Speziellen sind in den Köpfen der Menschen und spätestens seit Berichten über gigantische Müllstrudel in den Ozeanen auch in den Medien angekommen.

In der Zwischenzeit sind aus einem Fachgebiet drei geworden, welche schließlich 2016 in der Abteilung "Meeresnaturschutz" des BfN zusammengefasst wurden. Mit dieser Statusanhebung erfolgte auch eine bessere finanzielle und personelle Ausstattung. Derzeit arbeiten in der Abteilung 22 Mitarbeiter*innen, die von ungefähr 100 externen Projektnehmer*innen unterstützt werden, welche in einer Vielzahl von Projekten an verschiedenen meereskundlichen Instituten, Planungsbüros und Universitäten tätig sind. Verglichen mit der Fülle der Aufgabenbereiche, die von der Abteilung abgedeckt werden müssen, ist die Zahl der Mitarbeiter*innen und Projektnehmer*innen jedoch immer noch viel zu gering. So erstreckt sich das aktuelle Arbeitsspektrum u. a. von der Mitarbeit in internationalen Gremien wie z. B. der Oslo-Paris Konvention (OSPAR) und der Helsinki-Kommission (HELCOM), über das Anfertigen von fachlichen Stellungnahmen zu Großbauprojekten im Bereich der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ, Offshore-Windparks, Ostseepipelines Nordstream I & II) bis hin zur Entwicklung der Managementpläne sowie einem notwendigen umfangreichen Monitoring für die sechs nationalen Meeresnaturschutzgebieten in Nord- und Ostsee. Welche Rolle das Forschungstauchen am BfN gespielt hat, momentan spielt und welche Rolle es in Zukunft spielen wird, darauf soll im Folgenden näher eingegangen werden.

1.2 Die ersten Forschungstauchgänge

Da das BfN mit seiner Außenstelle Insel Vilm zu den Vorreitern für den deutschen Meeresnaturschutz gehört, gab es dementsprechend bei der Gründung auch keine Blaupause, die für die Entwicklung der neu zu bewältigenden Arbeiten benutzt werden konnte. Die Entwicklung erfolgte in kleinen Schritten, die arbeitsaufwendig und zeitintensiv waren. Nach dem Aufbau einer funktionierenden Infrastruktur an Land und der Gewinnung von neuem Personal in den ersten Jahren, konnte sich anschließend verstärkt der Untersuchung von Nord- und Ostsee aus meeresnaturschutzfachlicher Sicht und der Schaffung solider Rechtsgrundlagen gewidmet werden.

So kamen in der Startphase auf den zahlreichen Schiffsausfahrten in die deutsche AWZ (ca. drei Ausfahrten pro Jahr) neben dem Abfahren von Seitensichtsonar- und Videotransekten auch von vornherein immer wieder Forschungstaucher zum Einsatz. Sei es um die Resultate der verschiedenen Transektfahrten unter

Wasser zu verifizieren oder um durch Detailaufnahmen mit UW-Foto- und Videotechnik (Abb. 1), die beeindruckende und gleichzeitig teilweise wenig bekannte Unterwasserwelt direkt vor unseren Küsten zu erfassen und zu dokumentieren (Abb. 2 & 4). Daher waren von Anfang an mehrere Forschungstaucher auf der Insel Vilm tätig. Bis Mitte der 1990er Jahre widmeten sie sich verstärkt der Vertiefung ihrer taucherischen Kenntnisse und dem Aufbau der UW-Foto- und Video-Infrastruktur. Danach folgten zur Festigung der Tauchpraxis kleinere Projekte in der näheren Umgebung der Inseln Vilm und Rügen, bis es zu Beginn des neuen Jahrtausends größere Projekte sowohl in der Nord- als auch in der Ostsee durchzuführen galt.



Abb. 1: Die neu entwickelte Dropkamera des BfN (links) und der BfN-Videoschlitten mit UW-Kabel (rechts).

Die erste Ausfahrt in diesem Zusammenhang brachte die BfN-Mitarbeiter Peter Hübner und Jochen Krause in die östliche und zentrale Deutsche Bucht. Während der 133. Fahrt des „FS Heincke“ führten sie die ersten Forschungstauchgänge im Bereich der deutschen AWZ für das BfN durch. Diese lassen sich anhand des Fahrtberichtes auf den 21.06.2000 datieren und markieren somit den Beginn des Forschungstauchens unter Einsatzbedingungen am BfN. Bereits während dieser ersten Ausfahrt entstanden zahlreiche Fotos dieses einzigartigen Lebensraums, die anschließend für vielfältige Publikationen genutzt wurden und den Grundstein für das umfangreiche Bildarchiv der heutigen Abteilung Meeresnaturschutz legten. Es gelang bereits damals, die Empfindlichkeit und Fragilität der marinen Ökosysteme, insbesondere des Benthos, mit aussagekräftigen Fotos darzustellen (Abb. 2).

1.3 Erfassung von geschützten Arten und Lebensraumtypen

Seit dieser Zeit folgten annähernd jährlich weitere Ausfahrten und Forschungstaucher-gestützte Untersuchungen unter Federführung des BfN in verschiedene Gebiete von Nord- und Ostsee. Diese eigenen Untersuchungen sowie weitere der verschiedenen Projektpartner und die daraus resultierenden naturschutzfachlichen Bewertungen, haben letztendlich am 25.05.2004 erheblich mit zur Ausweisung von zehn Schutzgebieten innerhalb des EU-weiten Natura 2000-Netzes in der deutschen AWZ und Meldung an die EU-Kommission beigetragen. Die Ausweisung dieser Schutzgebiete nach der Flora-Fauna-Habitatrichtlinie (FFH-RL, 1992) und

Vogelschutzrichtlinie (V-RL, 2009) ist nach EU Recht zwingend erforderlich gewesen und durch die Richtlinien 92/43/EWG (FFH-RL) und 79/409/EWG (V-RL) begründet. Auswahlkriterien für die Natura 2000-Gebiete im Meer sind unter anderem das Vorkommen verschiedener schützenswerter Lebensraumtypen (LRT) nach Anhang I der FFH-RL, welche in der AWZ die LRTs „Sandbank“ (LRT 1110) und „Riffe“ (LRT 1170) umfassen und das Vorkommen bestimmter nach Anhang II der FFH-RL schützenswerter Arten, wie beispielsweise Fischen (u. a. Finte, Aise, Neunaugen) und Meeressäugtieren (u. a. Schweinswal, Kegelrobbe). Zusätzliche Ausweisungsgründe lieferte die Vogelschutzrichtlinie mit einer Liste schützenswerter Seevögel (u. a. Sterntaucher, Prachtaucher). Neben der Erfassung des Meeresbodens mit Hilfe von Seitensichtsonar- und Videoaufnahmen, kamen bei der Abgrenzung der beiden AWZ-LRTs von dem sie umgebenden Meeresboden auch handgeführte Kameras durch Forschungstaucher zum Einsatz. Die umfangreichen UW-Foto- und Videoaufnahmen wurden damals noch analog als Dias oder auf Videokassetten archiviert. Im Nachgang erfolgte eine Digitalisierung, um sie ebenso wie die heutzutage direkt erhobenen digitalen Daten leicht zugänglich zu machen.

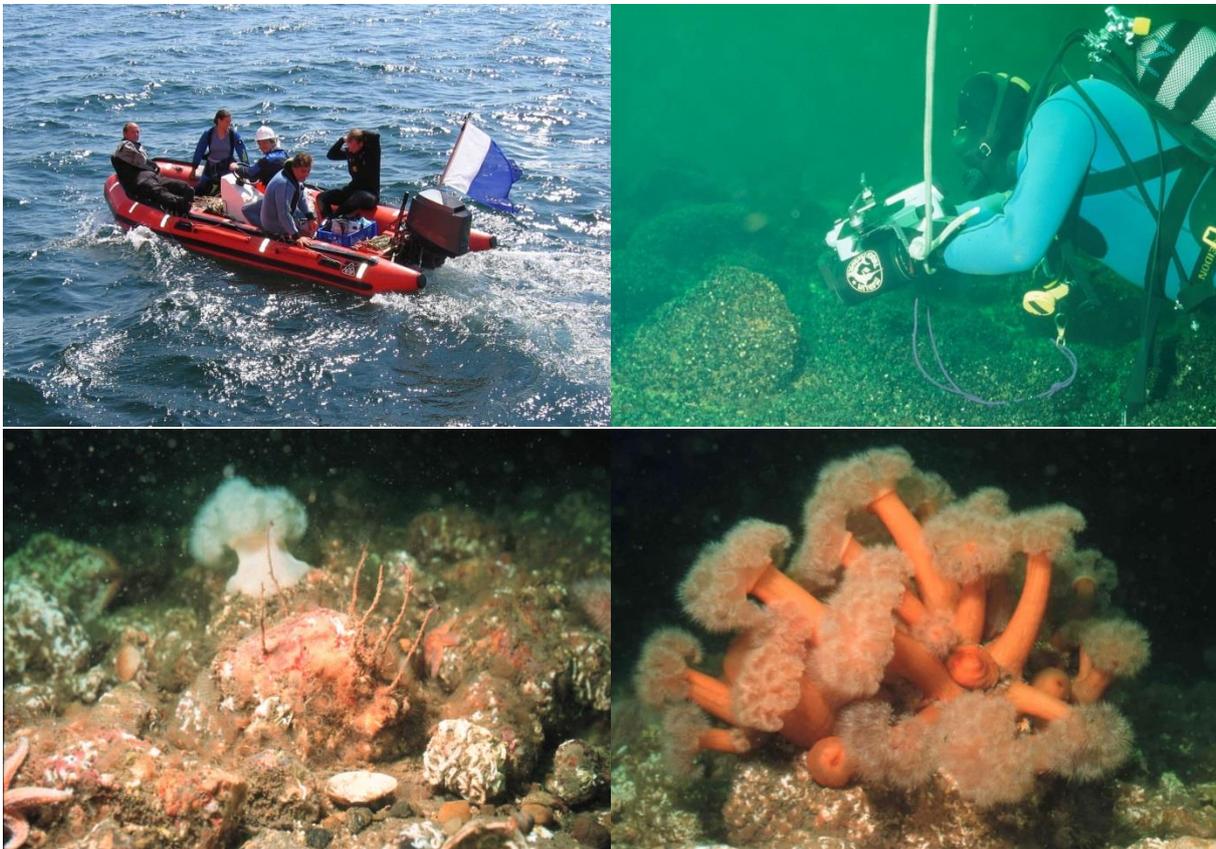


Abb. 2: Forschungstaucher **A:** auf dem Weg in das Einsatzgebiet und **B:** bei einer Detailaufnahme in der Ostsee. **C:** Ausschnitt der Artengemeinschaft eines Steinriffs in der Nordsee. **D:** Die Seenelke (*Metridium senile*) in der Nordsee.

Dabei wurden sowohl die gesichteten Arten als auch die geologische Beschaffenheit und der Bedeckungsgrad des Meeresbodens in Echtzeit mittels eines Videoerfassungstools sowie durch händische Nachbearbeitung erfasst und soweit möglich bis auf Artniveau bestimmt. Durch die Kombination dieser verschiedenen Erfassungsmethoden konnte ein sehr gutes Abbild des Meeresbodens und seiner

biologischen Gemeinschaften beschrieben werden. Diese vom BfN und seinen externen Projektpartnern erhobenen Daten mündeten letztendlich in einer natur-schutzfachlichen Bewertung der verschiedenen Meeresgebiete mit der Empfehlung, sie bei entsprechender Vorkommen der verschiedenen geschützten Arten und Lebensraumtypen unter Schutz zu stellen (Abb. 3).

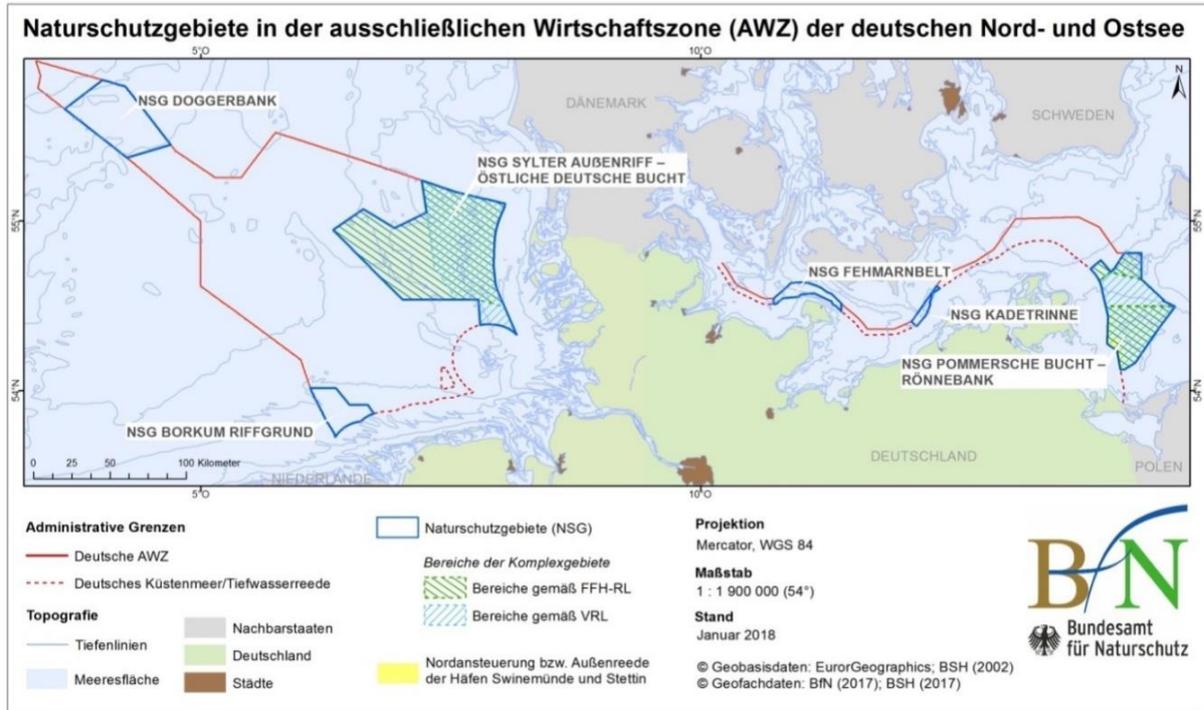


Abb. 3: Karte der Naturschutzgebiete in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone.

2 Die Gegenwart

2.1 Die Ausweisung der Naturschutzgebiete

Die letztendliche Bekanntmachung von sechs Schutzgebietsverordnungen am 27.09.2017 durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, hat die gemeldeten zehn deutschen marinen Natura 2000-Schutzgebiete unter nationale Rechtsprechung gestellt und in den Rang nationaler Naturschutzgebiete (NSG) erhoben (Abb. 3), als Teil des EU-weiten Natura 2000-Netzwerkes. Aber was bedeutet das für anthropogene Eingriffe in diesen Gebieten, wie z. B. die fischereiliche oder auch freizeitorientierte Nutzung?

Die rechtlichen Voraussetzungen für die Regelung verschiedener menschlicher Aktivitäten in diesen NSGs müssen durch z. Zt. noch zu entwickelnde Managementpläne geschaffen werden. Bei der Ausarbeitung dieser Pläne sind nicht nur nationale Partner wie z. B. das Bundesverkehrsministerium beteiligt, sondern aufgrund von EU-Abkommen haben auch die europäischen Nachbarn in Bezug auf Regelungen der Fischerei ein Mitspracherecht. Während die Managementpläne für die NSGs der Ostsee momentan noch in der Entwicklungsphase sind, befinden sich diese Managementpläne für die Nordsee-NSGs in einem sehr fortgeschrittenen Stadium, sodass mit einem Inkrafttreten im Jahr 2020 zu rechnen ist. Daran anschließend wird es eine Vielzahl neuer Aufgaben für das BfN, als zuständiger Bundesbehörde geben. Der erste

Schritt hierbei wird der Aufbau eines speziell zugeschnittenen, kontinuierlichen und standardisierten Schutzgebiets-Monitoringprogramms sein. Des Weiteren müssen Regelwerke für die Nutzung dieser marinen NSGs und Überwachungsprogramme zur Einhaltung dieser Regeln entwickelt werden. Ebenso muss nach einer noch zu definierenden Zeitspanne eine Evaluierung der Wirksamkeit der bisherigen Schutzmaßnahmen erfolgen die gegebenenfalls eine Anpassung der Managementmaßnahmen nach sich zieht.

2.2 Aktuelle Arbeiten

Da sich die Managementpläne aktuell noch in der Finalisierungs- bzw. Entwicklungsphase befinden, fokussieren sich die aktuellen Tätigkeiten in der Abteilung Meeresnaturschutz in Bezug auf Unterwasserarbeiten, inklusive des Forschungstauchens, zum einen auf die Biotop- und Sedimentkartierung und zum anderen auf die Bewertung von anthropogenen innerhalb der NSGs.

Beide Aufgaben wurden in den letzten Jahren allerdings größtenteils ohne die Beteiligung BfN-eigener Forschungstaucher erledigt, wie z. B. durch den Einsatz von UW-Videoschlitten oder einer vom BfN selbst entwickelten Dropkamera zum direkten Absetzen auf dem Meeresboden. Letztere kam im August und Oktober des Jahres 2019 in verschiedenen Gebieten der Ostsee zum Einsatz und hat dabei im Bereich der Biotopkartierung auf Anhieb sehr gute Ergebnisse geliefert. Allerdings traten bei diesen Einsätzen auch die Limitierungen dieses Systems deutlich zum Vorschein. So sollten im Oktober 2019 während einer Ausfahrt in das NSG Fehmarnbelt die Auswirkungen durch Sprengungen von Seeminen aus dem 2. Weltkrieg eines NATO Seeverbandes dokumentiert werden. Dabei kamen während dieser Ausfahrt die schon erwähnte Dropkamera (Abb. 1) sowie eine Art Unterwasserdrohne (englisch: Remotely Operated Vehicle, ROV) zum Einsatz.

Da die UW-Kamerasysteme (Abb. 1) nur passiv durch Versetzen des Schiffes und nicht aktiv gesteuert werden können, erwiesen sie sich zur Erfassung eines Sprengkraters mit einem Durchmesser von ungefähr 5 – 8 m und einer Höhe von ca. 1,5 m nur sehr bedingt geeignet. Dies gelang deutlich besser mit dem aktiv steuerbaren ROV, der aber, aufgrund seiner zu geringen Antriebsleistung für die im Fehmarnbelt herrschenden Strömungsverhältnisse schnell an die Grenzen seiner Einsatzbarkeit stieß. An dieser Stelle wäre ein Einsatz von Forschungstauchern deutlich besser geeignet gewesen (u. a. zum Vermessen der Sprengkrater und zur Untersuchung der Umgebung die von der Sprengung beeinflusst worden ist). Dies war allerdings aus verschiedenen logistischen Gründen während dieser Ausfahrt nicht realisierbar.

3 Die Zukunft

Wie dieses letzte Beispiel belegt, werden die zu bewerkstelligen UW-Arbeiten für das BfN in Zukunft äußerst vielfältig und anspruchsvoll sein und an die jeweiligen Gegebenheiten in den sechs verschiedenen NSGs angepasst werden müssen. Dabei werden durch die Komplexität der durchzuführenden Arbeiten große Anforderungen an Mensch und Material gestellt werden. Im Folgenden soll ein kurzer Abriss von drei Themenkomplexen erfolgen, die wichtige UW-Aufgabenschwerpunkte für die kommenden Jahren darstellen.

3.1 Umsetzung der Managementpläne und Monitoring der Naturschutzgebiete

An erster Stelle ist hierbei die Umsetzung der Managementpläne in den sechs marinen NSGs der deutschen AWZ und das damit verbundene, noch zu etablierende spezielle UW-Monitoring- und Überwachungsprogramm zu nennen. In Nord- und Ostsee ist dabei mittelfristig der Einsatz von autonom arbeitender UW-Monitoring-technik und nicht-invasiven Methoden zur Erfassung der marinen Biodiversität geplant. Diese Monitoringtechnik variiert von einfachen Salinitäts- und Temperaturloggern über autonome UW-Videosysteme bis hin zu aktiven und passiven Fanggeräten, wie z. B. Fischfallen, zur Erfassung einzelner Arten oder Biozönosen.

Trotz der Vielfalt an verschiedenen Gerätetypen, haben sie alle gemeinsam, dass sie installiert, gewartet, ausgelesen und bei Bedarf geborgen werden müssen. Dies wird sich nur bis zu einem gewissen Grad von Bord der verschiedenen Forschungsschiffe durchführen lassen. Eine Vielzahl von Arbeiten, wie z. B. das Reinigen von Kameras oder das Bergen von Loggern zum Auslesen der gespeicherten Daten, wird unter Wasser von Forschungstauchern erledigt werden müssen. Hinzu kommt die notwendige Verifizierung von UW-Kameraaufnahmen, um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der ausgebrachten Systeme zu überprüfen. Diese Arbeiten werden in ihrer Fülle nicht alleine durch Forschungstaucher des BfN realisiert werden können, sondern können nur in Zusammenarbeit mit verschiedenen Projektpartnern erfolgen, wie z. B. dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven oder dem Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Daher ist das BfN auch in Zukunft stark daran interessiert, die erfolgreiche Zusammenarbeit mit den bisherigen Partnern weiterzuführen und neue Kooperationen mit anderen Instituten und Universitäten aufzubauen.

3.2 Überwachung von Schutz-, Restaurations- und Kompensationsmaßnahmen

Ein weiteres großes Betätigungsfeld, das in den nächsten Jahren auf das Bundesamt für Naturschutz zukommen wird, ist die wissenschaftliche Begleitung von Schutz- und Restaurationsmaßnahmen sowie die Bewertung von sogenannten Kompensationsmaßnahmen in den verschiedenen NSGs, die z. B. als Ausgleich von anthropogenen Eingriffen in der AWZ besonders in den NSGs umgesetzt werden könnten. Dazu ist es wichtig, wirkungsvolle Kontrollmechanismen zu entwickeln, die die Effizienz dieser Maßnahmen zum Schutz der Arten und Lebensräume belegen können. Zudem müssen die Umsetzungen von Schutzmaßnahmen wissenschaftlich erfasst werden, um ihren Einfluss auf die NSGs beurteilen zu können. Das kann durch einfache UW-Foto- und Videoaufnahmen oder mit Hilfe komplexerer Verfahren zur großflächigen nicht-invasiven Erfassung der Biodiversität, wie z. B. durch in situ Probenahmen für eDNA-Untersuchungen, geschehen.

Die Erfolgskontrollen von Kompensationsmaßnahmen, welche durch die Eingreifer in der AWZ nach dem Bundesnaturschutzgesetz (2019) durchgeführt werden müssen, werden vermutlich zumindest teilweise der Mitarbeit durch Forschungstaucher bedürfen. Ein weiterer Punkt ist zudem die Erfolgskontrolle bei zukünftig geplanten Wiederansiedlungsprojekten, wie z. B. dem der Europäische Auster (*Ostrea edulis*) in der Nordsee im NSG Borkum Riffgrund, einem aktuellen Projekt des BfN in Zusammenarbeit mit dem AWI.

3.3 Öffentlichkeitsarbeit

Als letzte, aber nicht minder wichtige Aufgabe für Forschungstaucher im Auftrag des BfN, soll an dieser Stelle auch das Erstellen von UW-Fotos und -Videos für die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit sowie für BfN-eigene Publikationen erwähnt werden.

Um sowohl das Fachpublikum als auch die breite Öffentlichkeit weiter für die Belange des Meeresnaturschutzes zu begeistern und auch an der ein oder anderen Stelle weiter zu sensibilisieren, ist es unerlässlich qualitativ hochwertige Unterwasser- aufnahmen zu generieren. Nur so kann sichergestellt werden, dass die breite Öffentlichkeit Einblicke in die Arbeit der Abteilung Meeresnaturschutz des BfN bekommt und ihr zum anderen die Schönheit dieser teilweise einmaligen Unterwasser- lebensräume vor unseren Küsten plastisch vor Augen geführt werden kann. Dafür sind die Detailaufnahmen einer handgeführten Kamera eines geübten Forschungstauchers deutlich besser geeignet (Abb. 4), als Kameras, die beispielsweise fest auf einem ROV montiert sind.

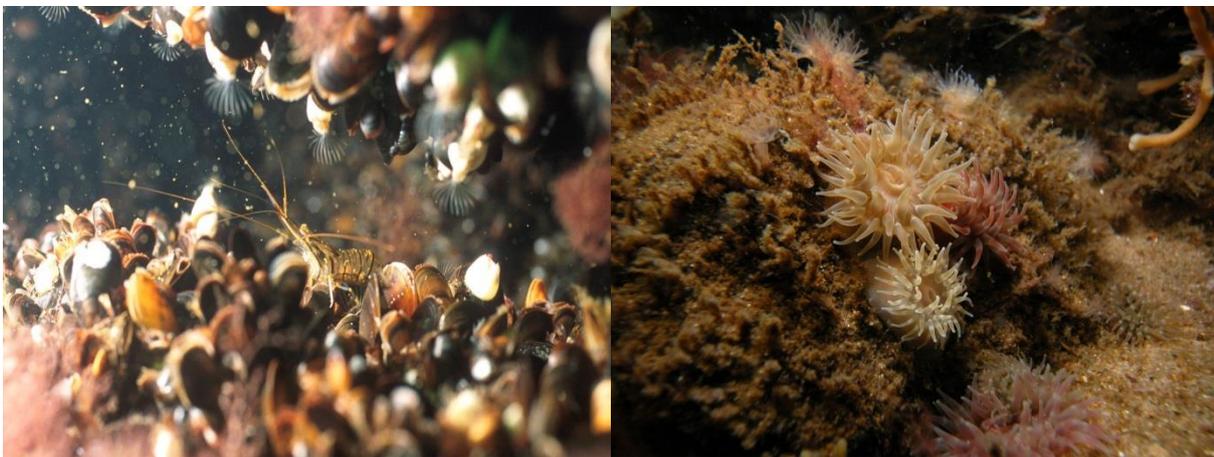


Abb. 4: Links: eine Felsengarnele (*Palaemon elegans*) in einer Miesmuschelbank in der Ostsee (*Mytilus edulis*). Rechts: Verschiedene Seeanemonen-Arten in einem Steinriff in der Nordsee.

4 Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Forschungstaucher innerhalb der breitgefächerten Aufgaben der Abteilung Meeresnaturschutz des BfN in der Vergangenheit unerlässlich waren als es auch für zukünftige Arbeiten weiterhin sein werden. Hat es sich in der Vergangenheit vornehmlich um die Erfassung und Dokumentation von geschützten Arten und Lebensraumtypen zur Ausweisung der Schutzgebiete in Nord- und Ostsee gehandelt, so wird es sich in der näheren und mittelfristigen Zukunft vor allem um Aufgaben in den Bereichen des Schutzgebietsmonitorings, der Wartung von UW-Monitoringtechnik sowie der Kontrolle von Restaurations- und Kompensationsmaßnahmen handeln.

Dies ist so vielfältig wie anspruchsvoll und dürfte den Mitarbeitern der Abteilung Meeresnaturschutz in den nächsten Jahren eine Vielzahl an Schiffsausfahrten und Tauchgängen in den Schutzgebieten von Nord- und Ostsee bescheren. Der damit verbundene hohe Arbeitsaufwand, kann allerdings nicht von den Mitarbeitern der Abteilung Meeresnaturschutz allein bewältigt werden. Daher ist eine lebendige deutsche Forschungstauchergemeinschaft, die untereinander in stetigem Austausch

steht, für das BfN genauso wichtig, wie die weitere qualifizierte Ausbildung von Forschungstauchern, z. B. an der Universität Rostock, dem der Abteilung Meeresnaturschutz auf Vilm nächstgelegenen Ausbildungsstandort.

Literatur

- Bundesnaturschutzgesetz, 2019. Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist.
- BfN-Skript 419, 2015. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): 25 Jahre Außenstelle Insel Vilm des Bundesamtes für Naturschutz – eine Bilanz. Bonn. BfN-Skripten Reihe.
- Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, 1992. Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 20 vom 22.7.1992, S. 7–50.
- NSGBRgV, 2017. Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Borkum Riffgrund“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3395).
- NSGDgbV, 2017. Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Doggerbank“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3400).
- NSGFmbV, 2017. Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Fehmarnbelt“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3405).
- NSGKdrV, 2017. Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Kadetrinne“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3410).
- NSGPBRV, 2017. Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Pommersche Bucht – Rönnebank“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3415).
- NSGSylV, 2017. Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Sylter Außenriff – Östliche Deutsche Bucht“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3423).
- Vogelschutzrichtlinie, 2009. RICHTLINIE 2009/147/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft 206 vom 26.10.2010, S. 7–25.

Christina B. AUGUSTIN*, Anton BÜHLER* & Hendrik SCHUBERT*

* Universität Rostock, MNF, Institut für Biowissenschaften, A.-Einstein-Straße 3a, 18059 Rostock

christina.augustin@uni-rostock.de

Comparison of different methods for determination of seagrass distribution in the Southern Baltic Sea Coast

Abstract

Seagrass meadows provide fundamental ecological services including carbon export, nutrient cycling, stabilization of sediment and enhancement of biodiversity. Yet, seagrass meadows are disappearing at an alarming rate by suffering from high anthropogenic influences on coastal ecosystems. Facing the threats of the global change it is important to understand and quantify the ecological services provided by seagrass meadows for facilitating an effective monitoring and conservation efforts.

The current study uses three common survey methods: high-definition satellite imagery, sidescan sonar and scientific diving to analyse the depth distribution of *Zostera marina* and other macrophytes in the outer coastal and lagoon waters of the southern Baltic Sea. Key parameters such as biomass, coverage, vegetation height border were determined for assessing the distribution.

The results of the current study show, that in outer coastal waters, classic parameters used for macrophyte assessment are highly influenced by physical factors such as current velocity and exposure. Given the advantages and disadvantages of the used methods, the results study show, that direct such as scientific diving and indirect methods complement each other, but on their own they are not sufficient for macrophyte assessment.

Keywords: *Zostera marina* distribution, Baltic sea, scientific diving, mapping techniques

1 Introduction

Seagrasses are a polyphyletic group of marine flowering plants. With the exception of Antarctica, this plant is common on all continents showing a distribution that ranges from the tropics and subtropics to temperate regions Short et al. 2007. In the temperate northern hemisphere plants of the species, *Zostera* spp. eelgrass, is mainly dominating the meadows of seagrasses despite their variability in composition, vegetation height and coverage. Seagrass meadows play a fundamental, ecological role in coastal areas Duarte 2002; Jackson et al. 2013 as they are habitat and breeding ground for numerous invertebrates and fish species, nutrient traps, acting against eutrophication, sediment stabilizers, replenishing against coastal erosion as well as

important primary producers, storing a significant amount of CO₂. Finally, there are important food sources for migratory birds (Larkum et al. 2006).

Through the 2000/60/EG directive of October 2000, known as the EU-Water Framework Directive WFD, the European Union committed member states to achieving the good ecological status for all aquatic ecosystems, including coastal waters, by 2015. However, by 2013, nearly the entire Baltic Sea was reported to be affected by eutrophication Baltic Sea Action Plan - BSAP 2013; LUNG- MV 2013; LLUR-SH 2014, with recovery to a good environmental status projected to take as long as 20–30 years LUNG 2013.

Several studies have investigated changes concerning macrophytes during eutrophication and subsequent mesotrophication phases in the Baltic Sea in the inner coastal waters and in particular the Darß-Zingster Boddenkette (Schiewer 1998; Blindow & Meyer 2015). However, studies linking macrophyte composition with changing environmental parameters in outer coastal lagoons are rare.

The following study aims to generate a comprehensive representation of the distribution of seagrass meadows using three methods: satellite images, sidescan sonar and scientific diving. Further analyses were performed in relation to the macrophyte community composition and biomass changes with depth between inner and outer coasts.

2 Material and Methods

2.1 Survey Area

The island of Hiddensee is located in the southeast of the German Baltic Sea and northwest of the island of Rügen as well as northeast of the Darß-Zingst Bodden Chain (Fig. 1 A), in between 54° 27' 39" – 54° 34' 20" N and 13° 03' 39" – 13° 09' 28" E (Google Earth pro7.1). Since 1990, the entire area of Hiddensee and the Bodden are part of the national park "Vorpommersche Boddenlandschaft". The water bodies around the island are the semi-enclosed Vitter-Schaproder Bodden and the open Baltic Sea. Two narrow passages, in the southwest Gellenstrom and the northeast Libben of the island connecting the Baltic Sea with the Bodden (Fig. 1 B).

The Vitter-Schaproder Bodden covers a total area of 56.1 km² with a maximum depth of 6.5 m, although, except for the dredged waterways, most of the area lies in a depth range of 1 – 2 m. Given limited water exchange between the Bodden and the outer Baltic Sea, the seafloor is characterised by extended, fine sediment areas with low currents, thus creating ideal conditions for the development of dense seagrass meadows.

In contrast, the outer coast is influenced by the Arkona Sea. In the survey area of the Libben bight, the depth profile reaches 9 m. A higher current exposition and the subsequent sediment transport make the occurrence of seagrass meadows patchier compared to the Bodden waters. Survey areas were located in selected areas of the sublittoral zone of the Vitter-Schaproder Bodden and the Libben bight. Six areas were selected (Tab. 1, Fig. 3), as representative of different seagrass growing conditions in the Bodden and the outer coast. Variability between the different areas covers the spectrum of abiotic conditions exposure and depth gradient found in the surveyed region (Dahlke pers. comm. May 2016).

Tab. 1: Diving transects of the survey area around the island of Hiddensee.

Location	Water body	Coordinates ¹	Water Depth range (m)	Salinity category (Venice 1959)
	Vitter Bodden	N54° 34'44,67" E13° 7'33,56"	1.8 – 3.2 *	b - mesohaline (Bachor 2005)
Fährinsel	Vitter Bodden	N54°33'25,15" E13° 7'57,05"	1.6 – 3.0 *	b - mesohaline (Bachor 2005)
Schaprode	Schaproder Bodden	N54°30'53,06" E13° 8'22,70"	1.9 – 5.9 *	b - mesohaline (Bachor 2005)
Libben2 (North East)	Outer coast	N54°36'13,97" E13°11'39,08"	2.4 – 9.0	b - mesohaline (Hübel 1998)
Libben (South West)	Outer coast	N54°36'23,56" E13°11'50,10"	2.3 – 5.0	b - mesohaline (Hübel 1998)
Enddorn	Outer coast	N54° 36'23,83" E13° 8'46,37"	2.4 – 4.8	b - mesohaline (Hübel 1998)

¹ coordinates for the middle point of the diving transect, for a full list of coordinates

* Depth values were corrected for the water level fluctuation.

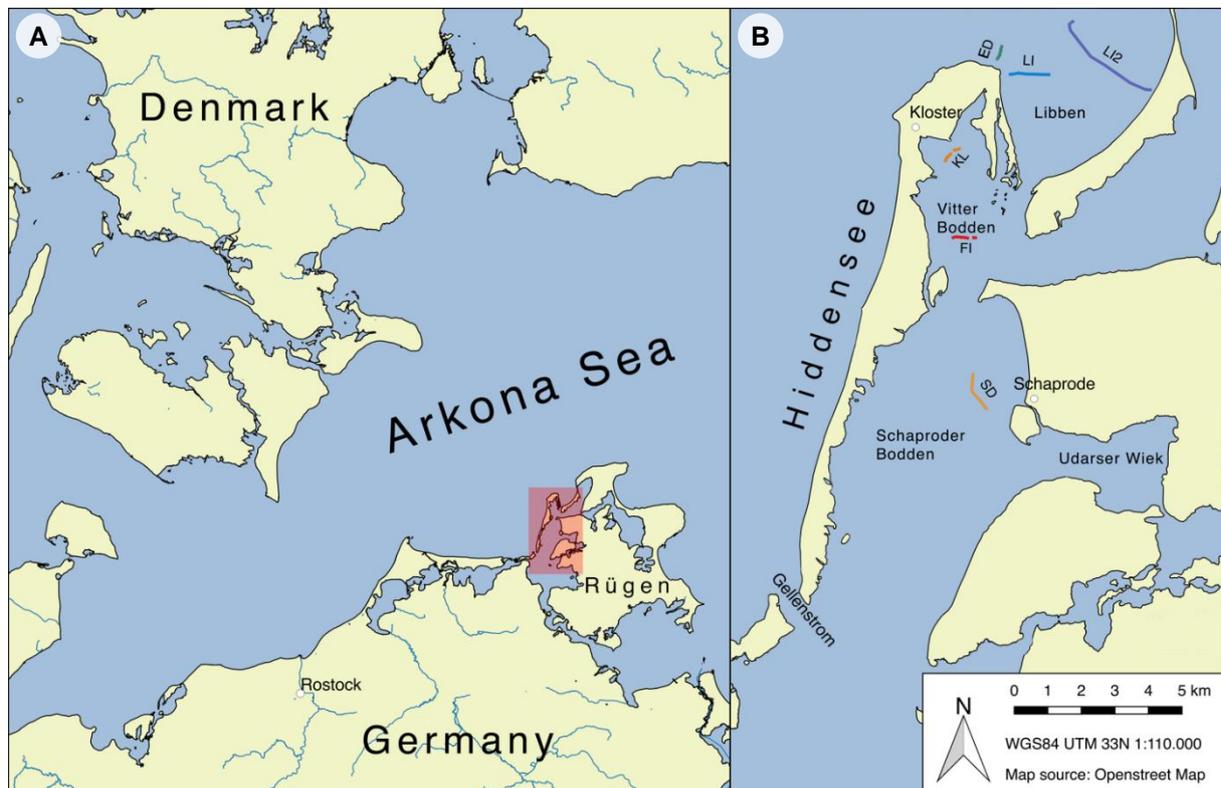


Fig. 1: Map of the survey area. A) southern Baltic Sea, B) Hiddensee island, with surveyed transects. Transect abbreviations: ED = Enddorn, LI = Libben, LI2 = KL = Klosterloch, FI = Fährinsel, SD Schaprode.

2.2 Satellite images

The use of optical images from very high-resolution satellites VHR with a maximum resolution between 0.5–5 m allow the recognition of seagrass meadows over a large spatial scale with very limited personnel and time. In the best scenario

such as low turbidity, low sun glint and good image quality, this method can be used for a good statement considering the overall macrophyte coverage on the seafloor. Satellite images enable to gain an initial idea of the spatial distribution of macrophytes by receiving an impression of areas with a low resolution. In the highly eutrophic Baltic Sea, the main drawback of optical satellite imaging is the high turbidity of the water. This limits the maximum depth in which recognition of macrophytes is possible, which is particularly the case for internal Bodden waters. Here, the low light penetration in the water column reduces the maximum depth through which recognition of coverage is possible. Moreover, given the high heterogeneity of the macrophyte stocks no conclusions on the species compositions can be drawn only from optical images. The area of interest around the island of Hiddensee was reviewed (Fig. 2) for the occurrence of seagrass meadows using recent August 2015 high-definition satellite images.



Fig. 2: Satellite images: A) outer coast 'Enddorn', B) Bodden waters, 'Fährinsel'. (Google Earth pro 7.1, image date: 09/08/2015). Seagrass meadows appear as dark areas on a sandy seafloor. Red lines show dive transects.

2.3 Sidescan Sonar

The sidescan sonar is an acoustic method, which recognizes structures, such as sand ripples, rocks, vegetation, etc. on the seafloor Fig. 3. Macrophytes can be seen clearly in the lowermost area of the scan white arrows, whereas the middle is without vegetation. For this mapping project, the sidescan sonar StarFish 990F of the manufacture Tritech was used. Depending on factors such as water depth, scan speed and the selected scan width, a maximum resolution between 1 – 5 cm and a maximum lateral scan range of 70 m can be achieved. The high resolution data gained provides a good overview of the features of the sea floor at a reasonable cost. Thus the technique is a useful tool for fieldwork. For mapping work, the sidescan sonar was fixed under the hull of a metal motorboat and selected areas (Tab. 1) of the Bodden and outer coast were covered, driving parallel transects at a slow speed max. 2 Kn. The structure of the seafloor was visualized in real time during fieldwork using StarFish software. This allowed the boat driver to get a direct impression of the presence/absence of vegetation in an area. The gained data were related with georeferenced data through StarFish GPS positioning (accuracy ± 9.1 m) and recorded. Sidescan data were used to draw plan diving operations with Google Earth pro 7.1.

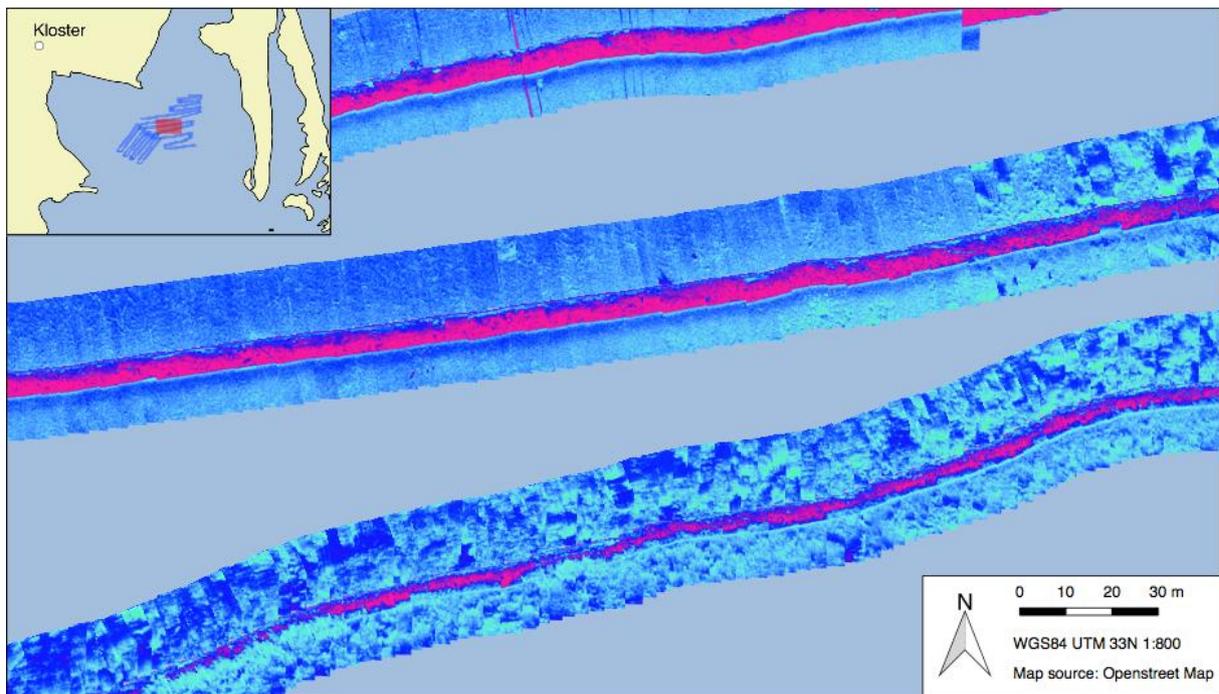


Fig. 3: Detail of the surveyed transect 'Klosterloch'. An Overview of the Position B Areas with and without vegetation.

2.4 Scientific diving

To compare the results of the sidescan sonar, a team of three scientific divers were employed in the areas previously surveyed with sonar. All dive operations were conducted according to German scientific dive regulations GUV-R 2112.

Water depth measurements were taken using the echo sounder of the motorboat. Values of the Bodden area were corrected for water level fluctuations and related to mean water level (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Germany, www.pegelonline.wsv.de). Transects were established from shallow 1.6 m to deeper areas making sure to cover the depth gradient of the region until the lower macrophyte border was reached. Dive stations were established at a regular distance of 50 – 60 m along transects to gain quantitative information about vegetation distribution. Positions were marked using a handheld GPS Garmin etrex legend Hcx (accuracy ± 2 m). To gather quantitative data about macrophytes coverage, vegetation height, species composition and biomass, a 0.1 m² steel frame (33 × 33 cm, Fig. 4), similar to those used in EU-WFD surveys, was chosen for comparisons between surveys in other areas.

Coverage was estimated by using a scala from 0 – 100 % in steps of 5 %. To account for the canopy effect of tall macrophytes *Zostera marina* and *Stuckenia pectinata*, coverage was distinguished between upper and lower layers. Thus, in some cases, the total coverage can exceed 100 %. Mean vegetation height was measured for each taxon in cm. Before sampling, calibration dives were conducted at the same station with different divers from the team to assure agreement in terms of the judgment of coverage, vegetation height and species. At each station, the frame was used to determine vegetation coverage %, vegetation height and species composition. Additionally, vegetation samples, including rhizomes of macrophytes, were taken and

transported in plastic bags for further laboratory analysis. For interpretation of the data, a picture of each steel frame and its vegetation was taken



Fig. 4: A 0.1 m² (33 × 33 cm) steel frame for evaluation of % coverage, vegetation height and taxonomic composition

In the laboratory, the collected samples were taxonomically sorted according to Pankow 1976 for macroalgae and Weyer & Schmidt 2007 determination keys. If necessary species that were determined with the use of a microscope Olympus SZX12.

For dry weight biomass determination, samples were placed in labelled, aluminium foil cups and put in a dry oven at 105 °C for 24 h. Biomass was determined using standard laboratory scales Kern PCB max 3500 g ±0.01 g, Sartorius BP310 S max 310 g ±0.01 g and RADWAG AS220.R2 max 220 g ±0.001 g. Species with a biomass below the measurement uncertainty were qualitatively recorded. In further statistical analysis, these species were given a biomass value of 0.001 g, corresponding to the measurement uncertainty of the scale.

2.5 Statistical analysis and cartography

The recorded macrophyte parameters % coverage, species biomass and vegetation height were analysed for similarity between the different survey regions using Cluster analysis, non-metric Multidimensional Scaling MDS with the program 'PRIMER-e v6' (Clarke & Gorley 2006). Survey stations without vegetation were not considered in the statistical analysis. All raw data were transformed using the 'squareroot option' prior to analysis. Similarity matrices for Cluster analysis and MDS were built using the Bray-Curtis index. The Cluster analysis was tested for the occurrence of significant clustering using the SIMPROF test. Differences were set significant at $p < 0.05$.

To simplify interpretation of the change in macrophyte communities along the depth gradient, the multivariate data set was transformed in a univariate data set. Therefore, data concerning biomass and coverage for single species were considered in three classes: macrophytes as a whole, spermatophytes and macroalgae. Given the low information density on vegetation height, only a median height between all macrophytes was considered. Moreover, to get a representation of macrophyte community diversity, the biomass data set was transformed in a presence/absence matrix. A Shannon diversity index H' was then calculated. To visualize how different vegetation groups, change along the depth gradient, the recorded depth values were grouped in classes and plotted in a series of whisker box-plots.

A Mann-Whitney U-Test was performed to see if the recorded parameters significantly differed between Bodden and the outer coast. For the analyses the program 'IBM SPSS Statistics v22' was used. Differences were considered significant at $p < 0.01$. Cartographic illustrations were made using the program 'QGIS v2.14.0 - Essen'.

3 Results

3.1 Macrophyte biomass

The MDS plot of the macrophyte species biomass (Fig. 5), show three significant groupings with fair discrimination between the inner and outer coast. The stress value of 0.16 in the 2D-MDS is average, signalling some distortion in the graphical representation compared to the raw multivariate data. Similarity within single groups is low and varies between 37 % in the cluster dominated by the Bodden stations, 36 % and 57 % in the other two clusters dominated by outer coastal stations. This suggests a high variance between the different sampling stations. Also noticeable is the presence of two outliers 'LI5' and 'KL7', this can be explained due to low biomass at these stations.

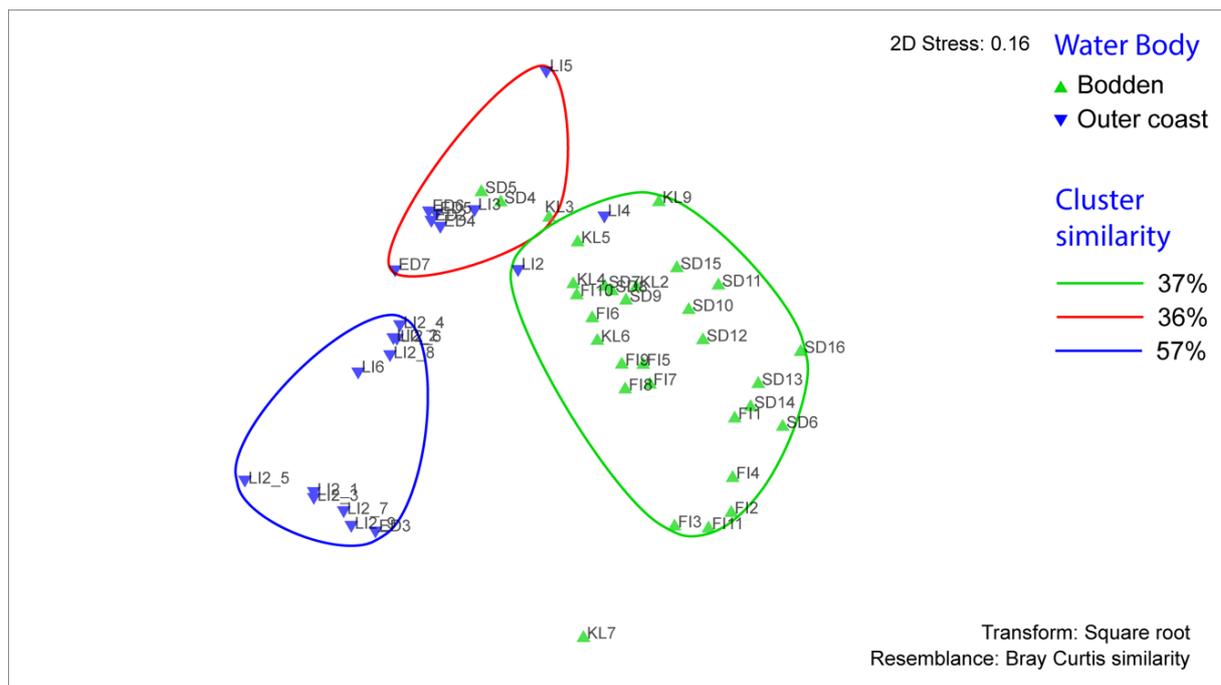


Fig. 5: Multi-dimensional scaling (MDS) analysis of macrophyte species biomass. Circles show overlaid clusters of cluster analysis at $p < 0.05$. Transect abbreviations: ED = Enddorn, LI = Libben, LI2 = Libben2, KL = Klosterloch, FI = Fährinsel, SD = Schaprode.

3.2 Macrophyte percentage species cover

The MDS plot of the percentage of macrophyte species cover (Fig. 6), show three significant groupings. While the distinction between the inner and outer coast appears evident in two of the clusters, the third is less clear, with an equal number of Bodden

n = 9 and outer coastal n = 9 stations. The stress value of 0.12 in the 2D-MDS is average, signalling some distortion of the graphical representation, compared to the raw multivariate data. Analogous to the biomass, similarity within the single clusters is low, varying from 29 % in the Bodden cluster, 36 % and 57 % in the other two clusters. This suggests a high variance between different sampling stations. Also noticeable is the presence of one outlier 'KL7'. This can be explained due to the low percentage of coverage at this station.

The ANOSIM permutation test displays a significant difference $p = 0.001$ between Bodden and the outer coast, with a calculated Global-R value of 0.438.

Analogous to the biomass, the percentage of coverage of macroalgae on the outer coast and water depth shows a significant, positive correlation $\rho = 0.617$, $p = 0.004$. All other recorded parameters do not show a significant correlation with depth.

Noticeable is the high variation of percentage of coverage of spermatophytes. This can be explained due to the high heterogeneity of the sampling stations. Remarkably, in the Bodden, the percentage of coverage of spermatophytes is up to 70% at the lower macrophyte border 3.8 m.

The Mann-Whitney test only shows a significant difference between the inner and outer coast only for the percentage coverage of spermatophytes, with the Bodden showing a significant higher value $p = 0.011$ than the outer coast.

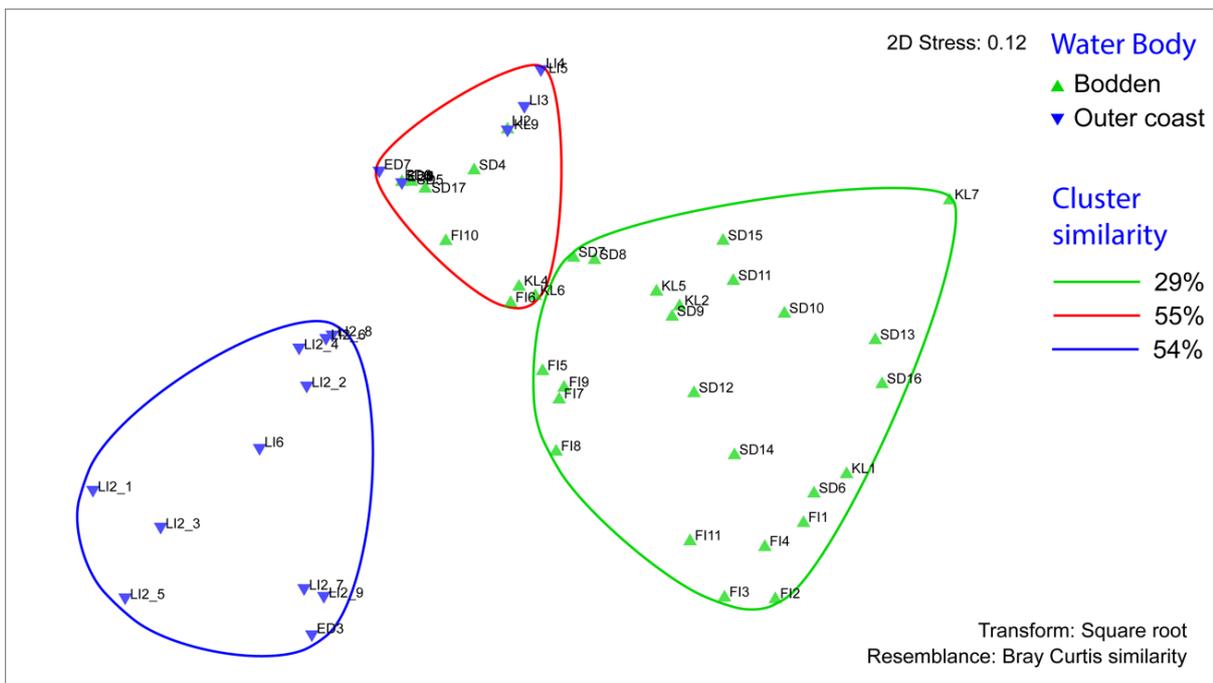


Fig. 6: Multi-dimensional scaling analysis of the percentage of macrophyte species cover. Circles show overlaid clusters of the cluster analysis at $p < 0.05$. Transect abbreviations: ED = Enddorn, LI = Libben, LI2 = Libben2, KL = Klosterloch, FI = Fährrinsel, SD = Schaprode.

3.3 Macrophyte vegetation height

On the outer coast, a low number of samples $n = 14$ due to the high patchiness of the seagrass meadows makes a statement about the parameter challenging. High dispersion of the data signals a high heterogeneity between sampling stations. Given this, a comparison between Bodden and outer coast does not appear viable. For this reason, further analysis concerning this parameter only considers data about the Bodden.

The median macrophyte vegetation height shows a significant positive correlation $\rho = 0.572$, $p = 0.001$ with water depth in the Bodden (Fig. 7). Remarkably, in the Bodden, the median vegetation height can be up to 110 cm at the lower macrophyte border 3.8 m.

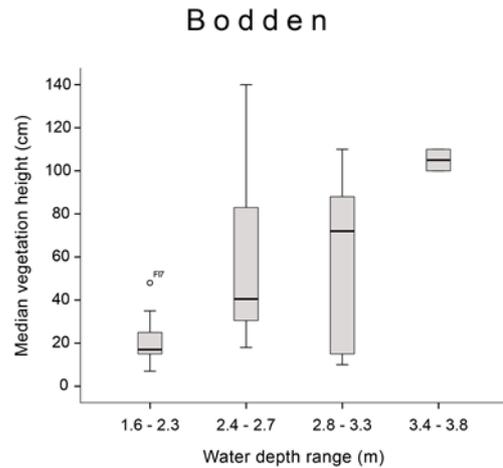


Fig. 7: Boxplot of the median vegetation height in Bodden at different depth classes.

3.4 Macrophyte community analysis

The Mann-Whitney test shows only a significant difference between inner and outer coast for the H' , with the Bodden showing a significant higher diversity ($p = 0.013$) than the outer coast.

In the euphotic zone no evident correlation appears between the recorded vegetation classes, neither for biomass or percentage coverage. Only vegetation height and the Shannon diversity Index H' showed significant opposite correlations with increasing depth. This could be explained by the fact that small, growing macrophytes may have a competitive disadvantage compared to canopy-forming spermatophytes, such as *Z. marina* and *S. pectinata*. The negative correlation of H' x median vegetation height supports this statement, as with increasing depth, spermatophytes outcompete small macrophytes.

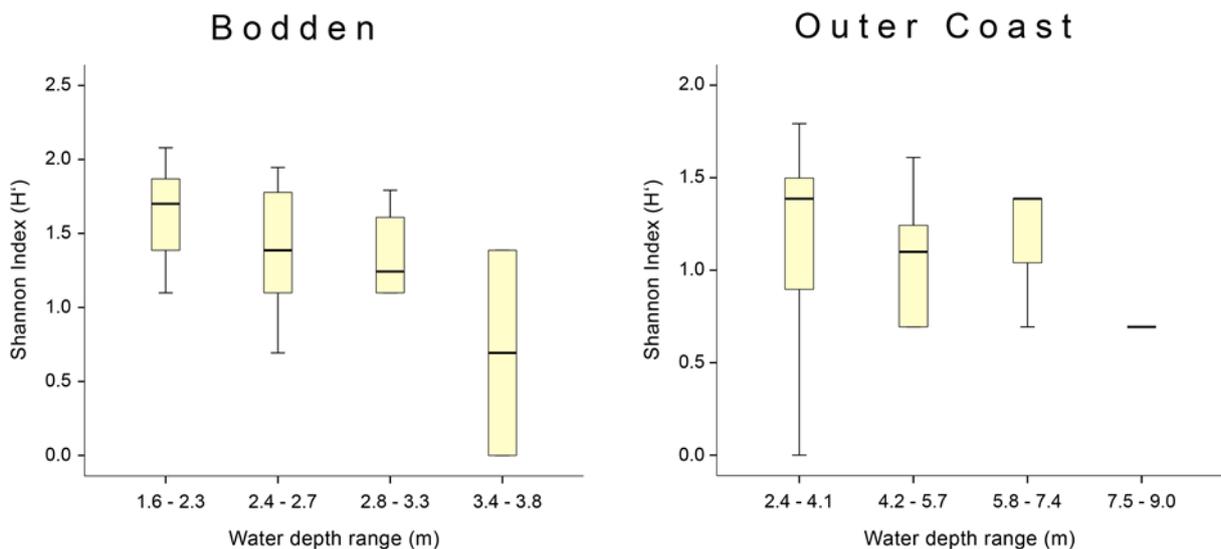


Fig. 8: Boxplot of the Shannon diversity index (H') at different depth classes.

4 Discussion

For coastal waters, there are three mandatory biological quality elements (BQEs) that are used to assess ecological status: phytoplankton, benthic invertebrates and macrophytes. Options for determining reference conditions were, in decreasing order of reliability: reference sites, historical data, modelling and expert judgement. Due to different characteristics of different water bodies the data were normalized for a comparison between ecological statuses Domin et al. 2004.

The current classification of the ecological status for inner coastal waters PHYBIBCO (Fürhaupter & Meyer 2015a) is based on the evaluation of three parameters: 'naturalness' of the community composition and the lower distribution borders of charophytes and spermatophytes. According to this model, different ecological values are given to different macrophyte species, from '4 - high' to '0 - low', depending on their tolerance to light attenuation (Fürhaupter & Meyer 2015a). For example, charophytes are considered indicators of a good ecological status and are therefore given a high 'ecological value'.

In outer coastal waters the evaluation of ecological status BALCOSIS (Fürhaupter & Meyer 2015b) differs slightly as many plant communities, such as charophytes and most spermatophytes are naturally not present in these ecosystems. Therefore, the lower distribution limit and proportion of opportunistic macroalgae were evaluated for three macrophyte classes: *Zostera marina*, *Fucus* spp. and *Rhodophyta* (Fürhaupter & Meyer 2015b).

As shown in the results, the Bodden and outer coast are significantly different, both for the macrophyte species biomass and percentage species coverage. The Bodden was characterized by a species composition that is typical for brackish transitional waters, with representatives of limnic ecosystems, such as *Stuckenia pectinata*, *Myriophyllum spicatum*, *Ruppia cirrhosa* and marine ecosystems such as *Zostera marina*, *Fucus vesiculosus f. balticus* (Athanasiadis 1996).

Shallow areas depth class 1.6–2.3 m were characterized by high patchiness, high diversity, low biomass and low vegetation height. The most common species were *Polysiphonia* sp., *F. vesiculosus f. balticus* (Athanasiadis 1996), and *S. pectinata*. Furthermore, occasional finds included single spots of *Z. marina*, *Furcellaria lumbricalis*. Blindow et al. 2016 reported a somewhat different vegetation composition for the shallowest parts water depth up to 0.8 m of the northern Vitter Bodden. Here, the most common species were *Ruppia* spp., *S. pectinata*, *F. vesiculosus f. balticus* and *Chara* spp. Below 1 m water depth, *S. pectinata*, *Ruppia* spp. and *F. vesiculosus f. balticus* were considered the most common macrophytes for this area.

In deeper areas depth classes 2.4–2.7, 2.8–3.3, 3.4–3.8 m, the proportion of spermatophytes to macroalgae increased, as well as the median vegetation height. In particular, the coverage, vegetation height and biomass of *Z. marina* increased. The most common species at these depths were *Z. marina* and *S. pectinata*, forming mixed and dense stocks. Furthermore, *Polysiphonia* sp. was found under these canopy forming macrophytes. The lower border for *S. pectinata* was determined at 3.0 m water depth, with occasional finds at 3.2 m (pers. Obs. May 2016). This is well below the results of Blindow et al. 2016 which considered this species the most common in between 1.0–2.0 m depth.

The lower border for *Z. marina* was determined at 3.8 m in the Schaproder Bodden, validating signals from the sidescan sonar with scientific divers. This species was dominant below 3 m from the 1930s to the 1960s Müller 1932; Müller-Stoll &

Künzenbach 1956; Overbeck 1965, whereas now it is considered dominant below 2.0 m Blindow et al. 2016.

Blindow et al. 2016 reported in the northern Vitter-Bodden that a maximal macrophyte coverage of 70 % was reached at 1.0 m and maintained up to 2.8 m water depths. This is in agreement with the results of the current study, as in the shallower areas depth classes 1.6 – 2.3, 2.4 – 2.7 m, the median macrophyte coverage was found to be 75 % and 85 % respectively. Overall, previous surveys in the Schaproder Bodden show a similar species community over the last years, with low change in depth distribution. Moreover, the highest overall coverage has been consistently found at intermediate depths of 2.0 – 3.8 m.

Weather conditions, wave action and the mechanical disturbance of ice in winter are considered to have the highest impact on biomass and species composition in the shallow, wind-exposed environments of the Baltic Sea (Idestam-Almquist & Kautsky 1995; Idestam-Almquist 1998). This is particularly the case for the Bodden, where large areas are shallower than 1.5 m, therefore determining the upper distribution limit of tall macrophytes. Moreover, the prevailing wind direction can generate temporary 'wadden' areas that are exposed at lower water levels. This is frequent in the shallowest parts of the lagoon water depth < 0.5 m around the peninsula of Bessin and the Gellen area. These areas are not relevant for the current study, rather wind fetch and consequent wave action certainly affect the shallowest parts of the investigated areas. This explains that the highest coverage and biomass is found at intermediate depths.

Other factors anthropogenic influences on macrophytes in this area are dredged waterways, frequent ferry traffic and harbours (Fürhaupter et al. 2009).

These results suggest that in the Bodden, light is not a major limiting factor for the dominant canopy forming spermatophytes *Z. marina* and *S. pectinata*. This is in contrast with other water bodies in the area, like the Greifswalder Bodden or the Darß-Zingster-Boddenkette, where the coverage of macrophytes decreases continuously with increasing depth, indicating significant light limitation (Blindow & Meyer 2015). Nevertheless, Blindow et al. 2016 reports that eutrophication affected also the WRB, as there has been a shift from charophytes to more resistant species such as *Z. marina* and *S. pectinata*. A reduction in eutrophication remesotrophication neither brought an improvement in water transparency nor in the depth distribution of macrophyte species. It has also been speculated that the relatively high frequency of mild winters in recent years, combined with eutrophication, excludes annual macrophytes, such as charophytes, from recolonizing shallow, coastal ecosystems (Blindow et al. 2016).

Compared to the Bodden, the outer coast had a lower species number, as most macrophyte groups are not adapted to higher exposure. For example, charophytes were completely absent and other spermatophytes such as *S. pectinata* or *R. cirrhosa* were found only occasionally. Moreover, exposure generated extreme patchiness in the seagrass meadows. Only one out of three transects 'Enddorn' had relative dense patches of eelgrass. This can be attributed both to the relative protection from land and the prevailing.

The shallow areas depth class 2.4 – 4.1 m were characterized by the highest biomass and coverage. Deeper areas depth classes 4.2 – 5.7, 5.8 – 7.4, 7.5 – 9.0 m showed little change in community diversity. While a measurement of vegetation height did not prove representative, probably due to higher degrees of exposure. An increase of height with depth, as it is the case in the Bodden, is not possible.

The percentage coverage and biomass of macroalgae increased significantly with depth. While this may seem counter-intuitive, it can be explained by the fact that, here, macroalgae are made up of mats of the rootless genus *Pylaiella* sp. Their distribution is therefore mainly determined by the local current regime, wave exposure and seafloor slope.

The limiting factor for the lower border of macrophytes is difficult to determine because of the low number of observations and the combination of exposure and potential light limitation. Even the determination of the lower border for *Z. marina* was not possible due to the extreme patchiness of the meadows. Nevertheless, eelgrass was found at 7.1 m with 25 % coverage in one transect and at 7.6 m depth in the following year (pers. obs. May 2016), which is a value that is close to the reference value of 7.2 m for a good environmental status of this water body (Fürhaupter & Meyer 2009). On the other hand, high proportions of opportunistic macroalgae *Pylaiella* sp. was found, which is a clear sign of eutrophication. In fact, the closest WFD stations in the Libben bight, 'Hiddensee' HID and 'Dranske' DRA, were given a bad and a poor ecological status, respectively, (Kuhlmann et al. 2015). The reason can be assigned to the fact that the Libben bight has prevailing westerly wind direction and is located directly downstream of the WRB. Therefore, this area receives nutrient rich waters from the WRB, thus enhancing the growth of opportunistic macroalgae.

Comparing the recorded parameters between inner and outer coast, only the spermatophyte biomass $p = 0.011$ and percentage coverage $p = 0.011$ proved to be significantly higher in the Bodden, whereas macrophytes as a whole and macroalgae were not significant. Therefore, we can assume with good confidence that the driving factor behind this difference is higher exposure on the outer coast, rather than different eutrophication levels.

The study shows that a combination is necessary for assessment of macrophyte distribution. Single methods cannot deliver the necessary overview and knowledge about the coverage to assess the ecological status. Best resolution for the distribution of macrophytes is the combination of the use of indirect methods such as satellites and sidescan sonar, which allow a great coverage, with little time spent in the field and validation in the field by diving to receive a high resolution with as quantitative and taxonomic statements.

Literature

- Athanasiadis, A., 1996. Taxonomisk litteratur och biogeogra av skandinaviska rodalger och brunalger, Algologia, Goteborg.
- Baltic Sea Action Plan – BSAP, 2013. Overview of implementation of the HELCOM Baltic Sea Action Plan.
- Blindow, I., & Meyer, J., 2015. Submerse Makrophyten während Eutrophierung und Re-Mesotrophierung – ein Vergleich von inneren und äußeren Boddengewässern. Rostock. Meeresbiol. Beitr. 25: 105 – 118.
- Blümel, C., 2004. Die Characeen in Mecklenburg-Vorpommern. Rostock. Meeresbiol. Beitr. 13: 55 – 72.
- Domin, A., Schubert, H., Krause, J. C. & Schiewer, U., 2004. Modelling of pristine depth limits for macrophyte growth in the southern Baltic Sea. Hydrobiologia 514: 29 – 39.
- Duarte, C. M., 2002. The future of seagrass meadows. Environmental conservation 29: 192 – 206.
- Fürhaupter, K. & Meyer, T., 2015a. Handlungsanweisung zum Bewertungsverfahren PHYBIBCO - Bewertung des ökologischen Zustandes der Makrophyten in den inneren Küstengewässern der Ostsee nach den Vorgaben der WRRL (deutsch). Version 1 Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG-MV), MariLim GmbH: 44s.

- Fürhaupter, K. & Meyer, T., 2015b. Handlungsanweisung zum Bewertungsverfahren BALCOSIS - Bewertung des ökologischen Zustandes der Makrophyten in den äußeren Küstengewässern der Ostsee nach den Vorgaben der WRRL (deutsch). Version 3 Auftraggeber: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR-SH), MariLim GmbH: 42s.
- Fürhaupter, K. & Meyer, T., 2005. Makrophytenmonitoring der inneren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns - Praxistest einer neuen Monitoringstrategie für die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG-MV), MariLim: 83s.
- Fürhaupter, K., Wilken, H., Berg, T. & Meyer, T., 2006. Makrophytenmonitoring der inneren und äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns - 3. Praxistest einer Monitoringstrategie für die EU-Wasser-rahmenrichtlinie. Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG-MV), MariLim: 141s.
- Fürhaupter, K., Wilken, H. & Meyer, T., 2009. WRRL-Makrophytenmonitoring in den Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns (2009) - Teil A: Innere Küstengewässer (ELBO-Verfahren) & Teil B: Äußere Küstengewässer (BALCOSIS-Verfahren). Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG-MV), MariLim GmbH: 92s.
- Idestam-Almquist, J., 1998. Temporal and spatial variation of submersed aquatic plants in the Baltic Sea. Ph.D. thesis, Department of Botany, Stockholm University. 216pp.
- Idestam-Almquist, J. & Kautsky, L., 1995. Plastic responses in morphology of *Potamogeton pectinatus* L. to sediment and above-sediment conditions at two sites in the northern Baltic proper. *Aquatic Botany* 52: 205 – 216.
- Jackson, E. L., Griths, C. A. & Durkin, O., 2013. A guide to assessing and managing anthropogenic impact on marine angiosperm habitat - Part 1: Literature review. Natural England Commissioned Reports, Number 111.
- Kautsky, L., 1988. Life strategies of aquatic soft bottom macrophytes. *Oikos* 53: 126 – 135.
- Larkum, A., Orth, R. & Duarte, C., 2006. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation* Springer. The Netherlands DOI: 10.1007/978-1-4020-2983-7_5
- LLUR-SH, 2014. Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins, Entwicklung und Bewirtschaftungsziele; Herausgeber: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR).
- LUNG, 2013. Zur Entwicklung und zum Stand der Nährstoffbelastung der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns. Berichte zur Gewässergüte, herausgegeben vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow.
- Müller-Stoll, W. R. & Künzenbach, R., 1956. Über die standortbedingten Wuchsformen von *Fucus vesiculosus* in den Gewässern der Insel Hiddensee. *Archiv für Protistenkunde* 101: 289 – 334.
- Schubert, H., Blümel, C., Eggert, A., Rieling, T., Schubert, M. & Selig, U. 2003. Entwicklung von leitbildorientierten Bewertungsgrundlagen für innere Küstengewässer der deutschen Ostseeküste nach der EU- WRRL. Forschungsbericht zum BMBF Projekt ELBO. Förderkennz. 0330014: 1 – 109.
- Schubert, P. R., Hukriede, W., Karez, R. & Reusch, T. B. H., 2015. Mapping and modelling eelgrass *Zostera marina* distribution in the western Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 522: 79 – 95.
- Selig, U., Schubert, H., Eggert, A., Schories, D., Schubert, M. & Blümel, C., 2007. Ecological classification of macroalgae and angiosperm communities of inner coastal waters in the southern Baltic Sea. *Ecological Indicators* 7: 665 – 678.
- Short, F., Carruthers, T., Dennison, W. & Waycott, M., 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350: 3 – 20.

Dirk SCHORIES^{1,2}, María José DÍAZ^{3,4}, Ignacio GARRIDO^{1,5,6}, Thomas HERAN^{3,4}, Jorge HOLTUEUER⁷, Jose Luis KAPPES¹, Gesche KOHLBERG⁸ & Gerd NIEDZWIEDZ^{8*}

¹ Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

² DLR Projektträger, Heinrich-Konen-Straße 1, D-53227 Bonn, Germany

³ Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven, Germany

⁴ University of Bremen, Bibliothekstraße 1, 28359 Bremen, Germany

⁵ Centro de Investigación de Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL), Valdivia, Chile

⁶ Département de biologie & Québec-Océan, Université Laval, Québec (QC) G1V 0A6 Canada.

⁷ Asesorías Ambientales y Buceo Profesional, Empresa KOJH, Punta Arenas, Chile.

⁸ Universität Rostock, MNF / Institut für Biowissenschaften, Meeresbiologie, Albert-Einstein-Straße 3, 18059 Rostock, Germany

dirk.schories@gmx.de

Analysis of time-lapse images as a tool to study movement in situ in four species of sea urchins and one limpet from North Patagonia and the South Shetland Islands

Abstract

Time lapse photography closes a gap to other benthic studies, where the community and its structure is often investigated by estimates of percentage cover and abundance of epibenthic organisms. We realized preliminary experiments of the movement patterns of the three Southern Chilean sea urchin species, *Arbacia dufresnii*, *Loxechinus albus*, *Pseudechinus magellanicus* and the Antarctic species *Sterechinus neumayeri* in shallow water (10 m depth). Additionally, we included the Antarctic limpet *Nacella concinna* from a subtidal location in our study. The maximum movement activity of single specimen of all four species varied between 22.5 cm and 62.5 cm h⁻¹ during day time. Both Antarctic species *N. concinna* and *S. neumayeri* were much more active compared to the species from North Patagonia. They were in movement at 44 % and 49 % of all observations, which were recorded in intervals of 1 min. Stop intervals were more pronounced in the species from Northern Patagonia. They were only active between 5 % (*L. albus*), 20 % (*A. dufresnii*) and 30 % (*P. magellanicus*) of all observation intervals. We compared our results with literature data from other echinoids and gastropods, worldwide. Our preliminary results indicate that all species fit well in the activity range known from other species. We have found no evidence that the movement of animals from polar regions differ during austral summer significantly from animals of temperate or tropical zones.

Keywords: time lapse, limpet, sea urchin, Antarctica, Chile, locomotion

1 Introduction

The study of interactions between species in a benthonic community contains methodology of different difficulties (Brinkhurst 1975, Peckarsky 1979). Although useful, laboratory studies cannot fully replicate natural conditions. However, these studies can contribute to examining the frequency and impact of every interaction that could be replicated in the community. Therefore, to assess the biological importance of several populations in the field it is necessary to perform in situ measurements in the field. Some techniques used to assess in situ interaction and movement include study of colonization, caging experiment and visual observations (Peckarsky 1979). Although visual observation is intuitively the most attractive method of assessing benthonic populations, it has some limitations, such as the size of the organism, the disturbance of the observer and the difficulty of underwater observation.

For a scientific diver, in situ observations of macroepibenthic organisms for periods exceeding the allowed time range present a variety of technical challenges. A comprehensive review of the status and trends in underwater videometric measurement techniques for the last century is given by Shortis et al. (2007). Nowadays, battery energy demands as well as the recording capacity system is not any longer a limit for autonomous long-term operations. Due to the fact that the time scales of biological and ecological processes are often in the order of hours or days. These days, camera systems can cover the respective time course and pattern of the phenomenon in question.

The first time-lapse studies were realized by simply observing a specimen by eye and noting its behaviour at regular time intervals. This method was used in an upright microscope (Carey & Pettengill 1967), in aquaria and in the field. Drawing layouts and taking images at regular intervals demonstrated the whole range of dynamics, from a single cell to population (Paddock 2001). Most probably, Kenneth Read was in 1967 the first diver who accomplish time-lapse photography on sea urchins with a motion picture camera designed by Harold E. Edgerton (Marx 1990). Rupert Riedl mentioned already in 1963 and in 1967 the need for time-lapse photography to replace scuba divers and consequently, he designed a variety of housings for this purpose (Riedl 1963, Riedl 1967). In the 1970s, underwater time-lapse studies became in demand for answering, both, behavioural questions and interactions between benthic organisms in shallow water as well in the deep sea (Fedra & Machan 1979). Paul et al. (1978) used a Bottom Ocean Monitor developed by Gerard and Thorndike in 1974 to take time-lapse photographs in the deep-sea at 4873 m water depth. Innumerous studies have been conducted since that time.

Time-lapse photography closes a gap to other benthic studies, where the community and its structure is often investigated by estimates of percentage cover and abundance of macroepibenthic organisms (Beuchel et al. 2010), adding by this method its dynamic over a certain time period. Motion studies not only allow the analysis of the displacement of benthic organisms between its start and endpoint over long time periods (Creese 1982, McClintock & Lawrence 1986, Andrew et al. 2002) but they can also track the total distance travelled by the organisms including their inactivity, mobility time and velocity in detail. Here we present primarily in situ experiments about movement patterns of sea urchins and a limpet with two camera systems used under cold-water conditions, together with a comparison of these data with other species.

In our primarily study we focused on five species. Two species are found in the Antarctic region. The limpet *Nacella concinna* (Strebel 1908) is distributed from the intertidal to about 110 m depth in decreasing abundances (Powell 1951, Powell 1973,

Clarke et al. 2004), whereas the sea urchin *Sterechinus neumayeri* (Meissner 1900) occurs from the shallow subtidal down to 1200 m (Brey & Gutt 1991, Jacob et al. 2003). Both species are omnivorous, scratching among other microbial films, algae, and bryozoans from the ground (Brey & Gutt 1991, Clarke et al. 1994). There is only limited information about the activity patterns of both species. Walker (1972) mentioned the movement of a subtidal population to the intertidal during the austral summer. A similar vertical movement within the intertidal is known for several species.

The three Southern Chilean sea urchin species that were tracked in our survey are *Arbacia dufresnii* (Blainville 1825), *Loxechinus albus* (Molina 1782), *Pseudechinus magellanicus* (Philippi 1857). Their distributional patterns and diets were studied in a giant kelp forest (*Macrocystis pyrifera*) at Puerto Toro, Navarino Island, Chile by Vásquez et al. (1984). *Arbacia dufresnii* is a common sea urchin inhabiting both coasts of South America (Lessios et al. 2012) with a distribution from Puerto Montt, Chile (41°S) to Río de la Plata, Argentina (35°S). Around Tierra del Fuego is vertically distributed from 0 to at least 315 m water depth (Brogger et al. 2013), mainly on hard substrates. *L. albus* has a distribution from the Galapagos islands along the South American coast up to the Magellan Strait and in the Southern Atlantic up to the Islas de los Estados (Fenucci 1967). In Chile, it is present from shallow water down to 340 m and it is heavily exploited by local fishermen between 0 and 40 m depth (Arana 2005). *P. magellanicus* is a small but very abundant echinoid in Argentinean and southern Chilean waters. It is distributed along the South American coast from off Río de la Plata (35°S) in the Atlantic Ocean to Puerto Montt (41°S), Chile, in the Pacific Ocean; it is also found in islands of the Antarctic Sea (Bernasconi 1953). In Reloncaví Fjord, it lives in habitats of mixed gravel, sandy bottoms, rock, and clam deposits, occurring at depths of five to 20 meters.

Activity patterns like movement and stop intervals have never been recorded in any of the five species in situ before. Displacement and velocity studies were done before on several sea urchin species from temperate and tropical waters (Mattison et al. 1977, James 2000, Duggan & Miller 2001, Dumont et al. 2004, Tuya et al. 2004, Lauzon-Guay et al. 2006), whereas studies in the polar environment are scarce. Here we present primarily in situ experiments about movement patterns of sea urchins and a limpet with two camera systems used under cold-water conditions, together with a comparison of these data with other species. Our main objective is to compare whether polar species are less active than their relatives from temperate or tropical waters. In addition to our goal, we carried out an extensive comparison with literature data.

2 Study site

Time lapse photography studies of *S. neumayeri* and *N. concinna* were realized at King George Island (KGI) (62°02'S, 58°21'W), South Shetland islands, situated at ca. 120 km off the northern coast of the Antarctic Peninsula (Fig. 1). Images were taken at Fildes Bay, a 16 km long bay, opened in south-east direction, and lying between King George and Nelson Islands. The Chilean Antarctic research base Escudero, from where diving operations were realized, is located at the innermost, eastern part of the bay. The study area can be shortly described as follows: SHOA rock (62°12'12"S, 58°56'37"W), a small, vertical rock, down to 8 m depth, then with moderate slope down to 40m, bottom with pebbles and rocks, becoming mainly soft below 40 m. The camera was placed in a depth of about 10 m. Calcareous red algae of the genera

Lithothamnium and *Lithophyllum* were the most prominent representatives of bottom algae.

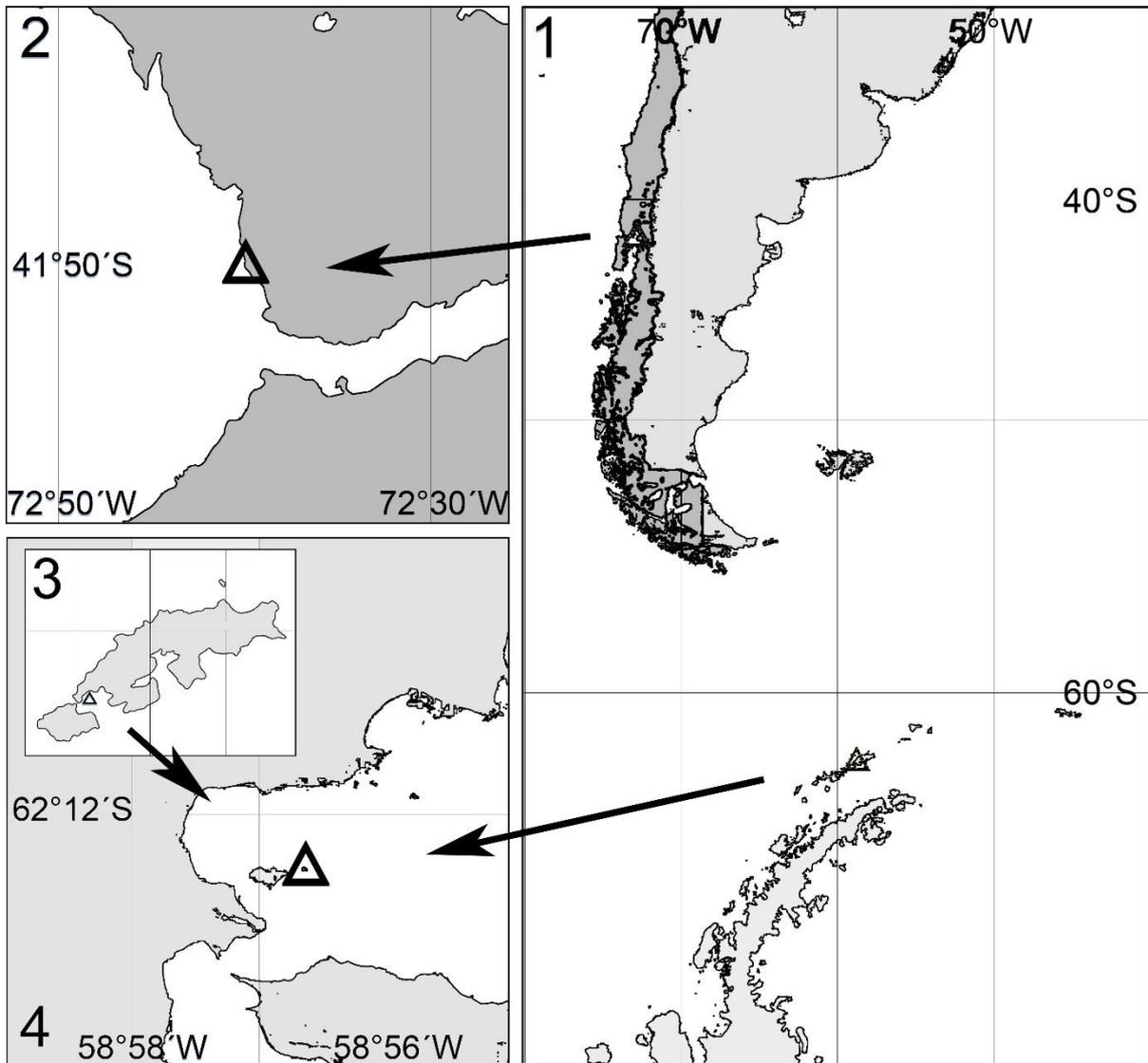


Fig. 1: Stations: (1) Map of continental Chile and Southern South America, Drake Passage and Antarctic Peninsula; (2) Caleta Yervas Buenas, Reloncaví Fjord, Chile; (3) King George Island, South Shetland Islands; (4) Fildes Bay. Triangles indicate station position.

The other part of the study was conducted in southern Chile, in the Lake District, in Caleta Yervas Buenas ($41^{\circ}40.3915' S$, $72^{\circ}39.4404' W$). It is located 35 km south of Puerto Montt, in the direction of the Reloncaví Fjord. This area has an average annual rainfall of 2,342 mm, having a maximum in the month of June (Di Castri & Hajek 1976). The average air temperature in summer is $15.1^{\circ}C$, while in winter the average drops to $7.7^{\circ}C$ (Di Castri & Hajek 1976). The temperature of the water column at a depth of 20 m, tends to vary between $10^{\circ}C$ and $11^{\circ}C$. This study site is under the influence of heavy shellfish exploitation by artisanal fisheries. Sea urchin fishery is not conducted in this area because of the small diametric size of the species. Maximum measured differences between low and high tide are close to 7 m. The camera was placed at 10 m depth (mean tide level). Images of *L. albus* and *A. dufresnii* were taken on rocks,

whereas time lapse sequences of *P. magellanicus* were taken in a habitat covered with shells and sand.

3 Methods

We conducted two different camera settings to measure the activity of sea urchins and limpets. Time lapse video recording was used in the Antarctic Region, whereas additional high resolution image sequences were taken in the Reloncaví Fjord. The daily movements of the Antarctic sea urchin *S. neumayeri* and the limpet *N. concinna* were studied in the Fildes Bay (King George Island, Antarctica) in situ. A camera (Sony DCR-TRV 900) in an underwater housing was mounted on a tripod about 1.2 m above bottom and set to record 1 second of video every minute. The recording was made between February 21 and 26, 2011 between 12:30 – 18:30 hrs. In total five recordings were made. A Bitmap image of the first frame of each video sequence was extracted and selected for analysis. The number of urchins and limpets analyzed per video sequence varied in dependency of their abundance for each recording date. Position of urchins and limpets were recorded every minute for the length of each video or until they left the field of view with the software ImageJ vers. 1.44 and the manual tracking plugin. From these data, we calculated individual speed (total distance travelled divided by total time of observation) and proportion of time spent moving (number of time intervals during which an urchin moved divided by the total number of intervals).



Fig. 2: Installation of a SONY TVR 995 video camera near Caleta la Arena, Reloncaví Fjord, 10 m depth

We used the same analysis and experimental design in Reloncaví Fjord (Fig. 2), but we made additional recordings with a high resolution photo camera (NIKON D70s) to record especially the activity of the small sea urchin *P. magellanicus*. Images of *L. albus* and *A. dufresnii* were recorded together, whereas time-lapse images of *P. magellanicus* were taken separately. The NIKON D70s was mounted 0.5 m above bottom. Image distortion was corrected with the freeware Hugin-2011.4.0.

In total nine recordings were made between July 2010 and November 2011. Recording time varied between 60 min and 6:40 hrs depending on camera settings and technical issues.

We used an external self-built interval recording control for the NIKON D70s that used the camera's remote control input to execute the time-lapse recordings.

Six additional quantitative samples were taken to estimate density and size of urchins and limpets close to the recording spots. Due to the more complex habitat in the Reloncaví Fjord we estimated the density of the sea urchins on sand and rock and checked their densities also with increasing depth.

We present the data for this primarily study as pooled data over all recording intervals due to the different recording times and densities of individuals. Additional descriptive data are shown as mean values \pm 1 SD.

4 Results

4.1 Size and density

At both study sites all species' mean diameter or length were below 5 cm. The biggest species was *L. albus*. The specimens of *L. albus* reach commercial size after 8 years and reproduce at 7 cm, but at the Reloncaví Fjord its mean diameter was only 4.51 ± 1.10 cm (Tab. 1). None of the measured individuals reached commercial size. The abundance of *L. albus* at 10 m depth was the lowest of all species on hard substrate with 7 ± 8 ind. m^{-2} , on shelly sand abundance at 10 m depth was 2 ± 4 ind. m^{-2} . The species was absent on both habitats between 20–40 m depth (Tab. 2).

Arbacia dufresnii was relatively small at the Reloncaví Fjord with a mean diameter of 2.87 ± 1.14 cm. It reached densities of up to 131 ind. m^{-2} on rock in 10 m depth, where we tracked the individuals, with a mean value of 41 ± 29 ind. m^{-2} . Its abundance on shelly sand was 95 ± 52 ind. m^{-2} . In 20 m depth *A. dufresnii* showed nearly the same abundance on rock surface as in 10 m depth, but it was scarce on shelly sand. In 40 m depth the species was found only sporadically on hard bottom.

P. magellanicus was the smallest species in this study with a mean diameter of 1.13 ± 0.20 cm but with very high abundances on shelly sand in all depths down to 40 m and with low abundances in 20 m depth on rock. Its abundance was in 10 m depth on shelly sand 135 ± 233 ind. m^{-2} and 775 ± 374 ind. m^{-2} in 20 m, respectively. Even still in 40 m depth it had an abundance of 51 ± 103 ind. m^{-2} (Fig. 3).

The Antarctic species *S. neumayeri* had a mean size of 3.30 ± 0.75 cm, individual size ranged between 1.80 and 6.40 cm. As for all other species its density showed huge variations with a mean value 9 ± 8 ind. m^{-2} in 10 m depth.

N. concinna was really abundant in the subtidal. Its average shell length was 1.92 ± 0.45 cm. The smallest individual was 1.00 cm in length, the biggest one 4.20 cm. Its density was 46 ± 16 ind. m^{-2} .

Tab. 1: Number of specimen for mean length /diameter calculation (size); number of individuals tracked for the movement studies (activity); N observations between intervals (total number of images taken); mean size in cm; min. / max. size of specimen; mean density in the area; maximum distance moved by a single individual; extrapolated mean daily inactivity per species.

	A. <i>dufresnii</i>	L. <i>albus</i>	P. <i>magellanicus</i>	S. <i>neumayeri</i>	N. <i>concinna</i>
n (size)	57	217	44	307	227
n (activity)	12	209	44	53	90
N (observations)	2518	13803	2684	2470	4328
size cm	2.87 ± 1.14	4.51 ± 1.10	1.13 ± 0.20	3.30 ± 0.75	1.92 ± 0.45
size range	1.23 – 5.92	1.23 – 5.92	0.75 – 1.79	1.80 – 6.40	1.00 – 4.20
density m ⁻²	41 ± 29	7 ± 8	135 ± 233	9 ± 8	46 ± 16
Max distance h ⁻¹	52.5	62.5	22.5	35.28	42.24
daily inactivity (h)	19h 13min	22h 43min	16h 48min	12h 18min	13h 28min

Tab. 2: Mean abundance of *A. dufresnii*, *L. albus* and *P. magellanicus* m⁻² in dependency of depth and substrate, Caleta Yervas Buenas

Depth	A. dufresnii		L. albus		P. magellanicus	
	sand	rock	sand	rock	sand	rock
10	95 ± 52	41 ± 29	2 ± 4	7 ± 8	135 ± 233	0
20	0 ± 1	42 ± 32	0	0	774 ± 373	27 ± 69
40	0	3 ± 6	0	0	51 ± 103	0

4.2 Locomotion

Different aspects of locomotion were studied: a) relationship between movement and stop intervals; b) mean & maximum velocity min⁻¹; c) maximum distance moved hr⁻¹; d) percentage of individuals without any activity hr⁻¹ (Tab. 1, Fig. 4, Fig. 5).

In total 209 individuals of *L. albus* were tracked and 13 803 time intervals were analyzed. In nearly 95 % of all observations *L. albus* did not move. This percentage did not change when we included movements shorter than 0.5 cm min⁻¹. The maximum distance travelled by one individual was 8.0 cm min⁻¹, however we never observed specimens moving more than 62.5 cm hr⁻¹. The activity of different specimens showed big variations. We observed specimens that did not move at all, whereas another specimen moved during 41 of 61 observation intervals.

Arbacia dufresnii was rare in the video sequences taken at the Reloncaví Fjord, although this species was in general more abundant than *L. albus* in the area. We gave preference for our camera settings to the observation of *L. albus*, because of its commercial value. Therefore, tracking of small *A. dufresnii* individuals was not possible. We could only track 12 individuals in all video sequences together. The maximum distance travelled by one individual was 3.2 cm min⁻¹, however we never observed specimens moving more than 52.5 cm hr⁻¹. In more than 97 % of 2518 observations *A. dufresnii* did not move. During tracking time, which varied between

1 hr and 3 hrs, 10 specimen showed at least in a single observation interval movement whereas two specimen remained all the time inactive. Tracking for these two specimen was 1:37 hrs.



Fig. 3: High densities of *P. magellanicus* on shelly sand at 10 m depth, Caleta Yerbabuenas, May 05, 2011.

Pseudechnius was the smallest species in our study. We tracked a total of 45 individuals and analyzed 2684 time intervals. In 70 % of these time intervals *P. magellanicus* did not move at all, in 9 % the individuals moved less than 0.2 cm min^{-1} . In 93 % of all observations *P. magellanicus* did not move at all or moved less than 0.5 cm min^{-1} . The maximum movement observed was 1.3 cm min^{-1} . A single individual moved 22.5 cm h^{-1} .

Compared to the activity patterns of the temperate species from the Reloncaví Fjord, the cold water urchin *S. neumayeri* and the limpet *N. concinna* were more active in our study. *S. neumayeri* was inactive at 51 % of all observation intervals, in 14 % of 2470 observations ($n = 53$) it moved less than 0.2 cm min^{-1} , whereas in 22 % of our tracking intervals the species moved at least 0.5 cm min^{-1} . We never observed an individual of *S. neumayeri* moving faster than 2.8 cm min^{-1} . Individual differences were pronounced, in one case a specimen only moved at one of 59 observations, whereas another individual were active in 44 of 49 observations.

97 individuals of *N. concinna* were tracked and all specimens moved at least once during the observation interval. Highest activity was 26 movements of 39 observations before the specimen disappeared from the field of view. As for all other species in our study, individual activity patterns differ extremely between specimens (Fig. 6). In total *N. concinna* was inactive in 56 % of 4328 observations, in 17 % of all observations *N. concinna* was active but moved less than 0.2 cm min^{-1} . In 91 % of all observations

for *N. concinna* the species did not move more than 0.5 cm min^{-1} . However, *N. concinna* is able to move much faster. In one observation an individual moved 3.1 cm min^{-1} . The longest distance one individual moved was 42.2 cm h^{-1} .

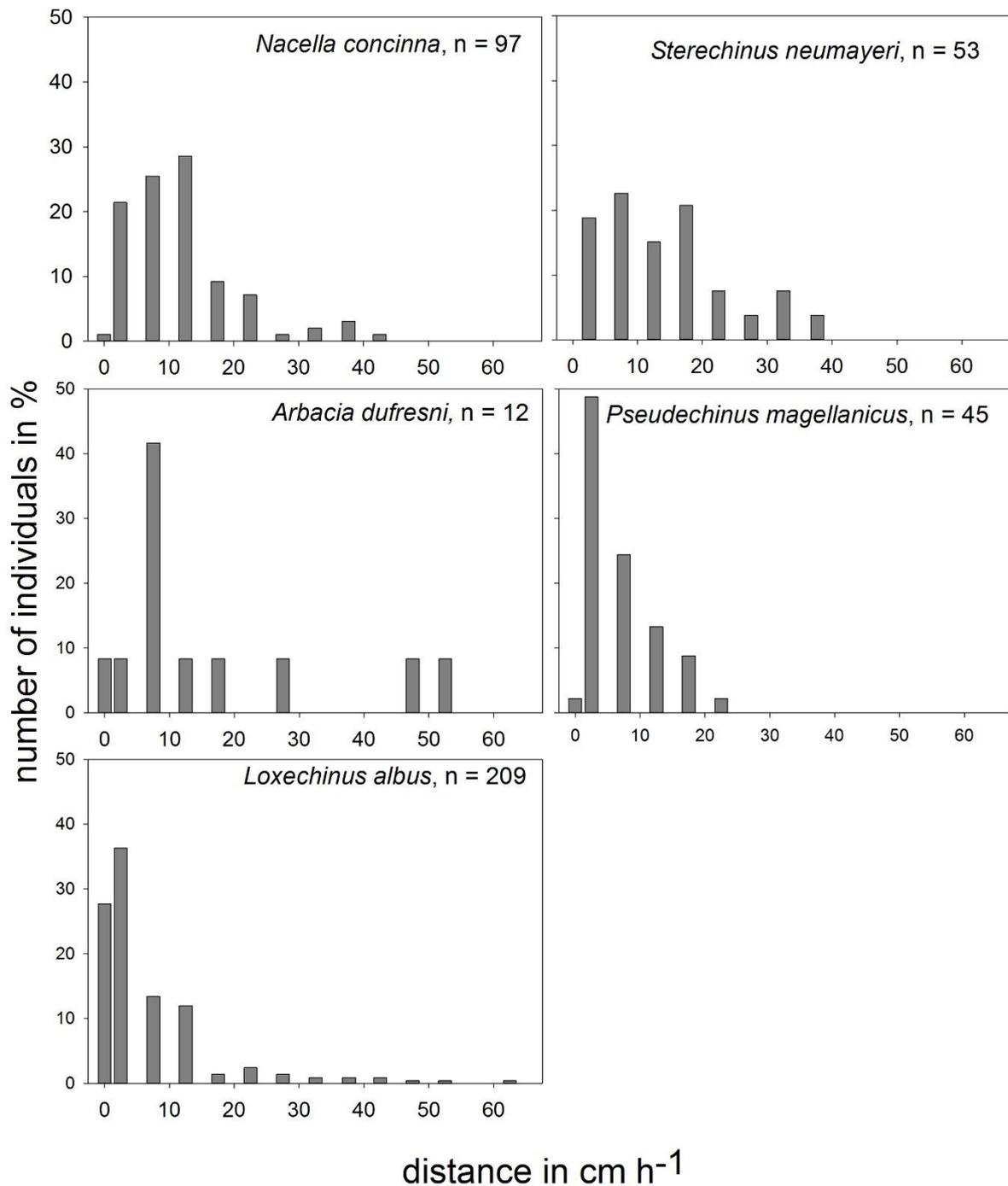


Fig. 4: Individual movement of the 4 sea urchins *A. dufresnii*, *L. albus*, *P. magellanicus*, *Sterechinus* and the limpet *N. concinna* in 10 m depth, values are given in cm h^{-1} .

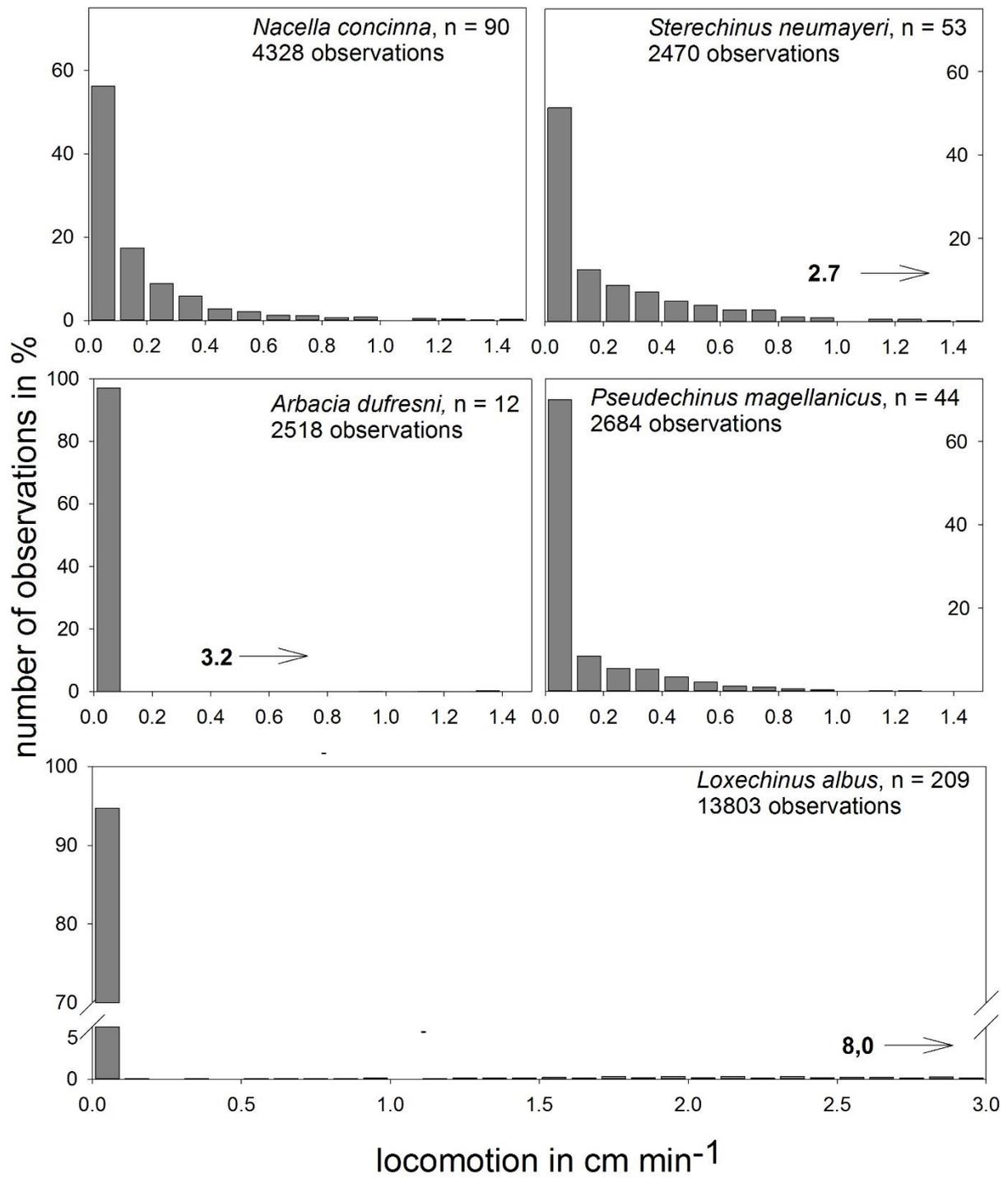


Fig. 5: Total number of observations in relation to the movement of the 4 sea urchins *A. dufresnii*, *L. albus*, *P. magellanicus*, *Sterechinus* and the limpet *N. concinna* in 10 m depth, values are given in cm min⁻¹. Specimens were tracked every minute.

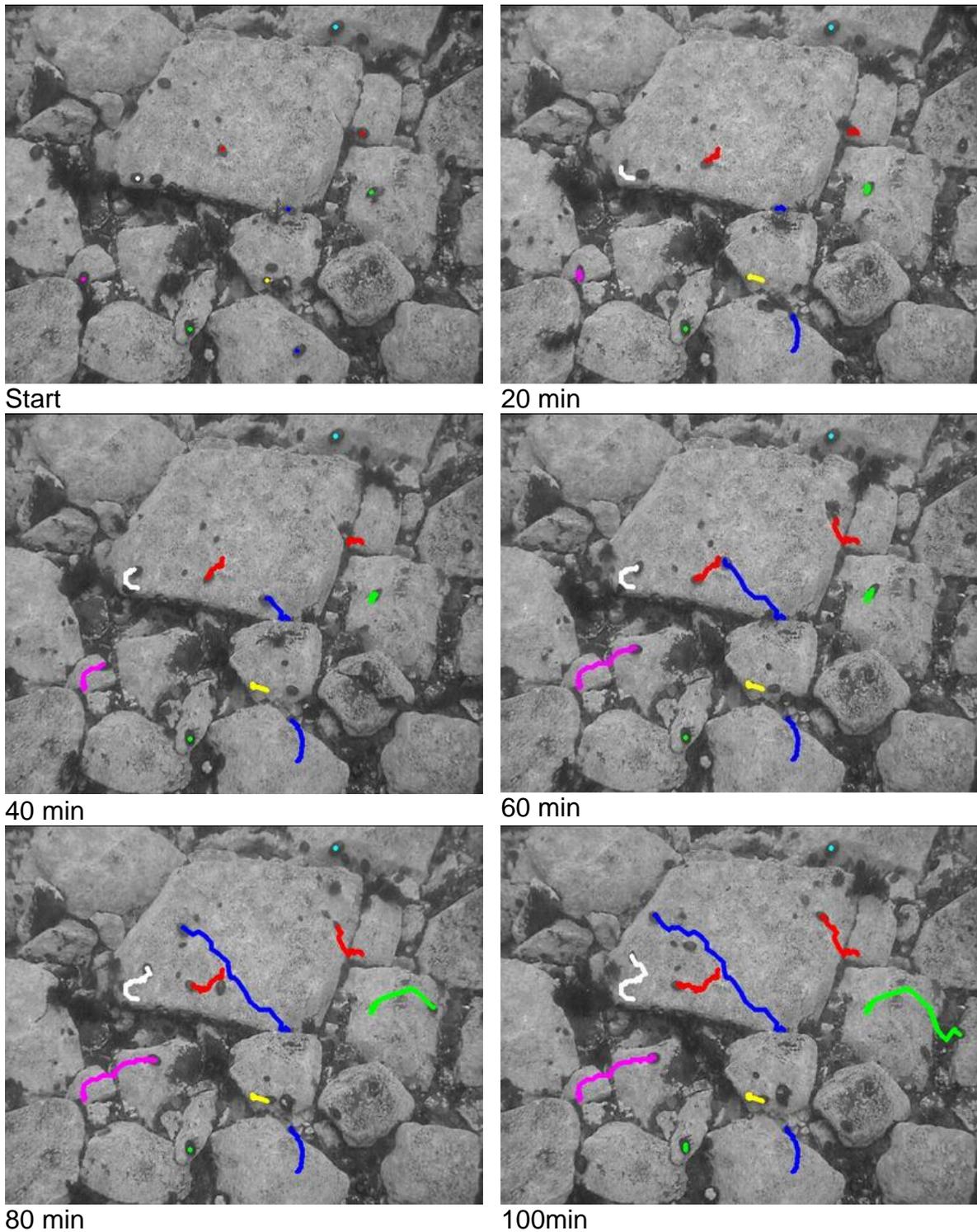


Fig. 6: Movement of 10 randomly selected specimens of *N. concinna* in course of time. Activity was recorded every minute.

5 Discussion

Movement studies of marine intertidal and subtidal gastropods and echinodermata are done since nearly 200 years, sometimes together with physiological studies (Lukis 1831, Romanes & Ewart 1881, Villee & Groody 1940). What started as first observations in the field followed by aquaria studies, has developed further in the

intertidal and shallow subtidal with different tagging methods, so that displacement studies could be done with limpets and sea urchins over days or weeks. However, tagging is at least for sea urchins not easy. It does not exist any reliable universal tagging procedures for these animals in the field. Each tagging method has its advantages and disadvantages (Dance 1987, Tuya et al. 2004) and depends on the sea urchin's morphology. External tags or marks (Sinclair 1959, Gamble 1965, Dix 1970, Shepherd & Boudouresque 1979, Hagen 1996, James 2000) can effectively be used to study short-term movements, but they have not proved to be worthy on a long-term basis. Authors who anchored tags in a hole in the test (Dix 1970, Nelson & Vance 1979, Duggan & Miller 2001) noticed that the hole did not recalcify and often resulted in up to 50 % mortality of the marked individuals. In contrast, tagging limpets is quite more simple and individuals can be marked individually with numbered commercial bee tags. For our studies it was not necessary to mark the animals, because the high image frequency enabled us to identify each individual in every photo, although it has moved a short distance.

Displacement studies gave new insights in the homing behavior of several species and the radius in which a species is active (Test 1945, Hazlett 1984). However, these studies give only limited information how active the animals are during a couple of hours or even days, so that in the following years several other innovative techniques have been developed to study the behavior and activity of marine organisms (Parpagnoli & Chelazzi 1995). Distances given as daily displacement of an individual might be only a small percentage of the total route moved by an animal within this time interval. Mattison et al. (1977) showed that the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* moves faster outside kelp forests than inside, but only daily displacement rates were noticed during the study by scuba divers and the total activity of this species remained unknown. For slow moving animals time lapse photography can close this gap, because by a more frequent data logging – in our studies one picture per minute – the complete movement of a limpet or sea urchin can be visualized and measured (Fig. 6 & 7). Other techniques are required for animals which move in the range of several meters or kilometers per day.

Ideas of observing and tracking animals in the field by time lapse photography, goes back to the time, when Scuba diving became a popular tool in marine science (Riedl 1963, Riedl 1967). Investigations of the mobility and behavior of aquatic organisms by time-lapse recordings have also been widely used in laboratory experiments (Schütz & Taborsky 2003). However, Thompson & Riddle (2005) showed that results obtained from organisms kept in an aquarium can be significantly different compared to experiments performed in situ. The authors studied the mobility of the sea urchin *Abatus ingens* for a period of 24 hrs in situ and in the aquarium. In the field during one day the sea urchins did not move for most the time (16.7 h), while specimen observed in the aquarium spent half the time moving. In addition, the average speed of the animals was faster in the aquarium than in situ. This shows the advantage of in situ time lapse observations like we did it. There is no handling stress and the organisms stay in their accustomed environment, the only unfamiliar thing might be the regularly flash of the camera.

Tables 3 & 4 summarize the activity of various sea urchin and gastropod species showing the range in which these species move. All these studies give a first insight in the activity patterns of the species and a lot of similarities can be found. Although some species move faster than others, there was no observation that a single species moved extraordinary fast over a longer time interval in comparison to the others. With $15.24 \text{ cm min}^{-1}$ the sea urchin *Echinus esculentus* moved faster than all other species

shown in tables 3 & 4, but its movement is based on a historical aquarium study and may not be representative for the mobility of this species in the field (Romanes & Ewart 1881). In comparison to *E. esculentus* the species *A. dufresnii*, *L. albus*, *P. magellanicus* and *S. neumayeri* observed in this study moved much more slowly, but this might also depend on their smaller size. Compared to others our results agree well with former studies. Obviously, the daily activity of the species in our study combined with their relatively high abundances in the field have a strong impact on habitat structuring. Figure 7 and also the image of *P. magellanicus* (Fig. 2) clearly demonstrate why erect algae did not have any possibility to develop under this high grazing and activity pressure. *S. neumayeri* and *N. concinna* are abundant in Fildes bay at depths between 3 and 10 m, *S. neumayeri* also on hard bottom up to 40 m depth (Sakurati et al. 1996). The vertical distribution of both species extends down to several hundred meters depth (Brey & Gutt 1991, Aldea & Troncoso 2008). However, we suppose that all organisms studied have their highest impact to benthic communities in shallow water, when densities can reach extraordinary high values. In our study *P. magellanicus* showed densities of 135 ± 233 ind. m⁻².

Davenport (1997) carried out a laboratory experiment with *N. concinna* at water temperatures of 2 °C and measured a movement of 0.6 cm h⁻¹. This accords somehow to our measurements. Our preliminary results demonstrate that the observed movement of the Antarctic limpet *N. concinna* varied in situ between total inactivity and a maximum movement of 18 cm h⁻¹. In the vast majority of all observations the animals did not move more than 0.5 cm min⁻¹. Although in one observation an individual moved 3.1 cm min⁻¹. This shows the complexity of movement studies.

Several environmental factors like tide level, daytime and food availability (Dix 1970), presence and absence of enemies (Beckett 1968) and seasonality (Walker 1972) influence the activity of animals, which makes mobility studies very complex and limits the transferability of results. Beckett (1968) observed in the field that escape reaction of the limpet *Cellana radians* to a predator can result in quadrupling its speed from 2.5 cm min⁻¹ during feeding to 10 cm min⁻¹. Studies about escape response were also done by Espoz & Castilla (2000) with the intertidal limpets *Lottia orbigny* and *Scurria viridula* in presence of a predator. Both species showed fast movements 6.3 ± 1.8 cm min⁻¹ SD and 8.6 ± 2.6 SD, but reaction did not last for more than a few minutes. This may demonstrate the limitations of the species to cover long distances in a short time. Dix (1970) noticed in aquarium experiments that the sea urchin *Evechinus chloriticus* is more active during night time than during day time and that activity depends on food availability. The effects of food and competitors on movement patterns in *Patella caerulea* limpets were studied by Keasar & Safriel (1994). Their experiments demonstrated when food is abundant, the benefit of foraging is higher than the costs of locomotion. We suppose that this was also the case for *S. neumayeri* and *N. concinna* during austral summer in Antarctica. Fraser et al. (2002) showed that *N. concinna* is feeding throughout the year. Faecal egestion was 10-fold from summer to winter and tissue ash-free dry mass decreased by 47 %. Also metabolic rates decreased significantly in winter.

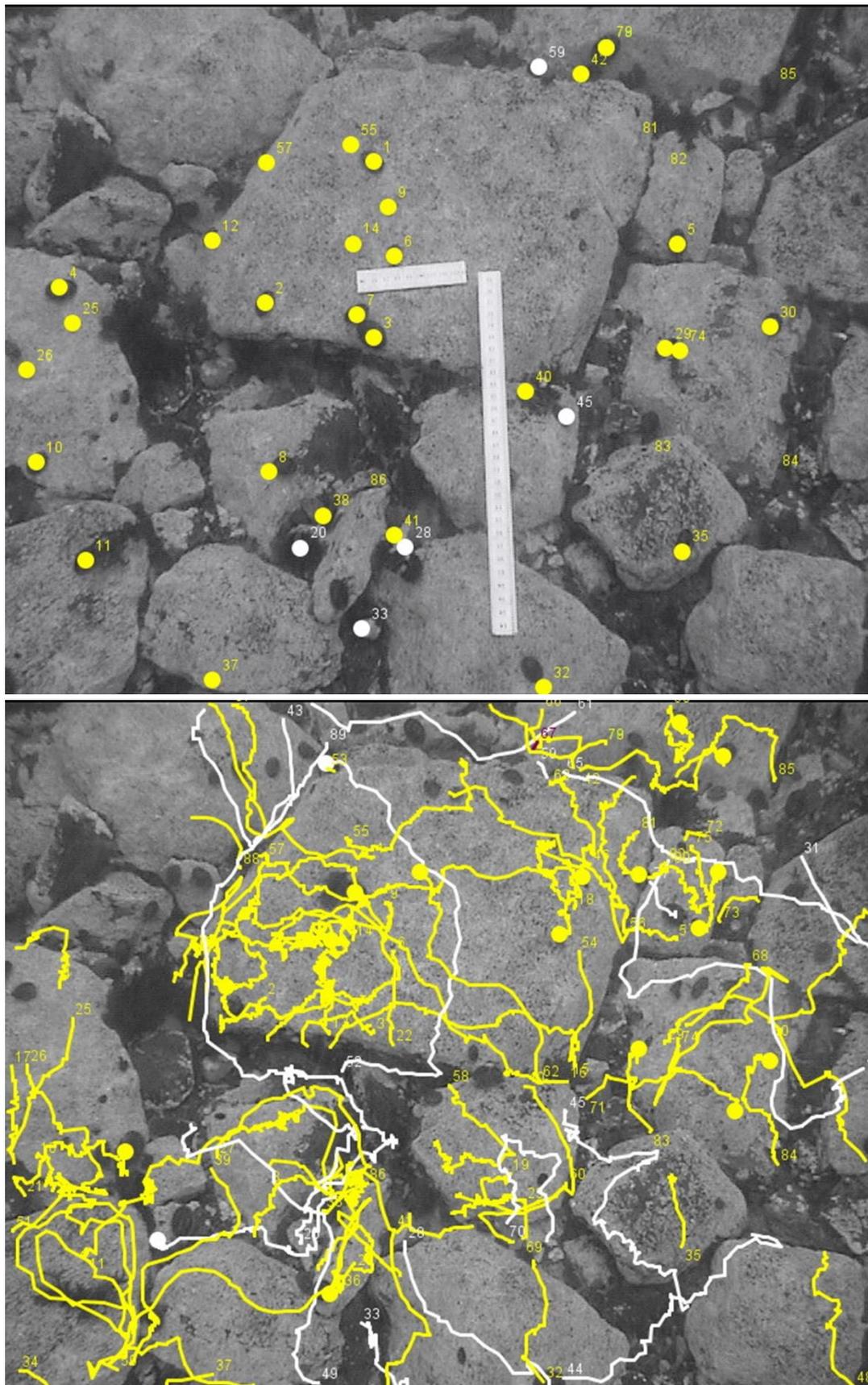


Fig. 7: Activity patterns of *S. neumayeri* (white lines) and *N. concinna* (yellow) at the beginning and after 6:40 hrs of time lapse recordings. Length of the larger tape measure = 30 cm. Note, that not all specimens in the images were tracked.

In our study our longest recordings lasted about 6:40 hrs. We do not have any information yet, if activity peaks in dependency of daytime exist or how the activity varies between seasons, especially if activity drops down in winter time when food availability is limited. Shabica (1976) showed that *N. concinna* has very high annual growth rates indicating high food availability. However, the magnitude how growth and activity varies between summer and winter months is unknown.

In our study the three sea urchin species from Northern Patagonia showed lower activity than their Antarctic counterpart. As mentioned above, the factors that influence movement of benthic sea urchins and limpets are too diverse to present a simple answer to our observations.

Tab. 3 Individual movement and displacement of different sea urchin species; (1) = velocity in cm min⁻¹; (2) = cm h⁻¹; (3) cm d⁻¹; \bar{x} = mean; SE = standard error; SD = standard deviation

Species	Velocity	Remarks	Author
<i>Abatus ingens</i> (2)	\bar{x} 1.95 ± 1.20 SD	Laboratory	Thompson & Riddle (2005)
<i>Abatus ingens</i> (2)	\bar{x} 0.30 ± 0.30 SD	In situ	Thompson & Riddle (2005)
<i>Arbacia punctulata</i> (1)	0.30	Laboratory	Harvey (1956)
<i>Arbacia punctulata</i> (1)	\bar{x} 2.22 3.50 - 4.00	undisturbed (Laboratory) disturbed (Laboratory)	Jackson (1939)
<i>Diadema antillarum</i> (2)	\bar{x} 33±26 SE	In situ, night time	Tuya et al. (2004)
<i>Echinarachnius parma</i> (1)	\bar{x} 0.84; max 1.8	Laboratory, on sand	Parker (1927)
<i>Echinus esculentus</i> (1)	15.24	Laboratory, on sand	Romanes & Ewart (1881)
<i>Lytechinus variegatus</i> (1)	\bar{x} 8.2; max 13.7	Lab. on sand, horizontal	Parker (1936)
<i>Lytechinus variegatus</i> (1)	\bar{x} 0.18; max 1.2	Lab. on sand, vertical	Parker (1936)
<i>Paracentrotus lividus</i> (3)	6 – 220	In situ	Hereu (2005)
<i>Paracentrotus lividus</i> (3)	\bar{x} 49 0 – 240	Displacement, in situ	Andrew et al. (2002)
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> (2)	\bar{x} 15.1 ± 2.6 SE	In situ	Lauzon-Guay et al. (2006)
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> (1)	0.25 – 0.48	In situ	Dumont et al. (2007)
<i>Strongylocentrotus franciscanus</i> (3)	\bar{x} 7.5 ± 3.3 SE	Displacement, in situ Inside <i>Macrocystis</i> kelps	Mattison et al. (1977)
<i>Strongylocentrotus franciscanus</i> (3)	\bar{x} 52.2 ± 6.5 SE	Displacement, in situ Outside <i>Macrocystis</i> kelps	Mattison et al. (1977)
<i>Toxopneustes roseus</i> (2)	\bar{x} 6.6 – 11.7		James (2000)

Tab. 4: Individual movement and displacement of different gastropod species.; (1) = velocity in cm min⁻¹; (2) = cm h⁻¹; (3) cm d⁻¹; \bar{x} = mean; SE = standard error; SD = standard deviation.

Species	Velocity	Remarks	Author
<i>Astraea tecta</i> (3)	\bar{x} 11	In situ, displacement over several months	Hazlett (1984)
<i>Cellana grata</i> (1)	\bar{x} 0.22 ± 0.06 SE \bar{x} 0.36 ± 0.03 SE	In situ, different months	Davies et al. (2006)
<i>Cellana ornata</i> (1)	0.2 – 1.5	In situ, feeding movements	Beckett (1968)
<i>Cellana radians</i> (1)	0.5 – 2.5	In situ, feeding movements	Beckett (1968)
<i>Cellana radians</i> (1)	8.0 – 10.0	In situ, escape response	Beckett (1968)
<i>Cerithium eburneum</i> (3)	\bar{x} 70	In situ, displacement over several months	Hazlett (1984)
<i>Cerithium litteratum</i> (3)	\bar{x} 53	In situ, displacement over several months	Hazlett (1984)
<i>Columbella mercatoria</i> (3)	\bar{x} 28	In situ, displacement over several months	Hazlett (1984)
<i>Lottia asmi</i> (1)	1.28	Laboratory	Test (1945)
<i>Nacella concinna</i> (1)	0.6	Laboratory at 2°C	Davenport (1997)
<i>Patella rustica</i> (1)	\bar{x} 0.42	In situ, last part of trail	Santina (1994)
<i>Patella vulgata</i> (1)	\bar{x} 0.64 \pm 0.26	In situ, increasing tide, movement to feeding habitats	Hartnoll & Wright (1977)
<i>Patella vulgata</i> (1)	\bar{x} 0.08 \pm 0.04	In situ, at feeding habitat	Hartnoll & Wright (1977)
<i>Patella vulgata</i> (1)	\bar{x} 0.55 \pm 0.21	In situ, returning home	Hartnoll & Wright (1977)
<i>Patelloida latistrigata</i>	25 (8 d) 64 (84 d)	In situ, displacement	Creese (1982)
<i>Phyllonotus pomum</i> (3)	\bar{x} 27	In situ, displacement over several months	Hazlett (1984)
<i>Scutellastra flexuosa</i> (1)	\bar{x} 0.14 ± 0.04 SD	Foraging speed, spring tide	Iwasaki (1999)
<i>Scutellastra flexuosa</i> (1)	\bar{x} 0.12 ± 0.06 SD	Foraging speed, neap tide	Iwasaki (1999)
<i>Siphonaria lateralis</i> (1)	0.9 max	Lab. Exp. at 15°C	Davenport (1997)
<i>Siphonaria lateralis</i> (3)	\bar{x} 21.3 \pm 30.2	In situ, minimum displacement	McClintock & Lawrence (1986)
<i>Siphonaria lateralis</i> (3)	\bar{x} 7.9 \pm 9.5	In situ, minimum displacement High intertidal site	McClintock & Lawrence (1986)
<i>Siphonaria lateralis</i> (3)	\bar{x} 5.0 \pm 2.6	In situ, minimum displacement Low intertidal site	McClintock & Lawrence (1986)
<i>Stramonita haemastoma</i> (1)	\bar{x} 9.61 \pm 1.26	Aquarium, sand	Papp & Duarte (2001)
<i>Stramonita haemastoma</i> (1)	\bar{x} 9.38 \pm 1.04	Aquarium, rock	Papp & Duarte (2001)
<i>Tegula fasciata</i> (3)	\bar{x} 13	In situ, displacement over several months	Hazlett (1984)
<i>Terebralia palustris</i> (3)	\bar{x} 79,8	In situ	Vannini et al. (2008)
<i>Testudinalia testudinalis</i> (1)	0.12	In situ	Miller (1974)

6 Outlook

Manual tracking of individuals as realized in this study is a very time-consuming process and should be omitted whenever possible. However, when organisms are not crawling any longer on plan surfaces but on pebbles, body form of the organism of interest may change and may not be recognized by automatic tracking software. Obviously movement distances of species are underestimated when they are crawling on inclined surfaces like pebbles or boulders. A comparison of different tracking methods was done by Chenouard et al. (2014) but there is still a need to improve automatic tracking analysis.

All results shown in tables 3 & 4 are more or less of the same magnitude, but we should not forget that in all time lapse studies the field of view is limited. Animals that simply disappear after a certain time from the field of vision cannot be tracked any longer. Here we have a knowledge gap; we must develop technologies that are able to track animals in a range of several meters up to a kilometer per day.

Acknowledgements

This work was supported by the International Bureau, Bonn, FRG (Grant no. CHL07/007), the Direction of Investigation and Development of the University Austral de Chile, Valdivia, UACH, Chile (Grant no. S-2008-14), and the Chilean Antarctic Institute, INACH (Grant no. T_21-09).

Literatur

- Aldea, C. & Troncoso, J. S., 2008. Systematics and distribution of shelled molluscs (Gastropoda, Bivalvia and Scaphopoda) from the South Shetland Islands to the Bellingshausen Sea, West Antarctica. *Iberus* 26: 43–117.
- Andrew, N. L., Agatsuma, Y., Ballesteros, E., Bazhin, A. G., Creaser, E. P., Barnes, D. K. A., Botsford, L. W., Bradbury, A., Campbell, A. Dixon, J., Einarsson, S., Gerring, P., Hebert, K., Hunter, M., Hur, S. B., Johnson, C., Juinio-Meñez, M., Kalvass, P., Miller, R. J. & Xiaoqi, Z., 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography and Marine Biology*, Vol 40 40: 343–425.
- Arana, P. M., 2005. Demography and fishery of the sea urchin *Loxechinus albus* (Echinodermata: Echinidae) in south-austral Chile region. *Revista de Biología Tropical* 53: 367–382.
- Beckett, T., 1968. Limpet movements. *Tane* 14: 43–65.
- Bernasconi, I., 1953. Monografía de los Equinoideos Argentinos. *Anales del Museo de Historia Natural de Montevideo*. 2a Serie 6: 1–38.
- Beuchel, F., Primicerio, R., Lønne, O. J., Gulliksen, B. & Birkely, S. R., 2010. Counting and measuring epibenthic organisms from digital photographs: A semiautomated approach. *Limnology and Oceanography: Methods* 8: 229–240.
- Brey, T. & Gutt, J., 1991. The genus *Sterechinus* (Echinodermata, Echinoidea) on the Weddel Sea shelf and slope (Antarctica) – distribution, abundance and biomass. *Polar Biology* 11: 227–232.
- Brinkhurst, R. O., 1975. *The benthos of lakes*. London: Macmillan International Higher Education.
- Brogger, M. I., Gil, D. G., Rubilar, T., Martínez, M. I., de Vivar, M. E. D., Escolar, M., Epherra, L., Pérez, A. F. & Tablado, A., 2013. Echinoderms from Argentina: Biodiversity, distribution and current state of knowledge. In: Alvarado, J. J. & Solís-Marín, F. A. (Eds), *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 359–402.

- Carey, F. J. & Pettengill, O. S., 1967. A time-lapse study of effects of anticellular antibody on membrane mobility and phagocytic activity of hela cells. *Cell Biology* 33: 709 – 712.
- Chenouard, N., Smal, I., De Chaumont, F., Maška, M., Sbalzarini, I. F., Gong, Y., Cardinale, J., Carthel, C., Coraluppi, S., Winter, M., Cohen, A. R., Godinez, W. J., Rohr, K., Kalaidzidis, Y., Liang, L., Duncan, J., Shen, H., Xu, Y., Magnusson, K. E. G., Jaldén, J., Blau, H. M., Paul-Gilloteaux, P., Roudot, P., Kervrann, C., Waharte, F., Tinevez, J.-Y., Shorte, S. L., Willemsse, J., Celler, K., van Wezel, G. P., Dan, H.-W., Tsai, Y.-S., de Solórzano, C. O., Olivo-Marin, J.-C. & Meijering, E., 2014. Objective comparison of particle tracking methods. *Nature methods* 11: 281.
- Clarke, A., Prothero-Thomas, E., Beaumont, J. C., Chapman, A. L. & Brey, T., 2004. Growth in the limpet *Nacella concinna* from contrasting sites in Antarctica. *Polar Biology* 28: 62 – 71.
- Clarke, A., Prothero-Thomas, E. & Whitehouse, M. J., 1994. Nitrogen excretion in the Antarctic limpet *Nacella concinna* (Strebel, 1908). *Journal of Molluscan Studies* 60: 141 – 147.
- Creese, R., 1982. Distribution and abundance of the acmaeid limpet, *Patelloida latistrigata*, and its interaction with barnacles. *Oecologia* 52: 85 – 96.
- Dance, C., 1987. Patterns of activity of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the Bay of Port-Cros (Var, France, Mediterranean). *Marine Ecology* 8: 131 – 142.
- Davenport, J., 1997. Comparisons of the biology of the intertidal subantarctic limpets *Nacella concinna* and *Kerguelenella lateralis*. *Journal of Molluscan Studies* 63: 39 – 48.
- Davies, M. S., Edwards, M. & Williams, G. A., 2006. Movement patterns of the limpet *Cellana grata* (Gould) observed over a continuous period through a changing tidal regime. *Marine Biology* 149: 775 – 787.
- Di Castri, F. & Hajek, E. R., 1976. *Bioclimatología de Chile*. Santiago de Chile: Editorial de la Universidad Católica de Chile.
- Dix, T. G., 1970. Biology of *Evechinus chloroticus* (Echinoidea: Echinometridae) from different localities: 2. Movement. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 4: 267 – 277.
- Duggan, R. E. & Miller, R. J., 2001. External and internal tags for the green sea urchin. *Journal of Experimental Marine Biology* 258: 115 – 122.
- Dumont, C., J. H. Himmelman & M. P. Russell, 2004. Size specific movement of green sea urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* on urchin barrens in eastern Canada. *Marine Ecology Progress Series* 276: 93 – 101.
- Dumont, C. P., Himmelman, J. H. & Robinson, S. M., 2007. Random movement pattern of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 340: 80 – 89.
- Espoz, C. & Castilla, J., 2000. Escape responses of four Chilean intertidal limpets to seastars. *Marine Biology* 137: 887 – 892.
- Fedra, K. & Machan, R., 1979. A self-contained underwater time-lapse camera for in situ long-term observations. *Marine Biology* 55: 239 – 246.
- Fenucci, J. L., 1967. Contribución al conocimiento de crustaceo decapodo braquiro *Pinnaxodes chilensis* (M. Edwards) comensal de *Loxechinus albus* (Molina) (Echinodermata, Echinoidea). *Physis, Buenos Aires* 27: 125 – 133.
- Fraser, K. P. P., Clarke, A. & Peck, L. S., 2002. Feast and famine in Antarctica: seasonal physiology in the limpet *Nacella concinna*. *Marine Ecology Progress Series* 242: 169 – 177.
- Gamble, J. C., 1965. Some observations on the behaviour of two regular echinoids. In: Lythgoe, J. N. & Woods, J. D. (Eds), *Proceedings of the Symposium of the Underwater Association for Malta, Malta*, pp. 47 – 50.
- Hagen, N. T., 1996. Tagging sea urchins: a new technique for individual identification. *Aquaculture* 139: 271 – 284.
- Hartnoll, R. & Wright, J., 1977. Foraging movements and homing in the limpet *Patella vulgata* L. *Animal Behaviour* 25: 806 – 810.
- Harvey, E. B., 1956. *The American Arbacia and other sea urchins*: Princeton University Press.
- Hazlett, B. A., 1984. Daily Movements of Some Tropical Marine Gastropods. *Marine Behaviour and Physiology* 11: 35 – 48.
- Hereu, B., 2005. Movement patterns of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in a marine reserve and an unprotected area in the NW Mediterranean. *Marine Ecology* 26: 54 – 62.

- Iwasaki, K., 1999. Short-and long-term movements of the patellid limpet *Patella flexuosa* within gaps in intertidal mussel beds. *Journal of Molluscan Studies* 65: 295 – 301.
- Jackson, H. W., 1939. Notes on marine aquarium animals. *Am. Midland Nat.* 22: 654 – 659.
- Jacob, U., Terpstra, S. & Brey, T., 2003. High-Antarctic regular sea urchins – the role of depth and feeding in niche separation. *Polar Biology* 26: 99 – 104.
- James, D., 2000. Diet, movement, and covering behavior of the sea urchin *Toxopneustes roseus* in rhodolith beds in the Gulf of California, México. *Marine Biology* 137: 913 – 923.
- Keasar, T. & Safriel, U., 1994. The establishment of a territory: effects of food and competitors on movement patterns in *Patella caerulea* limpets. *Ethology Ecology & Evolution* 6: 103 – 115.
- Lauzon-Guay, J.-S., Scheibling, R. E. & Barbeau, M. A., 2006. Movement patterns in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 86: 167 – 174.
- Lessios, H. A., Lockhart, S., Collin, R., Sotil, G., Sanchez-Jerez, P., Zigler, K. S., Perez, A. F., Garrido, M. J., Geyer, L. B., Bernardi, G., Vacquier, V. D., Haroun, R., Kessing, B. D., 2012. Phylogeography and bindin evolution in *Arbacia*, a sea urchin genus with an unusual distribution. *Molecular Ecology* 21: 130 – 144.
- Lukis, F. C., 1831. Remarks on the locomotion and habits of the limpet. *Annals & magazine of natural history*: 346 – 351.
- Marx, R. F., 1990. *The history of underwater exploration*. New York: Dover Publications.
- Mattison, J. E., Trent, J. D., Shanks, A. L., Akin, T. B. & Pearse, J. S., 1977. Movement and feeding activity of red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) adjacent to a kelp forest. *Marine Biology* 39: 25 – 30.
- McClintock, J. B. & Lawrence, J. M., 1986. Movement patterns of the sub-Antarctic pulmonate limpet *Kerguelenella lateralis* (Gould) (Mollusca: Gastropoda). *Polar Biology* 5: 135 – 138.
- Miller, S. L., 1974. Adaptive design of locomotion and foot form in prosobranch gastropods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 14: 99 – 156.
- Nelson, B. V. & Vance, R. R., 1979. Diel foraging patterns of the sea urchin *Centrostephanus coronatus* as a predator avoidance strategy. *Marine Biology* 51: 251 – 258.
- Paddock, S., 2001. A brief history of time-lapse. *BioTechniques* 30: 283 – 289.
- Papp, M. G. & Duarte, L. F., 2001. Locomotion of *Stramonita haemastoma* (Linnaeus) (Gastropoda, Muricidae) on a mixed shore of rocks and sand. *Revista brasileira de Zoologia* 18: 187 – 195.
- Parker, G. H., 1927. Locomotion and righting movements in echinoderms, especially in *Echinarachnius*. *American Journal of Psychology* 39: 167 – 180.
- Parker, G. H., 1936. Direction and means of locomotion in the regular sea-urchin *Lytechinus*. *Memoirs of the Royal Institute of Natural Sciences of Belgium : second series*: 197 – 208.
- Parpagnoli, D. & Chelazzi, G., 1995. An automatic technique for recording grazing activity of limpets. *J. Moll. Stud.* 61: 339 – 346.
- Paul, A. Z., Thorndike, E. M., Sullivan, L. G., Heezen, B. C. & Gerard, R. D., 1978. Observations of the deep-sea floor from 202 days of time-lapse photography. *Nature* 272: 812.
- Peckarsky, B. L., 1979. Biological interactions as determinants of distributions of benthic invertebrates within the substrate of stony streams. *Limnology and Oceanography* 24: 59 – 68.
- Powell, A. W. B., 1951. Antarctic and subantarctic mollusca: Pelecypoda and Gastropoda. *Discovery Reports* 26: 47 – 196.
- Powell, A. W. B., 1973. The patellid limpets of the world (Patellidae). *Indo-Pacific Mollusca* 3: 75 – 206.
- Riedl, R., 1963. Probleme und Methoden der Erforschung des litoralen Benthos. *Zoologischer Anzeiger (Suppl.)* 26: 505 – 567.
- Riedl, R., 1967. Die Tauchmethode, ihre Aufgaben und Leistungen bei der Erforschung des Litorals; eine kritische Untersuchung. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 15: 294.
- Romanes, G. J. & Ewart, J. C., 1881. Observations on the locomotor system of Echinodermata. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 172: 829 – 885.
- Sakurati, H., Sato, T., Arai, H., Takasaki, A., Taga, S., Hori, H., Kimpara, I., Matsuyama, T. & Kodama, M., 1996. Habitats of fish and epibenthic invertebrates in Fildes bay, King George island, Antarctica. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology* 9: 231 – 242.

- Santina, P. D., 1994. Homing pattern, activity area and trail following of the high shore Mediterranean limpet *Patella rustica* L. (Mollusca Gastropoda). *Ethology Ecology & Evolution* 6: 65 – 73.
- Schütz, D. & Taborsky, M., 2003. Adaptations to an aquatic life may be responsible for the reversed sexual size dimorphism in the water spider, *Argyroneta aquatica*. *Evolutionary ecology research* 5: 105 – 117.
- Shabica, S. V., 1976. The natural history of the Antarctic limpet *Patinigera polaris* (Hombron and Jacquinot).
- Shepherd, S. & Boudouresque, C., 1979. A preliminary note on the movement of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Parc national de Port-Cros* 5: 155 – 158.
- Shortis, M., Harvey, E. & Seager, J., 2007. A review of the status and trends in underwater videometric measurement. In: SPIE Videometrics IX, San Jose, California, USA, pp. 1 – 26.
- Sinclair, A. N., 1959. Observations on the behaviour of sea urchins. *Australian Museum Magazine* 13: 3 – 8.
- Test, F. H., 1945. Substrate and Movements of the Marine Gastropod *Acmaea-Asmi*. *American Midland Naturalist* 33: 791 – 793.
- Thompson, B. A. & Riddle, M. J., 2005. Bioturbation behaviour of the spatangoid urchin *Abatus ingens* in Antarctic marine sediments. *Marine Ecology Progress Series* 290: 135 – 143.
- Tuya, F., Martin, J. A. & Luque, A., 2004. Patterns of nocturnal movement of the long-spined sea urchin *Diadema antillarum* (Philippi) in Gran Canaria (the Canary Islands, central East Atlantic Ocean). *Helgoland Marine Research* 58: 26 – 31.
- Vannini, M., Cannicci, S., Mrabu, E., Rorandelli, R. & Fratini, S., 2008. Random walk, zonation and the food searching strategy of *Terebralia palustris* (Mollusca, Potamididae) in Kenya. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80: 529 – 537.
- Vásquez, J. A., Castilla, J. C. & Santelices, B., 1984. Distributional patterns and diets of four species of sea urchins in giant kelp forest (*Macrocystis pyrifera*) of Puerto Toro, Navarino Island, Chile. *Marine Ecology Progress Series* 19: 55 – 63.
- Villee, C. A. & Groody, T. C., 1940. The behavior of limpets with reference to their homing instinct. *American Midland Naturalist*: 190 – 204.
- Walker, A. J. M., 1972. Introduction to the ecology of the antarctic limpet *Patinigera polaris* (Hombron and Jacquinot) at Signy Island, South Orkney Islands. *British Antarctic Survey Bulletin* 28: 49 – 69.