

Carl von Ossietzky University Oldenburg,
Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM)

Masterarbeit

Studiengang: Marine Sensorik

**In situ Erfassung von Krill und Salpen mittels
Videokamerasystem im Südpolarmeer und dessen
Weiterentwicklung**

**In situ detection of krill and salps using a video camera system
in the Southern Ocean and its further development**

Angefertigt von: Michael Butter

Anschrift: Stutthofer Zeile 7,
26388 Wilhelmshaven

Martikeldnummer: 4368367
E-Mail: michael.butter@uni-oldenburg.de

Erstprüfer: Dr. Thomas H. Badewien

Zweitprüferin: Prof. Dr. Bettina Meyer

Ort: Wilhelmshaven

Abgabetermin: 23. September 2019

Bearbeitungszeitraum: 19. März - 23. September 2019

Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Datum, Ort

Unterschrift

Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei meinen Gutachtern Herrn Dr. Thomas Badewien und Frau Prof. Dr. Bettina Meyer, die mich bei der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben und mir jederzeit hilfreich zur Seite standen. Ganz besonders bedanke ich mich bei beiden für die Chance zur Teilnahme an der Polarstern-Expedition PS112 in die Antarktis, die die Grundlage für diese Arbeit ist. Die auf dieser Expedition gewonnenen Erlebnisse, verbunden mit den wunderschönen Eindrücken von der antarktischen Landschaft, werden mir für immer in Erinnerung bleiben. Diese Expedition hat wesentlich dazu beigetragen, dass ich auch in Zukunft beruflich in der Meeresforschung tätig sein möchte.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Axel Braun vom Institut ICBM-Terramare Wilhelmshaven für dessen fachliche Unterstützung sowie für die Bereitstellung der Arbeitsmittel zur Durchführung der Experimente im Rahmen der Masterarbeit.

Herrn Oliver Ferdinand, Herrn Jochen Wollschläger, Herrn Jens Meyerjürgens sowie Frau Michaela Gerriets sage ich vielen Dank für die fachliche Unterstützung beim Programmieren der MATLAB-Skripten, die für die Auswertung der Videos und CTD-Daten erforderlich waren.

Ich bedanke mich ebenfalls bei allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Marine Sensoren sowie dem ganzen Team des Institut ICBM-Terramare Wilhelmshaven für ihre offene, freundliche Aufnahme und Zusammenarbeit seit meiner Bachelorarbeit im März 2016.

Besonders herzlich bedanke ich mich bei meinen Eltern für die gesamte Unterstützung während des Bachelor - und Masterstudiums sowie für die erste Korrekturlesung.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Erklärung | 1 |
| Danksagung | 2 |
| Abbildungsverzeichnis | 4 |
| Tabellenverzeichnis | 7 |
| Abstract | 8 |
| Zusammenfassung | 9 |
| Einleitung | 10 |
| 1 In situ Erfassung von Krill und Salpen mittels Videokamera | 14 |
| 1.1 Erforschte Organismen | 14 |
| 1.2 Für die Auswertung relevante Forschungsausrüstung | 16 |
| 1.3 Methodik zur Auswertung der Videos und Synchronisation mit den CTD-Daten | 20 |
| 1.4 Ergebnisse von Video- und CTD-Daten | 25 |
| 1.5 Diskussion der Ergebnisse der Video-Auswertung | 38 |
| 1.6 Ausblick über den weiteren Umgang mit den Video- und CTD-Daten | 48 |
| 2 Entwicklung der Livebildkamera für DOL-CTD | 49 |
| 2.1 Theoretische Grundlagen zur Datenübertragung und Bildgebung | 49 |
| 2.2 Analyse der Deep Ocean Camera als Grundlage für die Kameraentwicklung . | 51 |
| 2.3 Gliederung der Entwicklung des Kamerasystems in Teilprojekte | 58 |
| 2.4 Realisierung der Datenübertragung der Kamera und DOL-CTD | 58 |
| 2.5 Laborexperimente und Ergebnisse | 67 |
| 2.6 Produkt-Recherche | 84 |
| 2.7 Empfehlung zur Realisierung der Livebildkamera und DOL-CTD | 89 |
| 2.8 Ausblick auf weiterführende Entwicklungsschritte des Livebildkamerasystems | 98 |
| Anhang | 103 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Karte mit Schiffsroute der Expedition PS112 | 11 |
| 2 | Antarktischer Krill (<i>Euphausia superba</i>) | 14 |
| 3 | links: einzelne Salpe (<i>Salpa thompsoni</i>),(Madin 2006); rechts: eine Kette von Salpen (Madin 2019) | 15 |
| 4 | links: Deep Ocean Camera mit Beleuchtung, rechts: für Wartungsarbeiten geöffnete Stromversorgung | 16 |
| 5 | Blockdiagramm Deep Ocean Camera | 17 |
| 6 | Deep Ocean Camera eingebaut in die DOL-CTD | 17 |
| 7 | DOL-CTD am ICBM in Wilhelmshaven | 18 |
| 8 | Verlauf des CTD-Profil von "PS112p013a01" mit gefundenen Fix-Punkten zum Video | 21 |
| 9 | EK60 – Echosignal mit geglätteten Verlauf des CTD-Profils „PS112p013a01“ | 22 |
| 10 | Karte von PS112 mit Route und CTD/Video Stationen | 25 |
| 11 | Karte über die Stationen mit Sichtungen von Krill und Salpen | 26 |
| 12 | Karten über die Einteilung der Stationen nach Seegebieten | 27 |
| 13 | Diagramme der ermittelten CTD-Parameter über die Tiefe aus den Krill-Sichtungen und den dazugehörigen CTD-Profilen (grau hinterlegt). | 30 |
| 14 | Temperatur-Salzgehalt-Diagramm des Krills mit der Farb-Codierung der Sichtungsgebiete, Grau hinterlegt sind die dazugehörigen CTD-Profile . . | 31 |
| 15 | Diagramme der ermittelten CTD-Parameter über die Tiefe aus den Salpen-Sichtungen und den dazugehörigen CTD-Profilen (grau hinterlegt). | 33 |
| 16 | Temperatur-Salzgehalt-Diagramm der Salpen mit der Farb-Codierung der Sichtungsgebiete | 34 |
| 17 | TS-Diagramm für Krill und Salpen mit Farbcodierung der Sichtungsgebiete | 35 |
| 18 | Diagramme über die Abhängigkeit der Sichtungen von Krill bezüglich Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt bzw. Wassertemperatur und Sauerstoffkonzentration | 37 |
| 19 | Diagramme über die Abhängigkeit der Sichtungen von Salpen bezüglich Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt sowie Wassertemperatur und Sauerstoffkonzentration | 37 |
| 20 | Karten über die Beobachtung von Krill während PS112 | 38 |
| 21 | Videobild aus der Krill Sequence 438 PS112p101a01 (Frame 55) | 39 |
| 22 | Karten über die Beobachtung von Salpen während PS112 | 41 |
| 23 | Karten über Beobachtung von <i>Salpa thompsoni</i> und <i>Ihlea racovitzai</i> | 42 |
| 24 | Karten über die Meeresströmung im Seegebiet | 44 |
| 25 | TS-Diagramm für Krill, Salpen und Kennzeichnung von Wassermassen . . | 46 |
| 26 | Schematische Darstellung der Übertragung des Lichtimpulses in LWL . . | 50 |
| 27 | Abbildung über das Verhalten der Schärfentiefe abhängig von Blendenöffnung, Bildhelligkeit und Belichtungszeit | 51 |
| 28 | Bildschirm des Operator-PCs mit geöffnetem Terminal-Programm | 52 |
| 29 | Abbildung zur Stromversorgung Deep Ocean Camera | 53 |
| 30 | Frame-Bild 36 aus "Krill_Sequence_9_PS112p006a01" | 55 |

| | | |
|----|---|----|
| 31 | Framebilder bei unterschiedlichen Fier-Geschwindigkeiten | 55 |
| 32 | Abbildung zweier aufeinander folgenden Frame-Bilder | 56 |
| 33 | Blockschaltplan des schematischen Aufbaus der Deckeinheiten für DOL-CTD, Kamerasystem und LWL-Telemetrie | 61 |
| 34 | Blockschaltplan über den Aufbau der Unterwassereinheiten für DOL-CTD, Kamerasystem und LWL-Telemetrie | 62 |
| 35 | Blockschaltplan für Konzept II mit angepasster Spannungsversorgung in der CTD Deck Unit zur Versorgung der Unterwassereinheiten | 63 |
| 36 | Blockschaltplan über den schematischen Aufbau der Unterwassereinheit des Konzepts II | 63 |
| 37 | Schaltplan I für das Konzept III zur getrennten Übertragung der Daten und Stromversorgung, mit Darstellung des Bordnetzes und der Deckeinheiten | 64 |
| 38 | Schaltplan II für das Konzept III zur getrennten Übertragung von Daten und Stromversorgung, mit Darstellung der Spannungsumwandlung und Signalübertragung in der LWL-Unterwassereinheit | 65 |
| 39 | Aufbau der Deckeinheit zur Umsetzung des Konzept IV – ohne die SBE 11plus Deck Unit | 65 |
| 40 | Blockschaltplan über den schematischen Aufbau zur Umsetzung des Konzept IV mit modifizierter SBE 11plus Deck Unit | 66 |
| 41 | Aufbau der Deckeinheit im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“ | 68 |
| 42 | Aufbau der Unterwassereinheit im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“ | 68 |
| 43 | Aufbau und Verdrahtung der LWL-Deck-Telemetrie, der rot gekreuzte Wandler wurde in diesem Experiment nicht benötigt. | 69 |
| 44 | Aufbau der Unterwassereinheit im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“ | 69 |
| 45 | Geschwärzt CD-ROM mit Markierungen zur Simulation der Partikelgeschwindigkeiten | 72 |
| 46 | Grundaufbau des Experiments „Belichtungszeit“ mit rotierender CD (1095 U/min) | 74 |
| 47 | Kameraaufnahmen bei eingestellter Belichtungszeit von 250 ms mit stehender (links) und rotierender CD (rechts), Rotation 0 und 1090 U/min | 75 |
| 48 | Angepasster Aufbau des Telexperiments II mit definierten Abständen und Markierung des Bildsensors | 76 |
| 49 | Framebild vom Telexperiment II; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 250 μ s | 76 |
| 50 | Framebild vom Telexperiment II; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 200 μ s | 77 |
| 51 | Framebild vom Telexperiment II; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 150 μ s | 78 |
| 52 | veränderter Aufbau mit 300 mm Entfernung zwischen CD und Bildsensor | 79 |
| 53 | veränderter Aufbau mit 500 mm Entfernung zwischen CD und Bildsensor | 79 |

| | | |
|----|--|----|
| 54 | Framebilder aus dem Teilexperiment III; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 150 μ s; links: 300 mm Abstand zwischen CD und Bildsensor; rechts: 500 mm Abstand zwischen CD und Bildsensor | 80 |
| 55 | Angepasste LWL-Deckeinheit mit zusätzlichen Wandler EX6010 für der Testbetrieb. | 81 |
| 56 | Erweitere LWL-Unterwassereinheit mit zusätzlichen Wandler i-7188e8 für den Funktionstest. | 81 |
| 57 | Aufbau der Deckeinheit für den Betriebstest „Stenella-CTD via LWL“ mit Operator-PC CTD, GPS-Antenne und der LWL-Deckeinheit | 82 |
| 58 | Teil 1 der Unterwassereinheit für den Betriebstest „Stenella-CTD via LWL“ mit LWL-Unterwassereinheit und SBE 33 Deck Unit | 82 |
| 59 | Teil 2 des Aufbaus der Unterwassereinheit für den Betriebstest „Stenella-CTD via LWL“, mit Unterwassereinheit und Deck Unit, Seekabel sowie „Stenella“-CTD | 82 |
| 60 | Modellserien der ROV-Multiplexer von Focal | 88 |
| 61 | Abbildung des schematischen Aufbaus einer Datenübertragung von HD Videos, Serieller Daten und Ethernet mit jeweils 5 verschiedenen Platinen vom Modell 914. | 89 |
| 62 | Schematischer Aufbau der Umsetzung der Deckeinheit auf Basis von Konzept IV mit FOCAL ROV Multiplexer Modell 907 | 92 |
| 63 | Blockschaltplan über die Realisierung der Unterwassereinheit auf Basis von Konzept IV mit FOCAL ROV Multiplexer Modell 907 und modifiziert SBE 11plus Deck Unit | 93 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Auszug aus dem Video-Logbuch „DOC Video PS112p013a01“ mit den gefundenen Fixpunkten und Sichtung von Krill im Video | 22 |
| 2 | Tabelle über die Verteilung der Sichtung von Krill und Salpen in den Videos | 27 |
| 3 | Tabelle über Durchschnitte der Beobachtungen von Krill in den Videos nach Seegebiet | 40 |
| 4 | Tabelle über Durchschnitte der Beobachtungen von Salpen in den Videos nach Seegebiet | 41 |
| 5 | Charakteristiken von Wassermassen im Bereich der Antarktischen Halbinsel und im Weddell-Meer (Gordon 1971; Carmack und Foster 1975; Orsi <i>et al.</i> 1993; Gordon und Huber 1995; Schröder und Fahrbach 1999; Schodlok <i>et al.</i> 2002; Rodehacke 2003) | 46 |
| 6 | Tabelle über die verwendete und volle Leistungsfähigkeit bzgl. der Videoaufnahme der Kamera Canon Legia HFG10 | 54 |
| 7 | Tabelle zur Gesamtbewertung des Einsatzes der „Deep Ocean Camera“ . | 57 |
| 8 | Auflistung der Kabelkonfigurationen für die relevanten Schnittstellen . . | 59 |
| 9 | Bewertung der 4 Telemetrie-Konzepte für Livebildkamera und DOL-CTD | 90 |
| 10 | Darstellung der beiden Realisierungsvarianten von Livebildkamera und DOL-CTD | 95 |
| 11 | Kostenkalkulation über die bekannten Komponenten zur Realisierung des Livebildkameranagements | 97 |

Abstract

The polar expedition PS112 of the research vessel “FS Polarstern” took place from March to May 2018 to study the impact of climate change on the Antarctic ecosystem. Due to the temperature rise in the Antarctic, possible effects on the two organism Antarctic krill and salps were investigated. The expedition made a combined effort with a CTD rosette water sampler and a video camera system supporting the ecological research goals. In the present master thesis, video recordings were evaluated with regards to the observation of krill and salps. By simultaneously performing CTD measurement, parameters water temperature, salinity, chlorophyll fluorescence, oxygen and water depth of each sighting could be assigned in the video. This mapping provided important information and knowledge about the Antarctic krill and salps, which could not be detected through the use of network traps. Since the used camera system was not a live image system, the video footage could only be downloaded and viewed after completing the measurements. Thus, it was possible to obtain information about the organism which was recorded when and where. The combined use of camera and CTD rosette water sampler has a much greater potential for research investigations when using a live camera system. Therefore, in addition to the evaluation of the video material of Expedition PS 112, the conceptual design of a live camera system that can be integrated in a CTD rosette water sampler system was performed. The use of Fiber optic technology for data transmission offers, as applied in this concept, the potential for the construction of a Multi-sensor platform for marine research.

Zusammenfassung

Zur Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf das antarktische Ökosystem fand von März bis Mai 2018 die Polarexpedition PS112 des Forschungsschiffs „FS Polarstern“ statt. Bedingt durch den Temperaturanstieg in der Antarktis sollten mögliche Auswirkungen anhand der beiden Organismen Antarktischer Krill und Salpen erforscht werden. Zur Unterstützung der Forschungsarbeit erfolgte bei der Expedition ein kombinierter Einsatz mit einem CTD-Kranzwasserschöpfer und einem Videokamerasystem. In der vorliegenden Masterarbeit wurden die Videoaufzeichnungen hinsichtlich der Beobachtung von Krill und Salpen ausgewertet. Durch die gleichzeitige durchgeführte CTD-Messung konnten die Parameter Wassertemperatur, Salzgehalt, Chlorophyll-Fluoreszenz, Sauerstoff sowie Wassertiefe jeder Sichtung im Video zugeordnet werden. Diese Zuordnung lieferte wichtige Informationen und Erkenntnisse über den Antarktischen Krill und die Salpen, die durch den Einsatz von Netztrawls so nicht erfasst werden können. Da das verwendete Kamerasystem kein Livebildsystem war, konnte das Videomaterial erst nach Abschluss der Messungen heruntergeladen und gesichtet werden. Somit war es immer nur im Nachgang möglich, Informationen zu erhalten, welcher Organismus wann und wo erfasst wurde. Der kombinierte Einsatz von Kamera und CTD-Kranzwasserschöpfer besitzt aber ein viel größeres Potenzial für Forschungsfragen, wenn ein Livebildkamerasystem zum Einsatz kommt. Daher wurde in dieser Masterarbeit neben der Auswertung des Videomaterials der Expedition PS 112 die Basisarbeit für die Entwicklung eines solchen Livebildkamerasystems durchgeführt, das in ein CTD-Kranzwasserschöpfer-System integriert werden kann. Die Verwendung der Lichtwellenleiter-Technologie für die Datenübertragung bietet dabei das Potenzial für den Aufbau einer Multisensor-Plattform für die Meeresforschung.

Einleitung

*„Seit meiner Kindheit träume ich davon, den Nordpol zu erreichen,
nun stehe ich auf dem Südpol.“*

Roald Amundsen (1872-1928)

Die Antarktis ist das Gebiet der Erde rund um den Südpol. Es umfasst die Landmassen des Kontinents „Antarktika“ und die Meeresgebiete des „Südlichen Ozeans“, auch als „Südpolarmeer“ bekannt. In der Ozeanographie gilt die antarktische Konvergenzzone als Grenze für die Antarktis. Es ist der Bereich, in etwa entlang des 50° südlichen Breitengrades, in dem das kalte antarktische Oberflächenwasser (AASW – Antarctic Surface Water) unter das wärmere subantarktische Oberflächenwasser (SASW – Subantarctic Surface Water) absinkt (Gordon 1971). Diese Zone bildete eine natürliche Grenze und trennt die Antarktis hydrologisch von den südlichen Bereichen des Atlantischen Ozeans, des Indischen Ozeans und des Pazifischen Ozeans (Emery 2001). Sie ist auch eine Trennlinie für maritime Lebensgemeinschaften und Klimazonen. Durch die große Entfernung zu den nächsten Landmassen Patagonien, Neuseeland und Südafrika und die Meeresströmung des antarktischen Zirkumpolarstroms (ACC – Antarctic Circumpolar Current) rundherum um die Antarktis, bildet die Antarktis ein einzigartiges abgeschirmtes Ökosystem (Fabris *et al.* 2016).

Der Kontinent „Antarktika“ ist der südlichste der Erde. Er besitzt eine Größe von ca. 14 Millionen km^2 und seine Landmasse ist nahezu komplett mit dem antarktischen Eisschild bedeckt (ebd.). Den nördlichsten Bereich des Kontinentes bildet die Antarktische Halbinsel mit der vorgelagerten Inselgruppe, den Südlichen Shetlandinseln. Umgeben wird „Antarktika“ vom „Südlichen Ozean“. Diese Bezeichnung wurde 2000 von der Internationalen Hydrographischen Organisation (IHO) beschlossen und 2002 in der Spezial Publikation Nr. 23 des IHO, 4. Edition, mit den Grenzen bekannt gegeben. Das Seegebiet umfasst die Meeresbereiche zwischen der Küstenlinie des Kontinentes und südlich des 60. Breitengrades bzw. südlich der antarktischen Konvergenz (IHO 2002). Der Südliche Ozean ist bis zu 5800 m tief und besitzt eine Fläche von ca. 20 Millionen km^2 . Das flächenmäßig größte Randmeer des Südlichen Ozeans ist das Weddell-Meer. Es grenzt östlich an die Antarktische Halbinsel an. Das Weddell-Meer wurde nach dem britischen Seefahrer James Weddell benannt. Dieser konnte 1823 in das Randmeer bis zum 74. südlichen Breitengrad vordringen (Encyclopædia Britannica 2008).

Um diese Einzigartigkeit zu schützen, unterzeichneten 1959 auf der Antarktiskonferenz in Washington 12 Signatarstaaten den Antarktis-Vertrag. Ziel dieses internationalen Übereinkommens ist es, das ökologische Gleichgewicht zu bewahren und die Antarktis nur für friedliche Zwecke zu nutzen. Außerdem soll die internationale Kooperation und die wissenschaftliche Erforschung unterstützt und gefördert werden. Der Abbau von Bodenschätzen und die Ausübung von militärischen Übungen und Operationen sind in der Antarktis untersagt (BMJV 22.12.1978). Diesem Grundvertrag folgten im Laufe der Jahre weitere Folgeverträge. Unter anderem das 1980 verabschiedete Übereinkommen über die Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis, abgekürzt CCAMLR (Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources), (CCAMLR 2018). Aus

diesem Übereinkommen entwickelte sich später die Kommission zur Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis. Dieser Kommission gehört auch die Bundesrepublik Deutschland als Mitgliedstaat an. Als Forschungsbeitrag, im Rahmen dieser Kommission, führte das deutsche Forschungsschiff „FS Polarstern“ 2018 eine Antarktis-Expedition durch. Diese Expedition „PS112“ begann am 18. März 2018 und endete am 05. Mai 2018. Sie führte vom chilenischen Punta Arenas aus in das Seegebiet rund um die Südlichen Shetlandinseln und in den „Erebus und Terror Golf“ des Weddell-Meereres, an der Spitze der Antarktischen Halbinsel (Abb. 1).

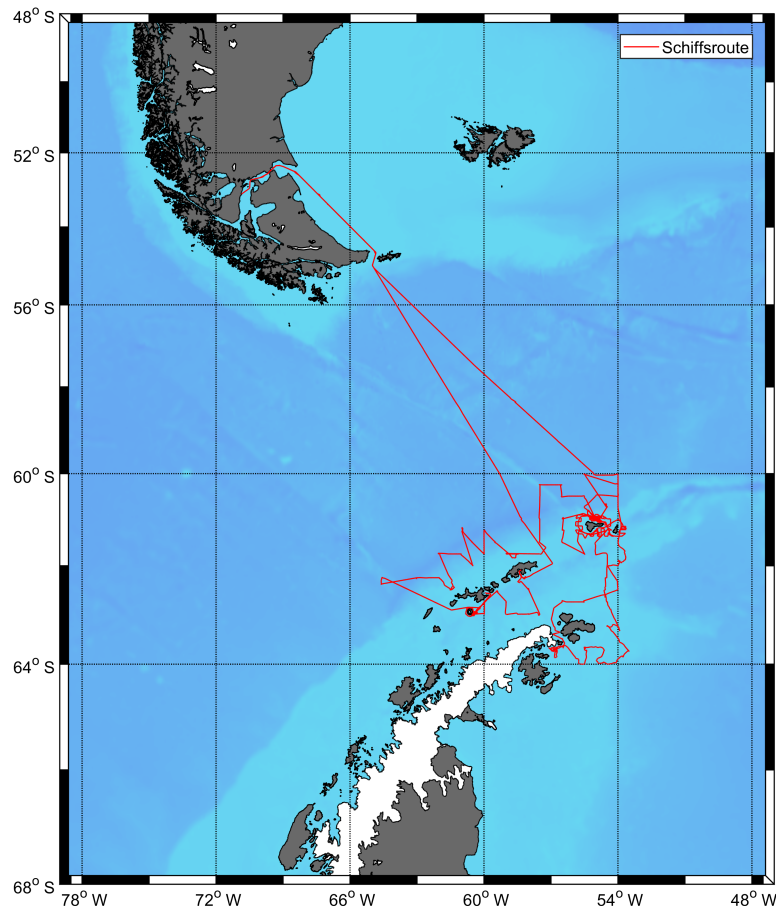


Abb. 1: Karte mit Schiffsrouten der Expedition PS112 von Punta Arenas (Chile) zu den Südlichen Shetlandinseln

Zur Expedition PS112 gehörten die drei Forschungsprojekte „POSER“, „PEKRIS“ und „KrillBIS“.

Im Rahmen des Projekts „POSER“ (POpulation Shift and Response – Krill vs. Salps) sollen die Folgen des durch den Klimawandel bedingten Temperaturanstiegs im Atlantischen Sektor des Südlichen Ozean untersucht und verstanden werden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf einer möglichen Populationsveränderung beim Antarktischen Krill (*Euphausia superba*) im Vergleich zu den Salpen (*Salpa thompsoni*) und deren Auswirkungen auf Planktongemeinschaften, Plankton-Biodiversität und biochemische Kreisläufe (Meyer und Knust 2018).

Im Forschungsprojekt „PEKRIS“ (The performance of Krill vs. Salps to withstand in a warming Southern Ocean), das mit dem Projekt „POSER“ eng verbunden war, sollten die physiologischen und genetischen Eigenschaften von Krill und Salpen erforscht und mögliche Unterschiede in Bezug auf ihre Anpassungsfähigkeit bei wärmeren Umgebungsbedingungen identifiziert und verstanden werden (Meyer und Knust 2018).

Beim Projekt „KrillBIS“ (Krill stock assessment in the Southern Ocean), das den deutschen Beitrag zu CCAMLR repräsentiert, sollten Informationen über die Populationsdichte an Krill und Salpen nördlich der Antarktischen Halbinsel gesammelt werden. Die dabei gewonnenen Abundanz-Informationen des Krills fließen in eine Datenbank „feedback management“ des Krillbestandes im Atlantischen Sektor des Südlichen Ozeans ein und sind in Kombination mit Daten anderer Antarktis-Expeditionen Teil einer Langzeitstudie. Zur Bestimmung der Populationsdichte wurden entlang der Schiffsroute von PS112 mit Hilfe des Fischereiecholotes „EK60“ hydroakustische Aufnahmen der Wassersäule aufgezeichnet. An speziellen Positionen im Forschungsgebiet fanden zur Unterstützung der hydroakustischen Untersuchungen, sogenannte Netzzüge mit genormten Netzen statt. Die Daten der hydroakustischen Aufnahmen und die Daten aus den Netzzügen wurden nach der Expedition von Wissenschaftlern ausgewertet (Meyer und Wessels 2018).

Während der Expedition PS112 kam für die Erforschung der ozeanographischen Bedingungen im Seegebiet unterwasser die DOL-CTD-Rosette (Deep Ocean Large-Conductivity Temperature Depth) des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM), der Universität Oldenburg, zum Einsatz. Bei diesem Forschungsgerät handelt es sich um ein vertikal profilierendes System zur ozeanographischen Meeresforschung. Anhand von Parametern wie Temperatur und Salzgehalt lassen sich unterschiedliche Wassermassen identifizieren und Vermischungsprozesse beobachten. Die Schichtung der Wassersäule und das Vorhandensein von Zirkulationsprozessen sind relevant bei der Durchführung von Prozessstudien. Während der Expedition befand sich an dieser CTD ein Kamerasystem des australischen Institut „Australian Antarctic Division“. Dieses Kamerasystem zeichnete bei den Messungen der CTD-Profilen Videos von der Wassersäule auf. Das System verfügte über keine Livebildübertragung. Ziel des Kameraeinsatzes war eine mögliche Unterstützung bei der Erforschung von Krill und Salpen durch visuelle Systeme. Die Kombination von CTD und einem Kamerasystem erfolgte bisher nur bei wenigen Expeditionen.

Ziel der Masterarbeit mit dem folgenden Thema: „In situ Erfassung von Krill und Salpen mittels Videokamerasystem im Südpolarmeer und dessen Weiterentwicklung.“ ist die Auswertung des gesammelten Videomaterials, mit Bezug auf die Sichtung von Krill und Salpen, und die Weiterentwicklung des Videokamerasystems, zu einer Livebildkamera für den Einsatz an einem CTD-Kranzwasserschöpfer. Die Masterarbeit besteht daher aus zwei Teilen. Im ersten Teil geht es um die Auswertung der Videoaufzeichnungen und den gemessenen CTD-Parametern. Im zweiten Teil der Arbeit fand die Entwicklung des Konzepts zur Umsetzung eines Livebild-Kamerasystems für die DOL-CTD statt.

Im Mittelpunkt der Masterarbeit steht somit die Beantwortung der beiden folgenden Fragen:

1. „Welche neuen Informationen lassen sich aus den Videoaufzeichnungen für die Erforschung von Krill und Salpen in der Antarktis gewinnen?“
2. „Wie kann die DOL-CTD für die zukünftige Forschung, um ein Kamerasystem mit Echtzeit-Bildübertragung erweitert werden?“

1 In situ Erfassung von Krill und Salpen mittels Videokamera

In diesem ersten Teil der Masterarbeit sollen die Aufzeichnungen des "Deep Ocean Camera"-System hinsichtlich der visuellen Beobachtung von Krill und Salpen ausgewertet werden. Der Einsatz der Unterwasser-Kamera in Kombination mit der DOL-CTD soll in Zusammenhang mit der erreichten Bildqualität analysiert und bewertet werden.

1.1 Erforschte Organismen

Dieser Abschnitt soll einen kurzen Überblick über die zwei erforschten Lebewesen der Antarktis geben.

Antarktischer Krill

Der Antarktische Krill (*Euphausia superba*) gehört zur Gattung der Krebstiere und dort der Familie (Euphausiidae) an (Abb. 2). Sein Lebensraum ist der Südliche Ozean, wo er in großen Schwärmen vorkommt. *Euphausia superba* zählt zu den garnelenartigen Wirbellosen. Ihre Nahrung ist Phytoplankton, das als Primärprodukt aus Kohlenstoffdioxid und Nährstoffen mit Hilfe der Photosynthese eigene Biomasse (Körpersubstanz) aufbaut. Zum Phytoplankton gehören zum Beispiel Kieselalgen, Grünalgen oder auch Cyanobakterien. Der Antarktische Krill besetzt eine Schlüsselrolle im Nahrungsnetz des antarktischen Ökosystems. Er ist die Nahrungsquelle für aller größeren Tiere wie Robben, Pinguine und Wale in der Antarktis. Der Antarktische Krill erreicht eine Körperlänge bis 6 cm, wiegt bis zu 2 g und kann bis zu 6 Jahre alt werden (Atkinson *et al.* 2008).



Abb. 2: Antarktischer Krill (*Euphausia superba*); (Atkinson *et al.* 2008)

Salpen

Die Salpen, auch Thaliacea genannt, sind frei schwimmende Meerestiere. Sie zählen zum Unterstamm der Manteltiere (Urochordata) und besitzen ein tonnenförmiges, meist transparentes Aussehen. Je nach Unterart kommen sie in den tropischen und subtropischen Meeren oder auch in der Nordsee vor. Ihr Lebensraum ist der Bereich von der Meeresoberfläche bis in eine Tiefe von ca. 400 m. Sie leben einzeln oder auch als Kolonien in Form von langen Ketten (Abb. 3), (Deckert *et al.* 1991).

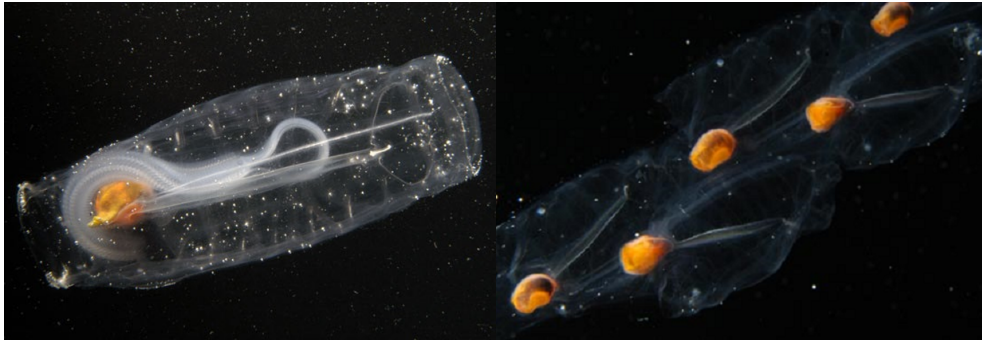


Abb. 3: links: einzelne Salpe (*Salpa thompsoni*), (Madin 2006); rechts: eine Kette von Salpen (Madin 2019)

Die *Salpa thompsoni* ist eine Salpenart, die im kalten Wasser des Südlichen Ozean vorkommt. Sie wurde von Foxton (1966) anhand von Daten aus der Discovery Expedition (1925-1951) erstmalig wissenschaftlich erforscht (Pakhomov *et al.* 2006). Salpen ernähren sich von Plankton. Durch rhythmische Kontraktion der hufeisen- bzw. ringförmigen Muskelbänder saugen sie das Meerwasser an und pressen es durch ihren Kiemendamm zur hinteren Öffnung ihres Körpers. Dabei filtern sie einzellige Algen und kleine tierische Organismen als Nahrung aus dem Wasser. Gleichzeitig entsteht durch die Kontraktion des Darmes eine Art Düseneffekt, mit dem sie sich durch die Wassersäule bewegen. Die Nahrungsaufnahme der Salpen unterliegt einem Tag-Nacht-Zyklus. Das bedeutet, sie kommen zum Fressen erst nachts an die Meeresoberfläche und ernten dort die tagsüber produzierte Biomasse ab. Die Salpen haben im Ökosystem der Meere zwei wichtige Bedeutungen. Bei der Ernährung mit Plankton wandeln sie das dort gebundene Kohlendioxid in Fäkalienkügelchen um. Diese sinken zum Meeresboden und sedimentieren dort den atmosphärischen Kohlenstoff. Sie spielen somit eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf der Erde. Außerdem dient ihr hohler Körper einigen Krebstieren als Lebensraum und Schutzraum für deren Gelege (Westheide *et al.* 1996).

1.2 Für die Auswertung relevante Forschungsausrüstung

Im Folgenden werden die Geräte beschrieben, die für die Erforschung des Antarktischen Krill und der Salpen zum Einsatz kamen. Hierbei wird sich auf die für die Masterarbeit relevanten Geräte konzentriert.

„Deep Ocean Camera“-System

Für die visuelle Beobachtung von Antarktischem Krill und Salpen während der Expedition PS112 stellte das Institut „Australian Antarctic Division“ das Unterwasserkamerasystem „Deep Ocean Camera“ zur Verfügung. Dieses Kamerasystem wurde von Jim Williams entwickelt. Es handelt sich hierbei um eine HD-Videokamera mit Steuerungsschaltkreis, einem Beleuchtungssystem und einer Stromversorgung (Abb. 4).

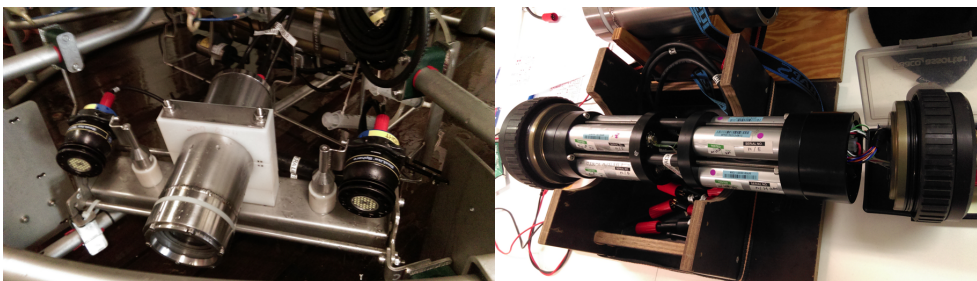


Abb. 4: links: Deep Ocean Camera mit Beleuchtung, rechts: für Wartungsarbeiten geöffnete Stromversorgung

Das System ist so konfiguriert, dass es in den Rahmen eines CTD-Kranzwasserschöfter integriert werden kann. Die „Deep Ocean Camera“ (kurz DOC) ist für den Einsatz bis in eine Tiefe von 6000 m und für einen Temperaturbereich von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgelegt (Williams 2018). Bei der verwendeten HD-Videokamera handelt es sich um das Modell „Legria HFG10“ der Firma Canon. Diese Kamera besitzt als Bildsensor einen 1/3 Zoll CMOS-Sensor mit 2 Megapixel und einer Bildauflösung von 1920×1080 Pixel (Canon Inc. 2011). Für den Unterwassereinsatz wurde der Fokus der Kamera mit Hilfe des Steuerungsschaltkreises so angepasst, dass dieser in den Entfernungsstufen kleiner 0,1 m, 0,2 m, 0,4 m, 1,0 m, 2,5 m, 5 m und unendlich eingestellt werden kann. Für die Beleuchtung des Sichtfeldes der Kamera unter Wasser wurden LED-Scheinwerfer vom Typ „SeaLite® Sphere SLS-3150 oder SLS-5150“ der Firma „DeepSea Power & Light“ verwendet. Sie besitzen einen Unterwasser-Lichtstrom von 5000 Lumen bzw. 9000 Lumen (Deepsea Power & Light 2017) und konnten in ihrer Leistung in 10 Stufen geregelt werden. Die Stromversorgung für die Kamera und den Einsatz von bis zu 4 Scheinwerfern erfolgt über ein Lithium-Eisen-Akkusystem mit einer Nennspannung von 26,4 V und einer Ladungskapazität von 15 Ah. Zur Steuerung des gesamten Systems wurden die Steuersignale für Kamera und Beleuchtung mit Hilfe von zwei Multiplexer in die Datenkommunikation der CTD eingespeist (Abb. 5).

„DOL-CTD“ ICBM



Abb. 7: DOL-CTD in der Warenannahme am ICBM Wilhelmshaven, oben die Wasserschöpfer, unten die CTD-Sonde

Die Deep Ocean Large-CTD-Rosette (kurz DOL-CTD) ist ein großer Kranzwasserschöpfer mit integrierter Sonde (CTD) zum Messen von Leitfähigkeit, Temperatur und Tiefe (Conductivity, Temperature and Depth). Sie wurde vom Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) der Universität Oldenburg entwickelt und für den Einsatz auf großen Forschungsschiffen wie z.B. „FS Sonne“ oder „FS Polarstern“ gebaut (Abb. 7). Die DOL-CTD hat eine Höhe von 2 m und einen Durchmesser von ebenfalls 2 m. Ihr Leergewicht beträgt ca. 1000 kg. Diese Größe ist notwendig, da Meeresbiologen und Meereschemiker bei der Forschung nach Mikroorganismen oder gelösten Spurenelementen im Ozean auf große Wasservolumen angewiesen sind. Die CTD-Rosette besitzt daher ein Fassungsvermögen von 480 Liter, aufgeteilt auf 24 Flaschen à 20 Liter der Firma „Ocean Test Equipment Inc“. Jede einzelne Flasche kann durch das

Ansteuern der Auslöseeinheit in jeder gewünschten Wassertiefe geschlossen und dadurch eine Wasserprobe an die Oberfläche geholt werden. Die Auslöseeinheit ist eine SBE 32 Carousel Water Sampler, SN 32-1119, der Firma „Sea-Bird Scientific“. Die CTD-Sonde stammt von derselben Firma und ist das Model CTD SBE 911plus, SN 09-1266. Zur genauen Messung ist dieses System mit doppelten Sensoren für Temperatur und Leitfähigkeit, einer Sauerstoff-Sonde, einem Drucksensor, einem Altimeter und einer kombinierten Sonde aus Chlorophyll-Fluorometer und Trübungssensor ausgestattet. Alle verwendeten Sensoren sind durch die Hersteller vorkalibriert und wurden im Laufe der Expedition PS112 auf ihre Genauigkeit und einer möglichen Messwert-Drift überprüft. Die Messwerte für die Wassertemperatur wurden gemäß des ITS-90-Temperaturstandarts für die potentielle Temperatur (in °C) bestimmte. Die Werte des absoluten Salzgehaltes (in g/kg) sind nach dem TEOS-10-Standart errechnet worden (IOC *et al.* 2010); (Millero *et al.* 2008); (McDougall *et al.* 2012).

Fischereiecholot EK60

Das EK60 ist eines von mehreren entwickelten Forschungsecholoten der Firma „SIMRAD“. Sie ist ein Teil der „Kongsberg Maritime Subsea Division“, welches der „Kongsberg Group“ angehört. Diese Echolotsysteme sind Standardsysteme für Anwendungen in der Fischereiforschung weltweit. Sie kommen zum Beispiel bei der hydroakustischen Erforschung der Biomasse von Krill und Salpen zum Einsatz. Das SIMRAD EK60 kann gleichzeitig mit sieben Echolot-Frequenzen zwischen 18 bis 710 kHz betrieben werden. Für die verschiedenen Forschungszwecke besitzt das EK60 einen modularen Aufbau. Das System bietet die Möglichkeit, in Echtzeit die Echosignale und die Stärke des Zielsignales in unbegrenzter Anzahl und in unbegrenzte Schichten (Tiefe) zu analysieren. Für eine spätere Wiedergabe und Auswertung werden die Signale als Rohdaten gespeichert. Zusammengefasst aus dem Referenz Handbuch „Simrad EK60 Scientific echo sounder“ (Kongsberg Maritime AS 2012). Das SIMRAD EK60 der „FS Polarstern“ besitzt folgende Konfiguration. Es ist ausgerüstet mit 4 unabhängigen Split-Beam-Wandlern für die Echolot-Frequenzen 38, 70, 120 und 200 kHz. Die Eindringtiefe liegt zwischen 200 m bis 2000 m je nach Frequenz (El Naggar und Fahrbach 2006).

IKMT-Netz und Multi-RMT-Netz

Für die regelmäßigen Biomasseuntersuchungen des antarktischen Krills sind die Mitgliedsstaaten der Konvention zur Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis verantwortlich (CCAMLR 2018). Dazu werden neben den akustischen Messungen mit dem EK60 Fischereiecholot auch so genannte Netztrawls mit standardisiertem Netz nach den Vorgaben des gleichnamigen CCAMLR-Protokolls durchgeführt. Durch den Einsatz von standardisierten Netzen können die Daten unterschiedlicher Expeditionen verglichen werden. Die gesammelten Informationen aus den Trawls liefern quantitative Daten zur Krill- und Salpen-Demographie und zur Populationsdynamik. Zur Salpen-Demographie gehören Größe, Alter und Reife. Unter der Populationsdynamik versteht man die Laichzeit, die Rekrutierung und den Entwicklungsstatus der Larven. Diese Daten dienen auch zur Abschätzung der Biomassen aus den akustischen Messungen mit dem EK60 (Meyer und Wessels 2018). Während der Expedition PS112 fanden insgesamt 88 quantitative Netzfänge statt. Für die Trawls wurden zwei verschiedene Standard-Netztypen verwendet, das IKMT- und das Multi-RMT-Netz.

Das „**IKMT-Netz**“ (Icaacs-Kidd Midwater Trawl Netz) wird zum horizontalen Fangen von Makrozooplankton eingesetzt. Das auf der „FS Polarstern“ eingesetzte Netz verfügte über eine Maschenweite von 500 μm und eine Netzöffnung von 1,8 m^2 . Es wurde in eine Schlepptiefe von 170 m bzw. 20 m über Grund gezogen. Die Schleppgeschwindigkeit durchs Wasser betrug zwei Knoten (M R Boopendranath 2015; Meyer und Wessels 2018).

Das „**Multi-RMT-Netz**“ (Multi Rectangular Midwater Trawl Netz) besteht aus mindestens zwei verschiedenen Netzen mit rechteckiger Netzöffnung, die übereinander in einem Schleppgeschirr angeordnet sind. Auf der „FS Polarstern“ kamen zwei Netze zum Einsatz. Das obere Netz, das sogenannte RMT 1, hatte eine Maschenweite von 200 μm und die Fläche der Netzöffnung betrug 1 m^2 . Das darunter angeordnete Netz, RMT 8, verfügte

über eine Maschenweite von 2 cm und eine Öffnungsfläche von 8 m². Das Multi-RMT-Netz wurde in einer Tiefe von 200 m mit einer Geschwindigkeit zwischen 2 und 2,5 Knoten durchs Wasser geschleppt (Roe und Shale 1979; Meyer und Wessels 2018).

1.3 Methodik zur Auswertung der Videos und Synchronisation mit den CTD-Daten

Zwischen der DOL-CTD und der Deep Ocean Camera erfolgte kein Austausch von Daten. Deshalb sind in den Videos keine Informationen über die Tiefe enthalten, in der die Aufnahme erfolgte. Die Tiefenangabe ist aber sehr wichtig, wenn es darum geht, die Videoinformationen mit den gemessenen CTD-Daten in Verbindung zu bringen. Im Folgenden wird die Methodik beschrieben, nach der den Videoaufzeichnungen zur visuellen Auswertung bei der Suche nach Antarktischem Krill und Salpen die Angaben zur Tiefe zugeordnet werden.

Synchronisation der Videos mit den CTD-Profil-Daten

Eine erste Unterstützung bei der Synchronisierung lieferten die Protokolle der Messfahrten. Während der Expedition wurden auf den CTD-Stationen jeweils ein Protokoll für das CTD-Profil und ein Protokoll für den Kameraeinsatz geführt. Das CTD-Stations-Protokoll (s. Anh. S. 104) enthält die Informationen zur Stationsnummer, Datum und Uhrzeit, Position, Wetter und das Schließen der Flaschen eingetragen. Im Protokoll für die Unterwasserkamera (s. Anh. S. 105) mussten ebenfalls Stationsnummer, Datum und Uhrzeit sowie die Informationen über die gewählten Kamera-Einstellungen notiert werden. Es wurden folgende Einstellungen eingetragen: Kamera Modus, Focus, Start- und End-Zeit der Aufnahme. Der Dateiname und die Videolänge wurden erst nach dem Herunterladen der Videos eingetragen. Für eine erste Sichtung der Videos während der Expedition, ist auf den Protokollen ein Bereich für Bemerkungen vorgesehen. Mit den Eintragungen der Stationsnummern, des Datums und der Uhrzeit fand bereits eine Zuordnung der Videos zu den CTD-Stationen statt. Als Überblick und zur Hilfe für die Auswertung, wurde diese Zuordnung in eine Datenübersicht übertragen (s. Anh. S. 106).

Die zeitliche Synchronisation zwischen einer Videoaufnahme und einem CTD-Profil konnte mit Hilfe des „Scan Count“ stattfinden. Der „Scan Count“ ist ein Zähler im System der CTD-Sonde. Die Sonde war so konfiguriert, dass sie die verschiedenen Messwerte der Wasserparameter zu jeder Sekunde des Profils abspeichert. Dabei zählte der „Scan Count“ die Anzahl der Sekunden. Anhand des Beispiels der CTD-Station „PS112p013a01“ wird dies näher erläutert (s. Anh. S. 104). Diese Station fand am 25.03.2018 statt. Sie startete um 11:45 Uhr (UTC) und endete um 12:04 Uhr (UTC), was einer Zeit von 19 min entspricht. Im gespeicherten Datensatz zu dieser Station steht der Scan Count bei 1068 Werten, dies entspricht bei 1068 Sekunden umgerechnet einer Zeit von 17 min und 48 sec. Somit ist es möglich jeder Sekunde im Video, mit Hilfe des Scan Count der CTD, die Tiefe der Aufnahme zuzuordnen. Mit der Verhältnisgleichung aus Formel 1 soll der Zusammenhang zwischen Video und CTD verdeutlicht werden.

$$1 \text{ sec im Video} \hat{=} 1 \text{ Scan Count} \hat{=} 1 \text{ sec im CTD-Profil} \quad (1)$$

Die Synchronisierung zwischen den Videos und den CTD-Profilen fand anschließend wie folgt statt. Bei der Sichtung jedes einzelnen Videos wurde mit der Software "Matlab" die Tiefe über den Scan Count dargestellt, um sogenannte Fix-Punkte für die Synchronisation zwischen dem CTD-Profil und der Videoaufnahme zu finden. Im Beispiel für die Station „PS112p013a01“ ist in Abb. 8 der Verlauf des CTD-Profiles über die Tiefe und dem Scan Count gezeichnet (rote Linie). Die blaue Linie zeigt den Bereich des Scan Count an, während dessen die Deep Ocean Camera aufzeichnete.

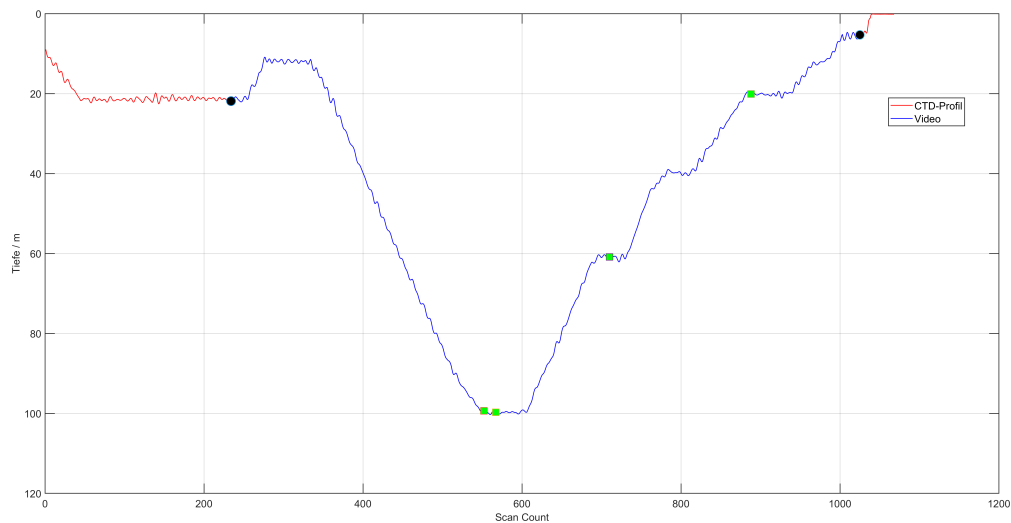


Abb. 8: Plot des Verlaufs des CTD-Tiefen-Profiles über den Scan Count von der CTD-Station "PS112p013a01" und dem zeitlichen Bereich der Video-Aufnahme mit Markierung der gefundenen Fix-Punkte

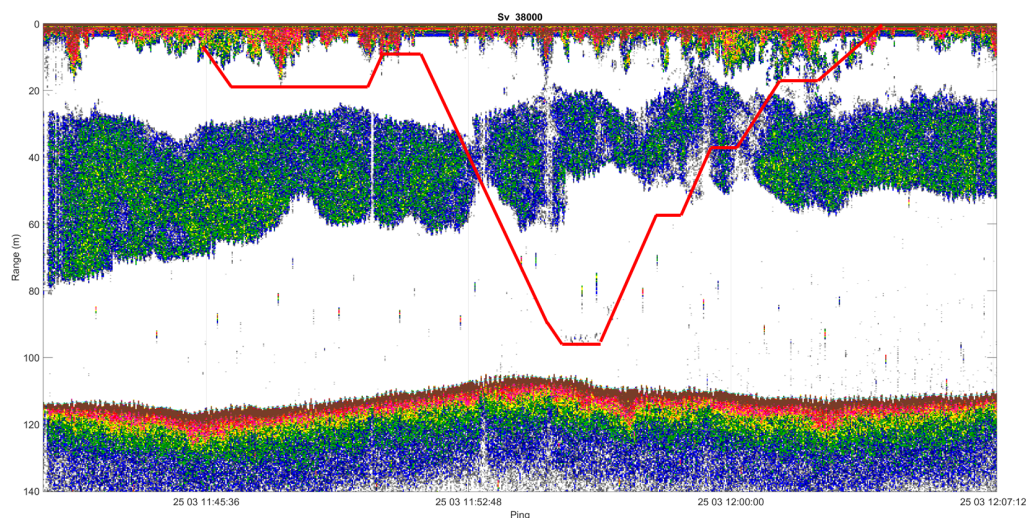
Die Markierungen im Verlauf des Profils zeigen die gefundenen Fix-Punkte zwischen Video und CTD. Diese Punkte sind somit die Synchronisationspunkte zwischen beiden Systemen. Als Fixpunkte wurden ausgewählt: Start und Ende der Videos (schwarze Punkte in Abb. 8), falls im Video zu erkennen der Beginn des Downcast (Fier-Profil), der Beginn des Upcast (Hiev-Profil) und das Erreichen von Einsatzstiefen zum Schließen der Wasserschöpfer (Grüne Quarder im Plot). Eine weitere Hilfe boten die „ROS-Dateien“ der CTD, in denen der Zeitpunkt des Schließens der Schöpfer gespeichert wurde. Da das Mikrofon der Kamera während der Aufzeichnung die Unterwassergeräusche mitschnitt, war das Schließen der Flaschen im Video mit einem Klack-Geräusch zu hören. Die Fix-Punkte und die Sichtung von Antarktischen Krill und den Salpen wurden im Video-Logbuch jedes Videos eingetragen und die dazugehörige Scan Count Zahl berechnet. Tab. 1 zeigt den Auszug der gefundenen Highlights, Sichtung von Krill und Salpen (in anderen Videos) aus dem Video-Logbuch „DOC Video PS112p013a01“ zur CTD-Station „PS112p013a01“.

Tab. 1: Auszug aus dem Video-Logbuch „DOC Video PS112p013a01“ mit den gefundenen Fixpunkten und Sichtung von Krill im Video

| Highlight | | | | | |
|-----------|----------|-------------------------------------|------------|-----------|----------|
| Nr. | sequence | comment | scan count | Depth (m) | CTD-Time |
| 1 | 00:00:00 | Fixpoint I - Start Video | 234 | 21,9 | 11:50:10 |
| 2 | 00:05:18 | Fixpoint II - CTD at detph 100 m | 552 | 99,4 | 11:55:28 |
| 3 | 00:05:33 | Fixpoint III - closing bottle 100 m | 567 | 99,7 | 11:55:43 |
| 4 | 00:07:56 | Fixpoint IV - closing bottle 60 m | 710 | 60,9 | 11:58:06 |
| 5 | 00:10:54 | Fixpoint V - closing bottle 20 m | 888 | 20,1 | 12:01:04 |
| 6 | 00:13:11 | Fixpoint VI - End Video | 1025 | 5,3 | 12:03:21 |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | 00:02:36 | begin krill swarm | 390 | 34,8 | 11:52:46 |
| 11 | 00:04:10 | end krill swarm | 484 | 76,2 | 11:54:20 |
| 12 | 00:08:29 | begin krill swarm | 743 | 54,6 | 11:58:39 |
| 13 | 00:11:00 | end krill swarm | 894 | 20,3 | 12:01:10 |
| 14 | 00:12:39 | hulk "Polarstern" | 993 | 9,6 | 12:02:49 |

Unterstützung der Video-Analyse durch EK60-Daten

Die visuelle Auswertung der Videos erfolgte zusammen mit den Echolot-Aufzeichnungen des Fischereiecholotes EK60. Das System zeichnete während der Expedition die Echosignale auf und speicherte diese in Datensätze ab. In den Datensätzen sind die Echosignale der vier Frequenzen 38 kHz, 70 kHz, 120 kHz und 200 kHz für einen Zeitraum von ca. 1 h gespeichert. Die Zuordnung der relevanten EK60 Datensätze, die zum Zeitpunkt der CTD-Stationen aufgezeichnet wurden, erfolgte analog und parallel zur Zuordnung der Videos zu den CTD-Daten. Die relevanten EK60 – Datensätze sind in der Übersicht-Datensätze CTD-Video-EK60 aufgeführt. In Abb. 9 ist die Synchronisation des CTD-Profiles mit dem EK60-Datensatz am Beispiel der CTD-Station „PS112p013a01“ dargestellt.

**Abb. 9:** Abbildung des EK60 – Echosignal in der Frequenz 38 kHz während der CTD-Messung an der Station „PS112p013a01“ mit geglätteten Verlauf des CTD-Profiles (rote Linie)

In der Abbildung ist die Stärke des zurückgesendeten Echosignals in der Frequenz von 38 kHz in Abhängigkeit der Entfernung (Range) gegen die Zeit (Ping) dargestellt. Die Farb-Skalierung für die Stärke des Echos geht von blau über grün, gelb bis rot. Dabei steht die Farbe Blau für ein schwaches Echo und die Farbe Rot für ein starkes Echosignal. Starke Echosignale entstehen an Grenzflächen zwischen zwei unterschiedlichen Medien, wie zum Beispiel zwischen Wasser und Boden oder zwischen Wasser und Luft. Das starke rote Echosignal im Entfernungsbereich zwischen 110 m bis 120 m entsteht durch die Reflektion des EK60-Signals am Meeresboden. Während der CTD-Messung muss das Forschungsschiff unter Einsatz der Schiffsschrauben genau auf Position gehalten werden. Die Rotation der Schiffsschrauben erzeugt Luftblasen in der oberen Wassersäule. Die Reflektion des Echosignals an diesen Luftblasen ist im Entfernungsbereich zwischen 0 m bis 20 m an der Rotfärbung zu erkennen. Der blaue bis grüne Bereich zwischen 30 m bis 80 m zeigt das Echosignal, das vermutlich von einem Krill-Schwarm erzeugt wurde. Die breite rote Linie stellt den geglätteten Verlauf des CTD-Profiles aus Abb. 8 von der Station „PS112p013a01“ dar. Der Verlauf des CTD-Profiles zeigt, dass die CTD und somit die Kamera zweimal durch den vermutlichen Krill-Schwarm gefiert bzw. gehievt wurden. Die Sichtung des Videos bestätigte die Annahme der Existenz eines Krill-Schwarms. Beginn und Ende der Sichtung des Schwarmes im Video sind im Logbuch (Tab. 1) mit den Eintragsnummern 10 bis 12 vermerkt. Die Ansicht der EK60-Signale während der Auswertung der Videos half bei der Entscheidung bezüglich der Eintragungen im Video-Logbuch. Waren in den Videos Einzeltiere von Krill oder Salpen zu sehen, erfolgte der direkte Eintrag im Logbuch. Konnte im EK60-Echosignal das Vorhandensein eines Schwarmes festgestellt werden, wurden im Logbuch der Beginn und das Ende des Schwarms notiert. Besaß ein Schwarm im EK60-Echosignal eine noch größere vertikale Ausdehnung als in Abb. 9, wurden dann auch Video-Sequenzen aus dem Schwarminnenen, mit Anzahl der Tiere im Sichtbereich der Kamera, notiert.

Erstellen der Krill- und Salpen-Datenbank und den 4 Sek. Video-Sequenzen

Die in den Video-Logbüchern notierten Sichtungen von Krill und Salpen sind im jeweiligen Datensatz („PS112-Krill-Table“ und „PS112-Salps-Table“) zusammengefasst. Das bedeutet, jede Sichtung ist der Reihenfolge nach nummeriert, verfügt über die Informationen aus dem Video-Logbuch und besitzt die CTD-Daten. Dazu gehören die Kennung der CTD-Station, das Datum, die Uhrzeit und die Position. Über den Scan Count sind die gemessenen und errechneten Parameter zugeordnete:

- Tiefe
- Leitfähigkeit
- Temperatur
- potenzielle Temperatur
- praktischer Salzgehalt
- Chlorophyll-Fluoreszenz
- Sauerstoffgehalt
- Dichte
- Druck

Im Rahmen dieser Masterarbeit konzentriert werden folgende Parameter Wassertiefe, potenzielle Temperatur, Salzgehalt, Chlorophyll-Fluoreszenz und gelöster Sauerstoffgehalt ausgewertet. Zu jeder Sichtung aus den Logbüchern wurde eine 4 Sekunden lange Video-Sequenz aus dem Video-Material geschnitten und gespeichert. Dadurch soll die Handhabung des gesamten Materials für weitere, nachfolgende Auswertung erleichtert werden.

1.4 Ergebnisse von Video- und CTD-Daten

Die Ergebnisse aus der visuellen Analyse der Videos und der Auswertung der CTD-Daten werden in diesem Abschnitt dargestellt. Hierzu muss zunächst folgender Sachverhalt erläutert werden.

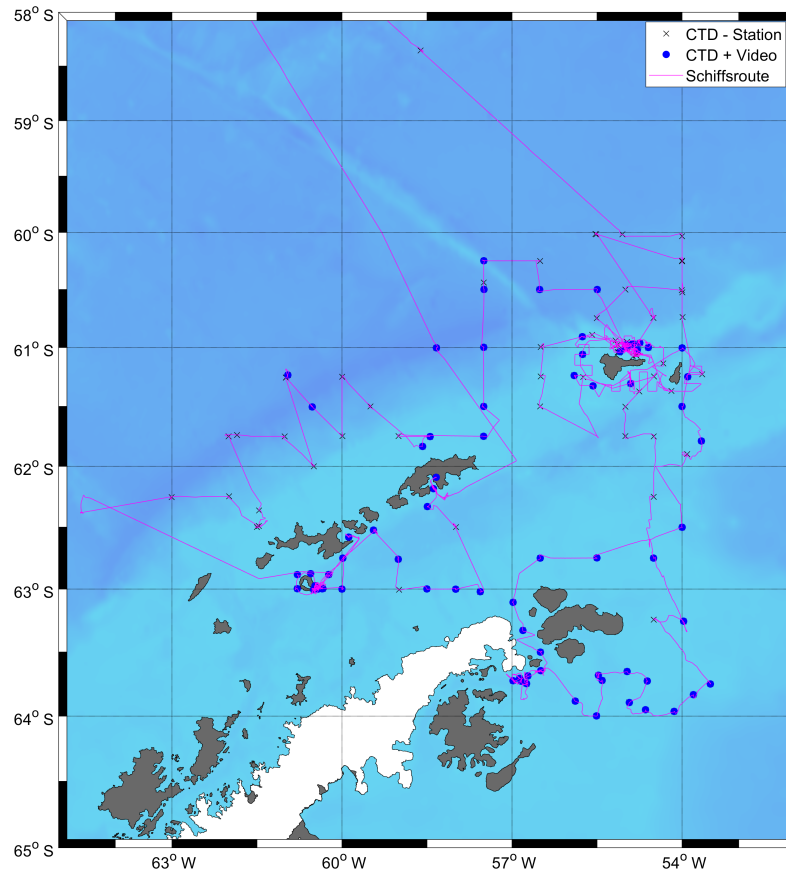


Abb. 10: Karte des Expeditionsgebietes mit Schiffsroute und den Positions-Markierungen für die Stationen mit Einsatz nur der CTD und Einsatz von CTD und Kamera.

Abb. 10 zeigt das Einsatzgebiet der „FS Polarstern“ auf der Reise PS112 und die insgesamt 140 Positionen, an denen entweder nur CTD-Messungen oder CTD-Messungen mit Einsatz der Kamera durchgeführt wurden. Positionen, an denen nur CTD-Stationen durchgeführt wurde, sind in der Karte mit einem Kreuz markiert. Aufgrund eines Defekts an der „Deep Ocean Camera“ und limitierter Einsatzzeit durch die begrenzte Akkukapazität konnten nur an 76 Stationen von den insgesamt 140 Stationen die CTD und die Kamera zusammen eingesetzt werden. Die Stationen mit gemeinsamen Einsatz von CTD und Kamera sind auf der Karte mit einem blauen Punkten markiert. Bei diesen 76 Einsätzen der „Deep Ocean Camera“ entstand ca. 57 h Video-Material. Dieses Material wurde im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit ausgewertet und dem Videomaterial die gemessenen CTD-Daten zugeordnet. Bei der visuellen Auswertung der Videos ergab sich in 666 Fällen eine eindeutige Sichtung von Krill und in 387 Fällen eine eindeutige Sichtung von Salpen.

1.4.1 Ergebnis der Video-Auswertung nach Krill und Salpen

In Abb. 11 sind in der Karte die Stationen eingezeichnet, an denen Krill (rote Punkte) und Salpen (grüne Rauten) in den Videos beobachtet wurden.

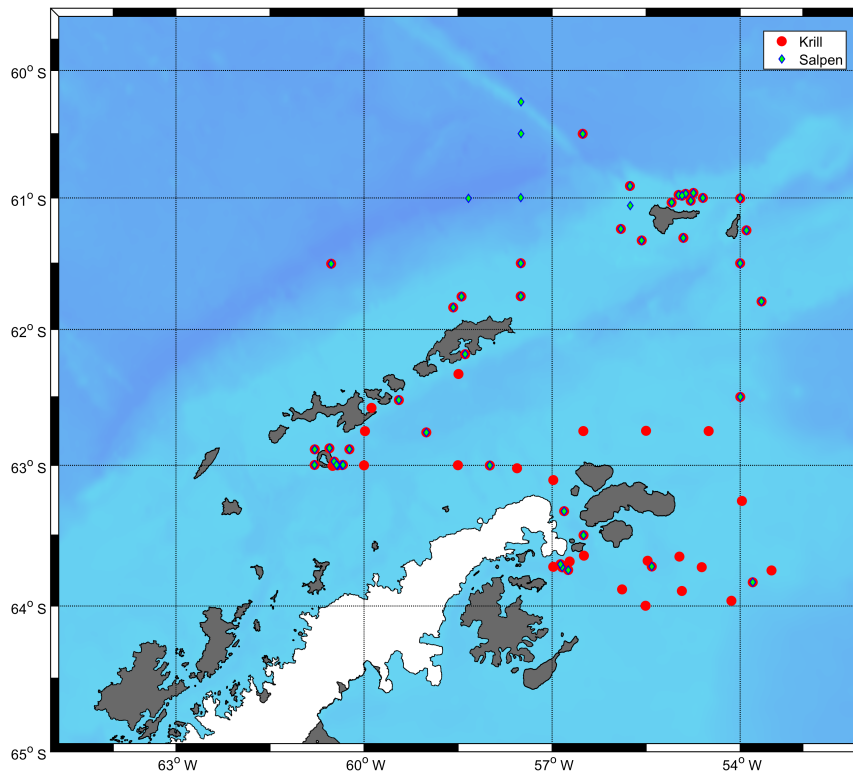


Abb. 11: Karte über die Stationen mit Sichtungen von Krill (rote Punkte) und Salpen (grüne Rauten) in den Videos

Beim Vergleich der Orte zwischen den Sichtungen von Krill und Salpen ist zu erkennen, dass Krill, bis auf fünf Stationen, im gesamten Gebiet der Expedition in den Videos zu beobachten war. Im Unterschied dazu konnten Salpen, bis auf einzelne Beobachtungen im südlichen Bereich (Weddell-Meer und Antarctic-Sund), im Wesentlichen nur nördlich der Südlichen Shetlandinseln und in der Bransfieldstraße gesichtet werden. Die Bransfieldstraße ist die Meerenge zwischen den Südlichen Shetlandinseln und der Spitze der Antarktischen Halbinsel. Die genaue Verteilung der Anzahl der Sichtungen mit Unterteilung nach Seegebieten ist in Tab 2 dargestellt. Die Einteilung nach den Gebieten erfolgte in der Reihenfolge, in der sie die „FS Polarstern“ angefahren hat. Die Zuordnung der Video-Stationen zu den Seegebieten ist in der Karte von Abb. 12 dargestellt. Die Bransfieldstraße ist in der Einteilung zweimal aufgeführt, da sie während der Expedition zweimal durchfahren wurde. Zwischen den beiden Durchfahrten und Beprobungen liegt ein Zeitraum von 18 Tagen.

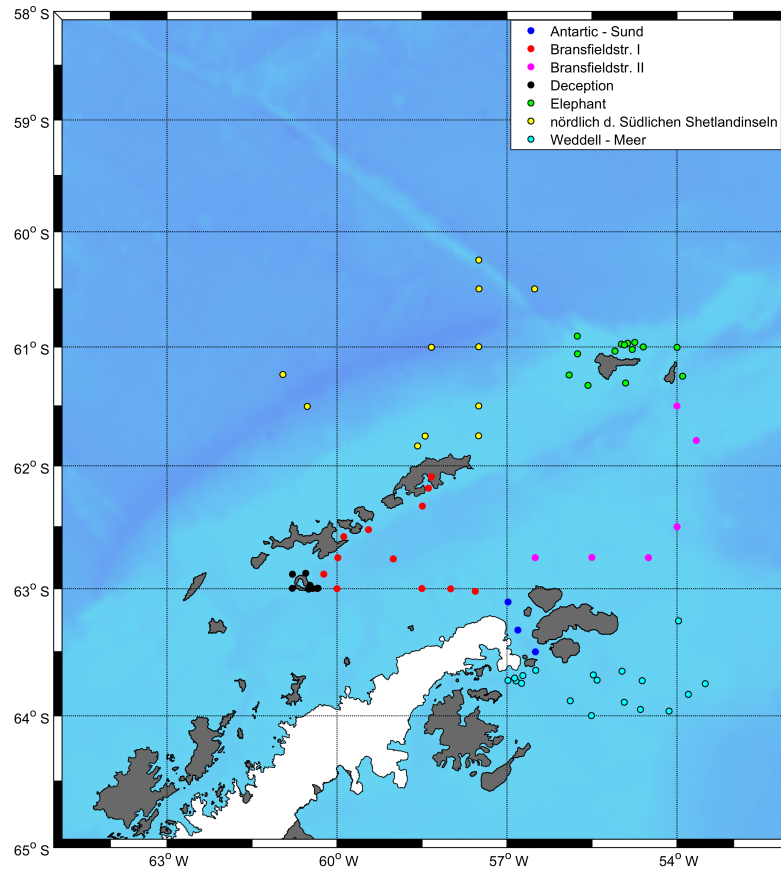


Abb. 12: Karten über die Einteilung der Stationen nach Seegebieten

Tab. 2: Tabelle über die Verteilung der Sichtung von Krill und Salpen in den Videos

| Anzahl der Sichtung pro Seegebiet bei Anzahl an Video-Station | | | | | |
|---|---|-------|---------------------|--------|----------------------|
| Seegebiet | Anzahl der Stationen mit Video-Einsatz im Seegebiet | Krill | Stationen mit Krill | Salpen | Stationen mit Salpen |
| Bransfieldstr. I | 22 | 146 | 21 | 38 | 13 |
| Deception | 10 | 62 | 10 | 22 | 8 |
| nördlich der Südlichen Shetlandinseln | 13 | 38 | 6 | 108 | 10 |
| Weddell-Meer | 19 | 200 | 17 | 14 | 5 |
| Antarctic-Sund | 3 | 109 | 3 | 9 | 2 |
| Bransfieldstr. II | 6 | 39 | 6 | 11 | 3 |
| Elephant | 14 | 134 | 13 | 207 | 14 |

Die Auflistung der Verteilung der Sichtungen in Tab. 2 lässt sich wie folgt erläutern. In der Spalte „Seegebiete“ sind die sieben Regionen der Reihe nach aufgeführt. Die Anzahl der stattgefundenen Stationen mit Video-Einsatz im Seegebiet ist in der zweiten Spalte notiert. In den beiden Spalten für Krill und Salpen steht die Anzahl der Sichtungen im Seegebiet. Eine Sichtung bedeutet, dass von ihr eine Videosequenz existiert, auf der Einzeltiere, eine Gruppe oder ein Schwarm zu erkennen ist. Die Zahl in den Spalten für Stationen mit Krill bzw. Salpen gibt die Anzahl der Video-Stationen an, bei denen Krill oder Salpen in den Videos gesichtet wurden. Bezogen auf Bransfieldstr. I bedeutete das, es wurden im Gebiet 22 Stationen durchgeführt. Dabei wurde an 21 Stationen insgesamt 146-mal Krill in den Videoaufzeichnungen gesichtet. Im gleichen Seegebiet wurden dagegen nur an 13 Stationen insgesamt 38-mal Salpen in den Videos beobachtet. Wird die Zahl der Sichtungen addiert, so ergibt sich für Krill die Gesamtzahl von 728 Sichtungen und für Salpen die Gesamtzahl von 409 Sichtungen. Abschließend muss jeweils noch die Anzahl der Sichtungen an Krill und Salpen bei der Deception Insel von der jeweiligen Gesamtzahl der Sichtung subtrahiert werden, weil die Deception Insel ein Teil der Etappe durch die Bransfieldstraße I ist. Das Seegebiet Deception ist in Tab. 2 gesondert aufgeführt, da dieses Gebiet Teil einer Prozessstudie war. Werden von den insgesamt 728 Sichtungen an Krill die 62 Sichtungen von Deception Insel subtrahiert, so ergibt sich eine eindeutige Sichtung von Krill in 666 Fällen. Analog ergibt sich die eindeutige Sichtung von Salpen in 387 Fällen.

1.4.2 Ergebnisse der Auswertung der zugeordneten CTD-Daten

Den Videos mit beobachtetem Vorkommen von Krill und Salpen (Sichtungen) wurden die gemessenen Parameter der CTD-Sonde mit Hilfe des Scan Counts zugeordnet. In den nachfolgenden Abbildungen werden die errechneten Parameter potentielle Wassertemperatur und absoluter Salzgehalt sowie die gemessenen Parameter Chlorophyll-Fluoreszenz und gelöster Sauerstoffgehalt dargestellt. Die Messwerte für die potentielle Wassertemperatur in °C wurden nach dem ITS-90-Temperaturstandard bestimmt. Nach dem TEOS-10-Standard wurden die Messwerte des absoluten Salzgehaltes in g/kg ermittelt (IOC *et al.* 2010); (Millero *et al.* 2008); (McDougall *et al.* 2012).

Für einen besseren Überblick werden die CTD-Daten für den Krill und die Salpen zunächst getrennt voneinander dargestellt.

Betrachtung der CTD-Daten für den Krill nach Seegebieten

Die den 666 Krill-Sichtungen zugeordneten Parameter potentielle Wassertemperatur, absoluter Salzgehalt, Chlorophyll-Fluoreszenz und Sauerstoffgehalt sind in den Diagrammen A bis D der Abb. 13 dargestellt. In den grau markierten 76 CTD-Profilen ist der dabei gesichtete Krill, in der farblichen Kennung des Seegebiets, zu erkennen. Die potentielle Temperatur wird in der Ozeanographie verwendet, um die Temperaturwerte aus unterschiedlichen Tiefen miteinander vergleichen zu können, weil der Tiefendruck des Wassers mit zunehmender Tiefe einen größeren Einfluss auf dessen Temperatur besitzt. Dieser Einfluss wird durch eine Umrechnung kompensiert.

Im Diagramm **A** ist die Verteilung der potentiellen Wassertemperatur während der Krill-Sichtungen über der Wassertiefe dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Krill in einem Temperaturbereich von etwa $-1,8^{\circ}\text{C}$ bis $+2,4^{\circ}\text{C}$ beobachtet wurde. Bei Analyse der Zugehörigkeit zu den beprobten Regionen ist eine klare Trennung zwischen den Gebieten mit kälteren Wassertemperaturen, Weddell-Meer und Antarctic-Sund, und den etwas wärmeren Gebieten zu erkennen. Bei den Beprobungen in der Bransfieldstr. ist Krill in einem relativ großen Temperaturbereich gesichtet worden.

Der absolute Salzgehalt ist über der Tiefe im Diagramm **B** dargestellt. In den oberen 200 m liegen fast alle Messwerte zwischen 34,1 und 34,6 g/kg und eine Unterscheidung nach Seegebieten ist nicht klar erkennbar. Erst ab einer Tiefe von 300 m beginnt sich mit zunehmendem Salzgehalt von mehr als 34,6 g/kg ein regionaler Unterschied ausprägen. Bis auf wenige Ausnahmen verlaufen alle CTD-Profile im gleichen Bereich des Salzgehaltes.

Keine Unterscheidung nach Regionen lässt sich im Diagramm **C**, dass die Chlorophyll-Fluoreszenz in Abhängigkeit von der Tiefe darstellt, erkennen. Die höchsten Konzentrationen an Chlorophyll befinden sich in den grau hinterlegten CTD-Profilen in den oberen 100 m. Dies ist mit dem Vorhandensein von Phytoplankton zu erklären, das Sonnenlicht für die Photosynthese benötigt und somit Chlorophyll in seinen Zellen anreichert. Der größte Anteil der Krill-Sichtungen ist im linken Bereich des Diagramms bei niedrigeren Konzentrationen zwischen 0 bis $1,6\text{ mg/m}^3$ zu sehen.

Im Diagramm **D**, das den Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von der Tiefe darstellt, ist wieder eine klare Trennung der Sichtung nach Regionen möglich. Die Sichtungen im Weddell-Meer und im Antarctic-Sund fanden bei höheren Konzentrationen um $365\text{ }\mu\text{mol/kg}$ statt. Im Unterschied dazu fanden die Beobachtungen des Krills bei Elephant und nördlich der Südlichen Shetlandinseln in Wassermassen mit geringerem Sauerstoffgehalt statt. Den breitesten Bereich von 340 bis $362\text{ }\mu\text{mol/kg}$ decken die Sichtungen während der Beprobung der Bransfieldstraße ab. Bei genauer Analyse wird deutlich, dass sowohl bei Bransfieldstr. I als auch bei Bransfieldstr. II eine Aufteilung in zwei Bereiche existiert. Die Sichtungen während der Bransfieldstr. II sind auf ein kleineres Intervall bezüglich des Sauerstoffgehalts verteilt, als bei der Bransfieldstr. I.

Ein Vergleich der Diagramme **A** und **D** zeigt eine gewisse Spiegelsymmetrie.

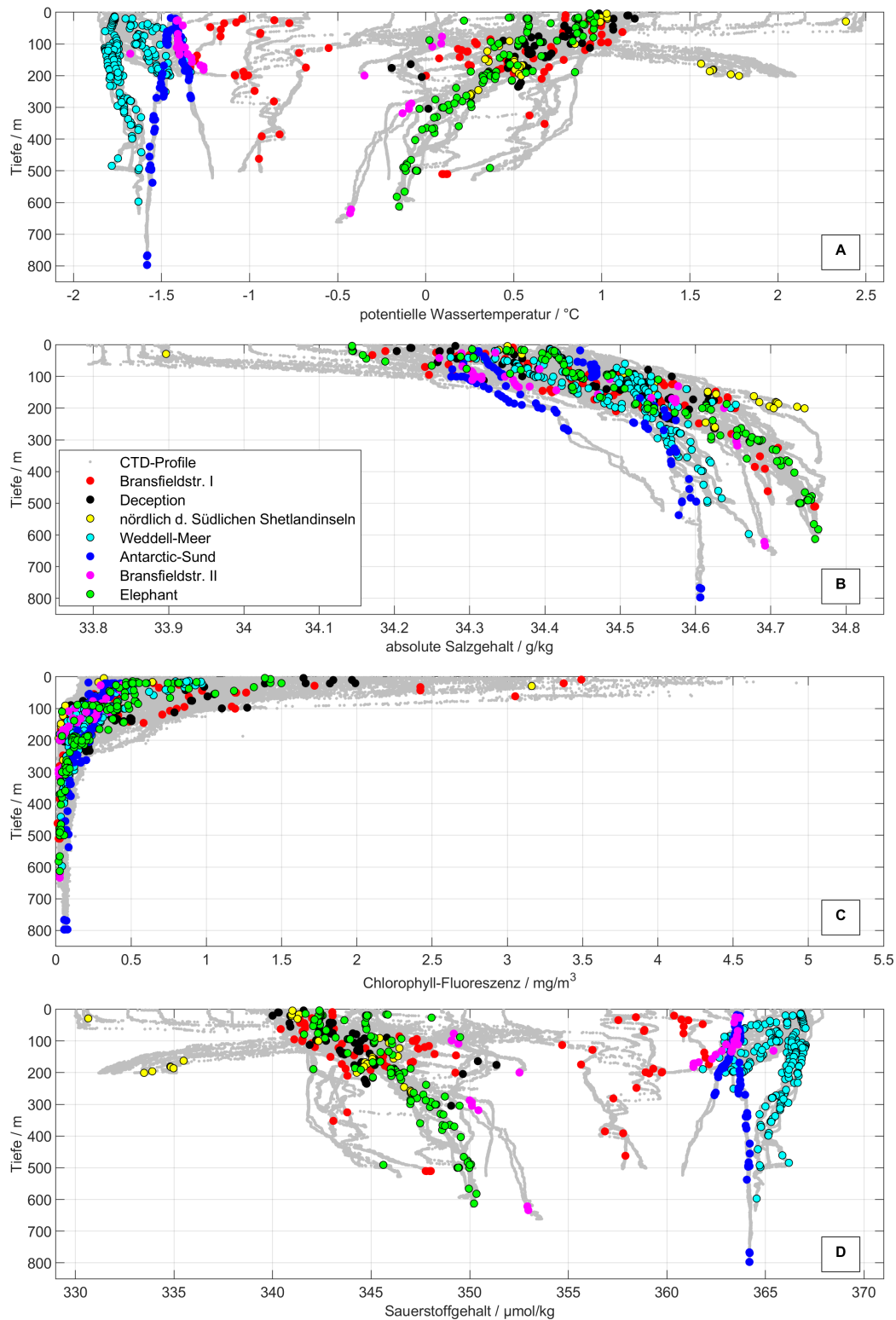


Abb. 13: Diagramme der ermittelten CTD-Parameter über die Tiefe aus den Krill-Sichtungen und den dazugehörigen CTD-Profilen (grau hinterlegt). Die farbliche Codierung der Seegebiete ist in allen Diagrammen gleich.

- A: Diagramm für Tiefe gegen potentielle Wassertemperatur
- B: Diagramm für Tiefe gegen absolute Salzgehalt
- C: Diagramm für Tiefe gegen Chlorophyll-Fluoreszenz
- D: Diagramm für Tiefe gegen Sauerstoffgehalt

Temperatur-Salzgehalt-Diagramm für den Krill

In Abb. 14 ist das Temperatur-Salzgehalt-Diagramm für die Krill-Sichtungen dargestellt. Im Folgenden wird die Kurzbezeichnung TS-Diagramm verwendet. Das TS-Diagramm wird in der Ozeanographie als eines der klassischen Diagramme genutzt, wenn für eine bestimmte Fragestellung der Einfluss unterschiedlicher Wasserkörper auf einen Organismus oder auf die Wassermassen in einem Seegebiet analysiert werden soll. Neben den Koordinatenachsen für die Temperatur und für den absoluten Salzgehalt sind im TS-Diagramm auch gebogene Linien mit den Zahlenwerten von 27 bis 27,8 enthalten. Diese sogenannten Isopyknen sind Linien gleicher Dichte. Sie geben die errechnete Dichte des Meerwassers von $\rho = 1027 \text{ kg/m}^3$ bis $\rho = 1027,8 \text{ kg/m}^3$ an.

Wie in den Diagrammen A und D der Abb. 13 lässt sich auch im TS-Diagramm eine klare Trennung der Sichtungen im Weddell-Meer und Antarctic-Sund von denen bei Deception, Elephant und nördlich der Südlichen Shetlandinseln erkennen. Im Weddell-Meer und im Antarctic-Sund wurde der Krill in einem Temperatur-Bereich von etwa $-1,7^\circ\text{C}$ bis $-1,3^\circ\text{C}$ und einem Salzgehalt zwischen $34,25 \text{ g/kg}$ und $34,65 \text{ g/kg}$ beobachtet.

Im Unterschied dazu wurde der Krill zum Beispiel im Seegebiet Deception bei Wassertemperaturen zwischen 0°C bis $+1,3^\circ\text{C}$, aber in einem ähnlichen Bereich des Salzgehaltes gesichtet. Die größte Streuung im Diagramm ist bei den Sichtungen während der ersten Beprobung der Bransfieldstraße (Bransfieldstr. I) zu erkennen. Die Beobachtungen bei der zweiten Durchfahrt (Bransfieldstr. II) sind dagegen analog zu den Diagrammen A und D deutlich in zwei Bereiche getrennt.

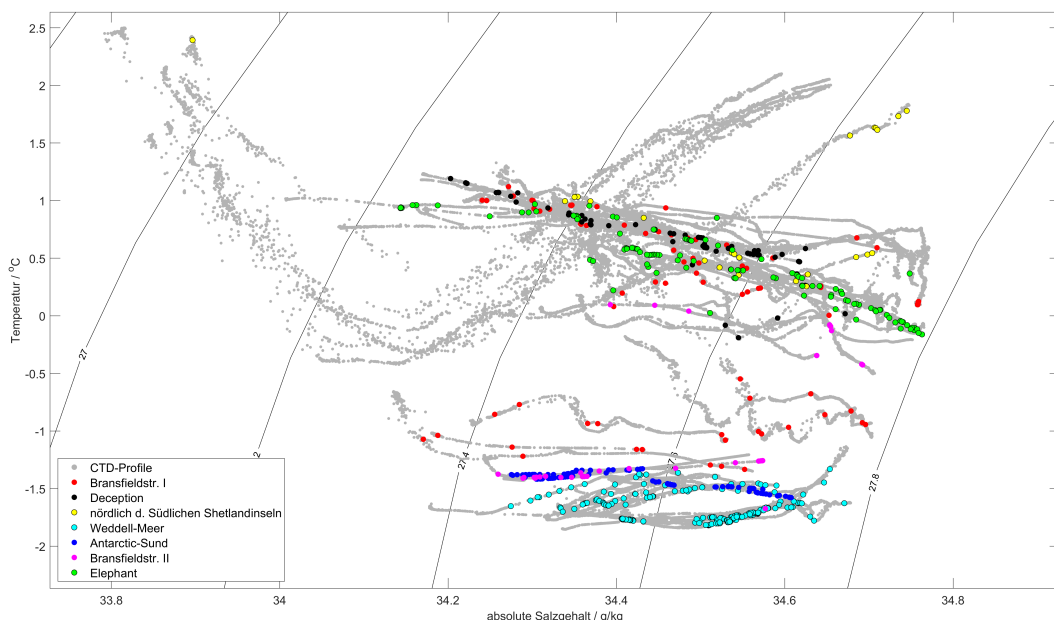


Abb. 14: Temperatur-Salzgehalt-Diagramm des Krills mit der Farb-Codierung der Sichtungsbereiche, Grau hinterlegt sind die dazugehörigen CTD-Profilen

Betrachtung der CTD-Daten für die Salpen nach Seegebieten

Die CTD-Parameter aus den 387 Sichtungen von Salpen sind in den Diagrammen **E** bis **H** in Abb. 15 dargestellt. Im Wassertemperatur-Tiefe-Diagramm **E** ist zu sehen, dass die größte Anzahl der Beobachtungen von Salpen bei Elephant Island und nördlich der Südlichen Shetlandinseln erfolgte. Ähnlich wie im Diagramm **A** für Krill ist auch bei den Salpen eine Trennung in zwei Temperaturbereiche zu erkennen. Die einzelnen Sichtungen im Weddell-Meer und Antarctic-Sund sind deutlich von den anderen Beobachtungen getrennt. Die Sichtungen bei den beiden Beprobungen in der Bransfieldstraße verteilen sich wieder auf einen größeren Temperaturbereich. Den größten Temperaturbereich decken die Beobachtungen im Seegebiet nördlich von den Südlichen Shetlandinseln von $-0,2^{\circ}\text{C}$ bis $+2,4^{\circ}\text{C}$ ab.

Im Diagramm **F** für den absoluten Salzgehalt ist zu erkennen, dass sich die Sichtungen der Salpen deutlicher auf den Wertebereich verteilen als beim Krill. Den größten Bereich von etwa $33,8\text{ g/kg}$ bis $34,7\text{ g/kg}$ nehmen die Beobachtungen nördlich der Südlichen Shetlandinseln ein, gefolgt von den Sichtungen bei Elephant. Eine Trennung der Sichtungen nach Gebieten ist erst ab einer Tief von 300 m und mit zunehmendem Salzgehalt im Ansatz erkennbar.

Bei den Messwerten für die Chlorophyll-Fluoreszenz im Diagramm **G** wird deutlich, dass auch hier die Beobachtungen nördlich der Südlichen Shetlandinseln den größten Bereich der Konzentrationen abdecken. Die Sichtungen in den anderen Seegebieten sind auf kleinere Intervalle bezüglich der Fluoreszenz verteilt.

Im Diagramm **H** für den gelösten Sauerstoffgehalt ist ähnlich wie im Diagramm **E** wieder eine klarere Unterscheidung der Beobachtungen nach Regionen zu erkennen. Die größte Anzahl der Sichtungen gab es im Bereich mit einem Sauerstoffgehalt zwischen $330\text{ }\mu\text{mol/kg}$ und $353\text{ }\mu\text{mol/kg}$.

Bei allen Diagramme von **E** bis **H** ist festzustellen, dass es Sichtungen nördlich der Südlichen Shetlandinseln nur in einer Tiefe von 0 m bis max. 200 m gab. Im Unterschied dazu erfolgten zum Beispiel bei Elephant Beobachtung bis in eine Tiefe von 600 m. Das hängt damit zusammen, dass die Mehrzahl der CTD-Profile nur bis in eine Tiefe von 200 m gemessen wurde.

Bei den Diagramm **E** und **G** lässt sich ähnlich wie beim Krill eine Spiegel-Symmetrie feststellen.

Die Darstellungen der grau hinterlegten CTD-Profile sind bei den Abbildungen für Krill und Salpen gleich, da sie aus denselben Datensätzen ermittelt wurden.

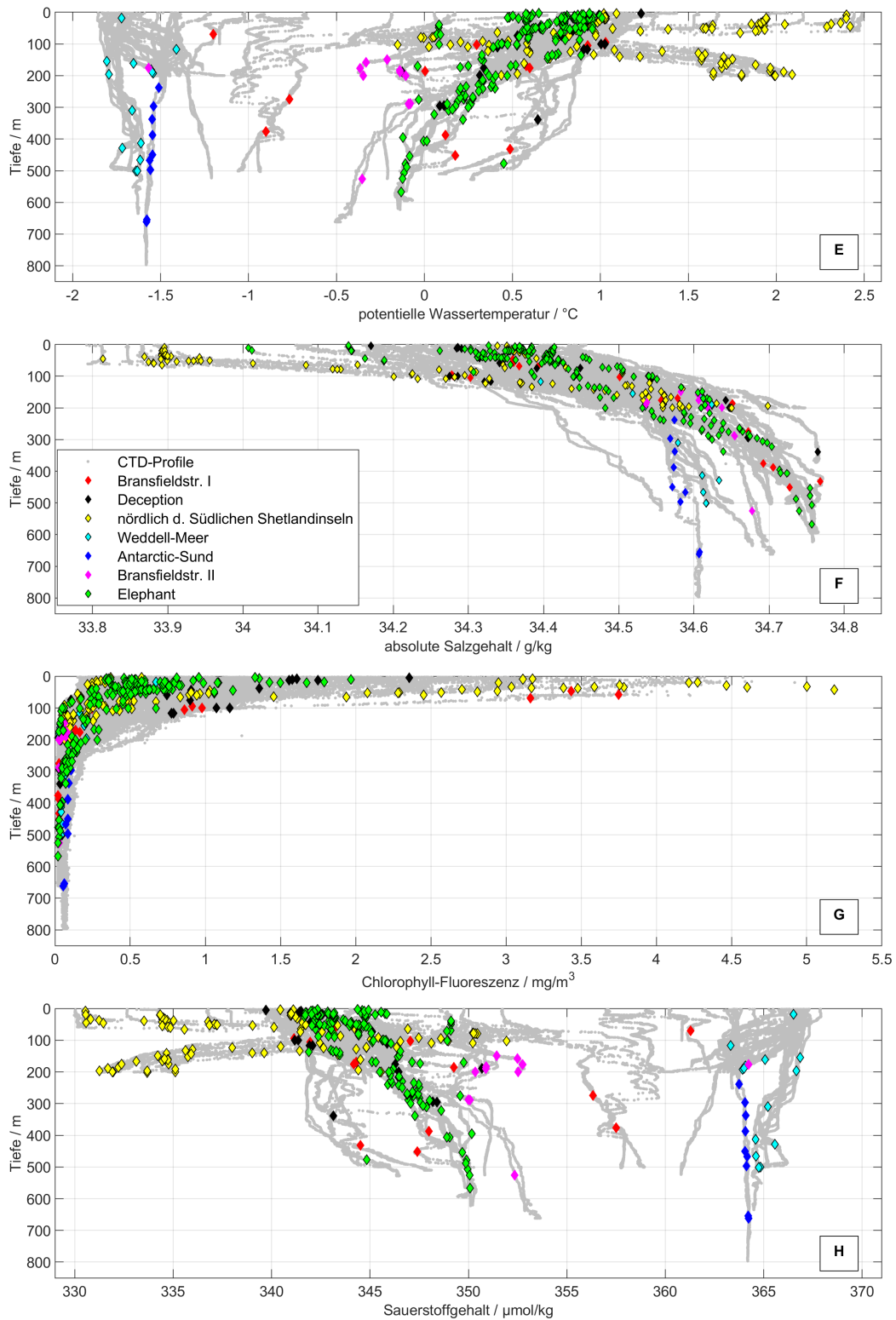


Abb. 15: Diagramme der ermittelten CTD-Parameter über die Tiefe aus den Salpen-Sichtungen und den dazugehörigen CTD-Profilen (grau hinterlegt). Die farbliche Codierung der Seegebiete ist in allen Diagrammen gleich.

- E: Diagramm für Tiefe gegen potentielle Wassertemperatur
- F: Diagramm für Tiefe gegen absolute Salzgehalt
- G: Diagramm für Tiefe gegen Chlorophyll-Fluoreszenz
- H: Diagramm für Tiefe gegen Sauerstoffgehalt

Temperatur-Salzgehalt-Diagramm für die Salpen

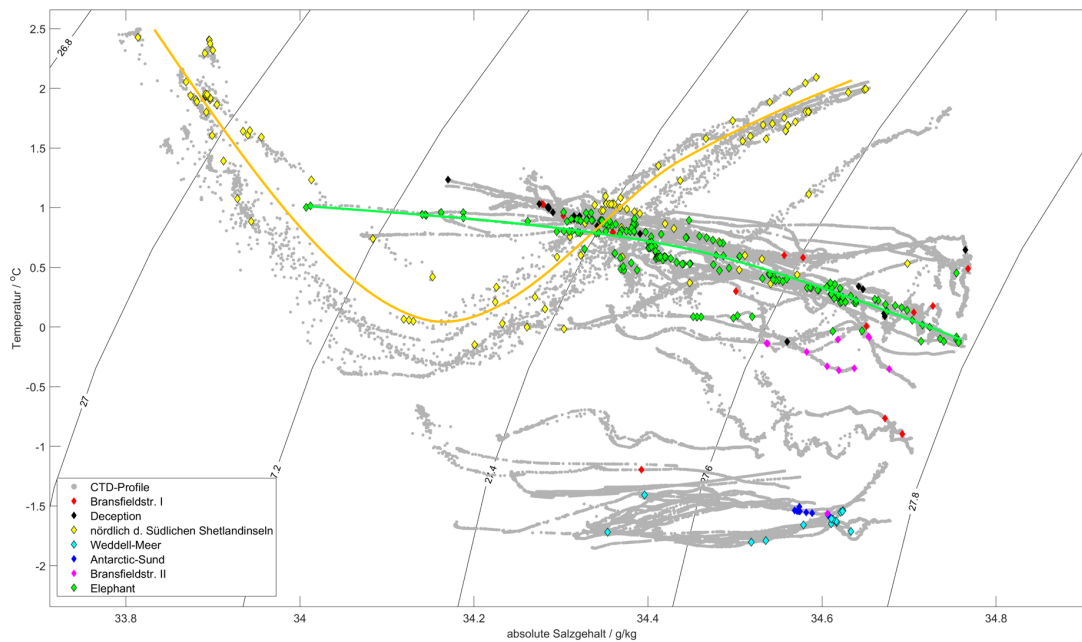


Abb. 16: Temperatur-Salzgehalt-Diagramm der Salpen mit der Farb-Codierung der Sichtungsgebiete, grau: dazugehörige CTD-Profile

In Abb. 16 ist das TS-Diagramm für die Salpen dargestellt. Auch in diesem Diagramm ist eine deutliche Trennung der Sichtgebiete zu erkennen. Die Hauptvorkommen bei Elephant und nördlich der Südlichen Shetlandinseln sind deutlich von den wenigen Vorkommen im Weddell-See und Antarctic-Sund getrennt. Gleichzeitig ist auch ein Unterschied in der Verteilung der beiden Hauptsichtungsgebiete festzustellen. Die Beobachtungen nördlich der Südlichen Shetlandinseln verteilen sich im Wesentlichen entlang der gelb dargestellten konkaven Kurve. Im Unterschied dazu verteilen sich die Sichtungen bei Elephant entlang der leicht gekrümmten grünen Kurve. Im Fall des Seegebiets nördlich der Südlichen Shetlandinseln lässt sich dieser Verlauf auf das Vorhandensein bzw. den Einfluss von drei verschiedenen Wassermassen zurückführen. Beim Seegebiet Elephant kann der Verlauf nur auf zwei verschiedene Wasserkörper zurückgeführt werden.

Temperatur-Salzgehalt-Diagramm für Krill und Salpen zusammen

Für die Auswertung und die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen dem Antarktischen Krill und den Salpen sind im Diagramm der Abb. 17 die Ergebnisse von Krill und Salpen in einem TS-Diagramm zusammengefasst. Zur besseren Übersicht wurden in diesem Diagramm die CTD-Profil-Daten nicht geplottet. Die Krill-Sichtungen sind im Diagramm durch Kreise gekennzeichnet, die Beobachtungen der Salpen dagegen durch Quadrate. Für die Unterteilung der Sichtungen nach den Seegebieten wird für beide Organismen jeweils die gleiche Farbcodierung verwendet. Das TS-Diagramm verdeutlicht erneut die in Tab. 2 angegebenen Zahlen für die Häufigkeit der Sichtungen in den einzelnen Regionen. Im Gebiet nördlich der Südlichen Shetlandinseln wurden Salpen in 108 Fällen beobachtet, Krill dagegen nur in 38 Fällen. Im Seegebiet Elephant ist bei der Beobachtung beider Lebewesen bezüglich ihrer Häufigkeit kein Unterschied zu sehen. Beim Weddell-Meer und dem Antarctic-Sund wird die geringe Anzahl der gesichteten Salpen von der großen Anzahl an Krill-Sichtungen überlagert.

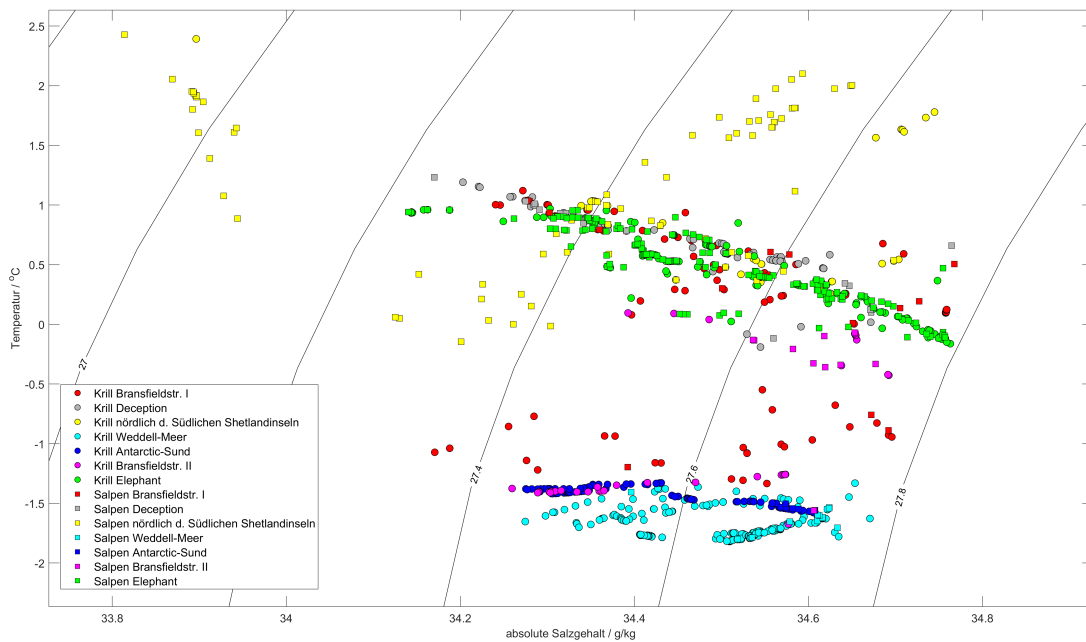


Abb. 17: TS-Diagramm für Krill und Salpen mit Farbcodierung der Sichtungsgebiete

Korrelationen zwischen den CTD-Parametern für Krill und Salpen

Bei der Auswertung der CTD-Daten nach der Existenz von Korrelationen zwischen den Parametern Wassertemperatur, absoluter Salzgehalt, Chlorophyll-Fluoreszenz und Sauerstoffgehalt wurden diese auch zusammen bzw. gegeneinander dargestellt. Alle Diagramme dieser Untersuchung sind dem Anhang (S. 110 und S. 111) beigelegt. Stellvertretend für diese Auswertung und mit einer eindeutigen Korrelation sind in Abb. 18, für den Krill, das Diagramm für die Temperatur in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt und das dazugehörige Diagramm mit der Temperatur in Abhängigkeit von der errechneten Sauerstoffkonzentration dargestellt. Dieselben Diagramme für die Salpen werden in Abb. 19 abgebildet.

Zur Verdeutlichung des linearen Zusammenhangs wurde aus den Messwerten beider Organismen die jeweilige Regressionsgerade mithilfe der Formeln 9 bis 11 (s. Anh. S. 112) berechnet. Diese Formeln stammen aus der Mathematischen Formelsammlung für Ingenieure und Naturwissenschaftler (Seite 308 - 309) von Papula.

Regressionsgerade für Krill:

$$y = -0,1072 * x + 37,5084 \quad (2)$$

x : Wertebereich für den Sauerstoffgehalt von 330 bis 370 $\mu\text{mol/kg}$ beim Krill

y : berechnete Werte der potenziellen Wassertemperatur für die Gerade beim Krill

Regressionsgerade für Salpen:

$$h = -0,1137 * m + 39,7794 \quad (3)$$

m : Wertebereich für den Sauerstoffgehalt von 330 bis 370 $\mu\text{mol/kg}$ bei Salpen

h : berechnete Werte der potenziellen Wassertemperatur für die Gerade beim Salpen

Neben den Regressionsgeraden wurde für Krill und Salpen auch deren Korrelationskoeffizient berechnet. Die dafür verwendete Formel 12 (siehe Anhang S. 112) wurde ebenfalls der Formelsammlung von Papula entnommen. Laut Papula gilt für den Korrelationskoeffizienten folgendes: „Die n Messpunkte liegen immer dann nahezu auf einer Geraden, wenn r sich nur wenig von -1 oder $+1$ unterscheidet. Im Falle $|r| = 1$ liegen die Messpunkte exakt auf einer Geraden“ (Papula 2009).

Korrelationskoeffizient für Krill:

$$r_{Krill} = -0,9989 \quad (4)$$

Korrelationskoeffizient für Salpen:

$$r_{Salpen} = -0,9971 \quad (5)$$

Beide Koeffizienten liegen sehr nahe an -1 . Die errechnete Sauerstoffkonzentration bei ca. 100 %. Das bedeutet, dass von den ausgewerteten Parametern für Krill und Salpen die Wassertemperatur der entscheidende Faktor für deren Existenz in der Antarktis ist.

Bei der Betrachtung des Diagramms für Temperatur und Sauerstoffgehalt (Abb. 19 links) ist außerdem festzustellen, dass die überwiegende Anzahl der Salpen bei Wassertemperaturen oberhalb von $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ und unterhalb eines Sauerstoffgehalts von ca. $350\text{ }\mu\text{mol/kg}$ gesichtet wurden. Offensichtlich finden die Salpen in diesem Bereich gute Bedingungen für ihre Existenz. Im Unterschied dazu verteilen sich die Krill-Sichtungen im Wesentlichen auf 2 Bereiche (Abb. 18 links). Einmal ist es der gleiche Bereich wie bei den Salpen und zusätzlich gibt es eine hohe Anzahl an Sichtungen bei kälterem und sauerstoffreichem Wasser.

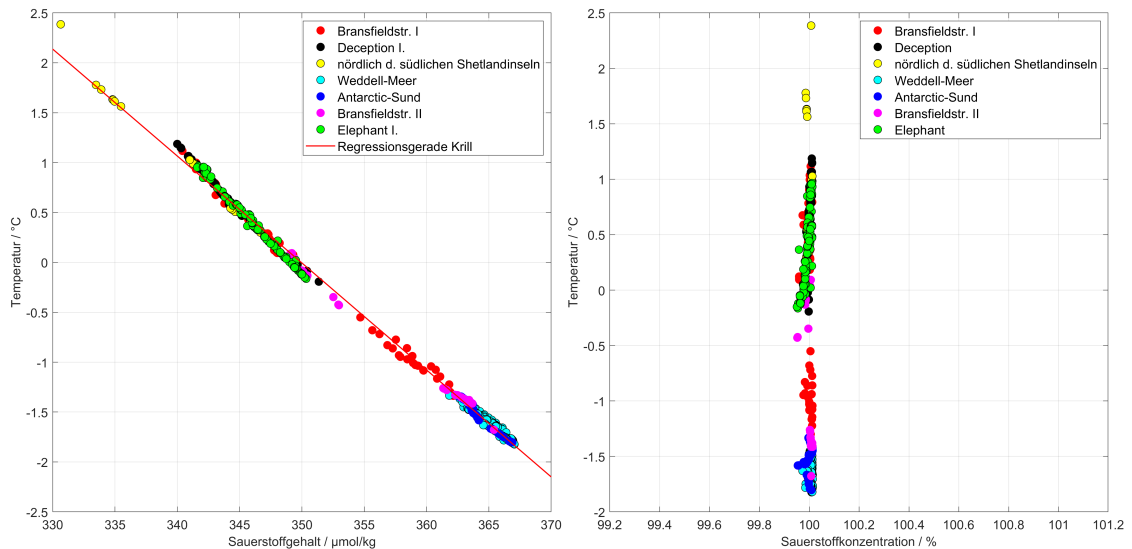


Abb. 18: Diagramme über die Abhängigkeit der Sichtungen von Krill bezüglich Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt bzw. Wassertemperatur und Sauerstoffkonzentration

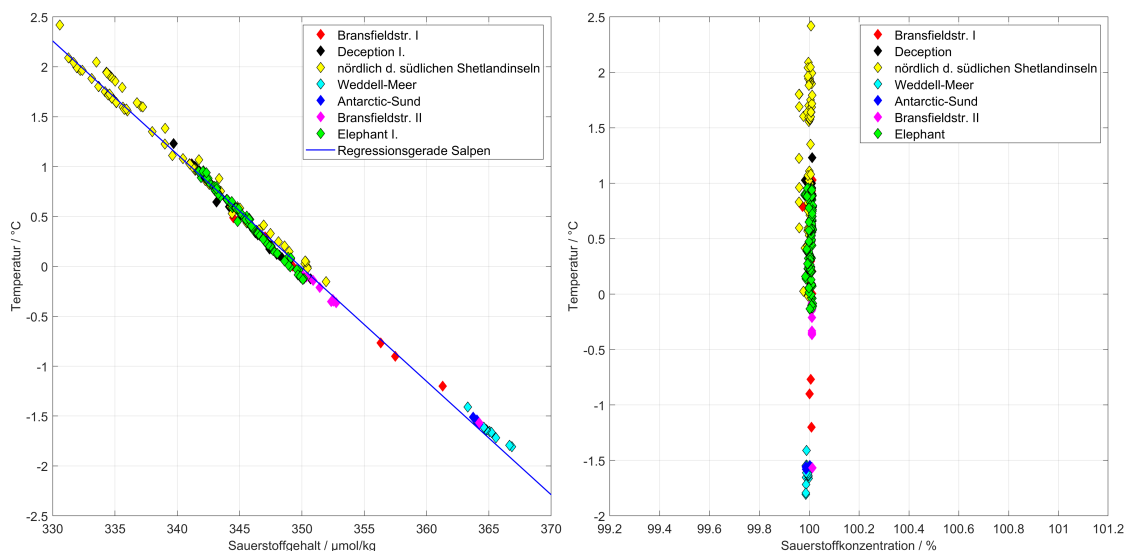


Abb. 19: Diagramme über die Abhängigkeit der Sichtungen von Salpen bezüglich Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt sowie Wassertemperatur und Sauerstoffkonzentration

1.5 Diskussion der Ergebnisse der Video-Auswertung

Die Erkenntnisse aus den Ergebnissen der Video-Auswertung lassen sich mit den ersten Ergebnissen aus dem Teilprojekt „KrillBIS“ der Expedition PS112 vergleichen und diskutieren.

1.5.1 Diskussion der Ergebnisse der Video-Auswertung mit den Ergebnissen von KrillBIS

Das Projekt „KrillBIS“ diente während der Expedition PS112 zur Langzeiterfassung von Informationen über die Populationsdichte von Krill und Salpen im Seegebiet nördlich der Antarktischen Halbinsel. Dafür wurden neben der hydroakustischen Untersuchung mit dem EK60, auch Netztrawls an speziellen Positionen entlang der Expeditionsroute durchgeführt. Die Ergebnisse von insgesamt 88 quantitativen Trawls lassen sich mit den Ergebnissen aus den Videos gegenüberstellen (Meyer und Wessels 2018). Für einen besseren Vergleich zwischen den Sichtungen in den Videos und den Beobachtungen in den Netzfängen, werden die Ergebnisse der Sichtungen von Krill und Salpen aus Abb. 11, (Kapitel 1.3.1, S. 26) nachfolgend nochmals getrennt dargestellt.

Vergleich der Beobachtungen von Krill

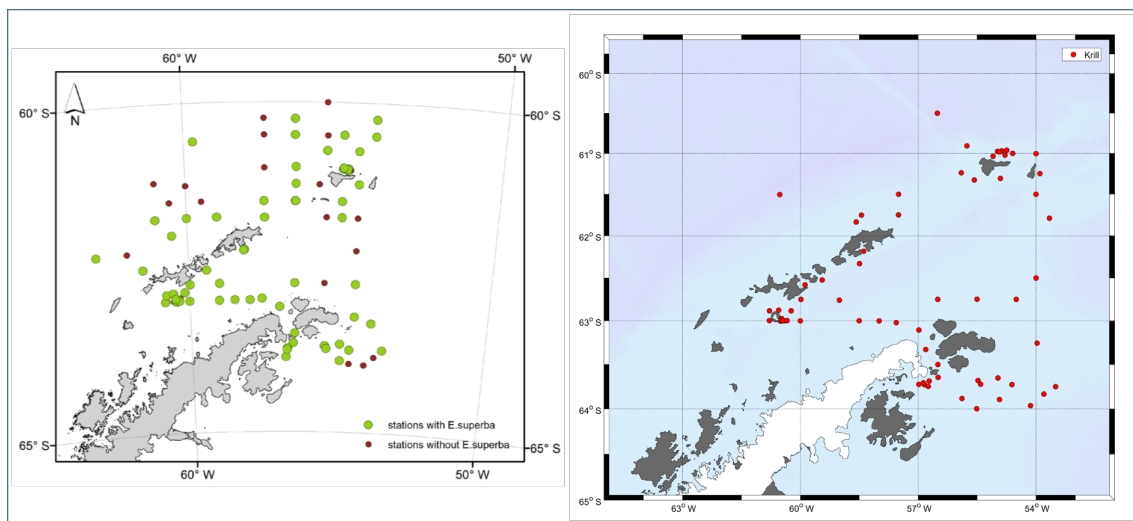


Abb. 20: Karten über die Beobachtung von Krill während PS112, links: Beobachtung von Antarktischem Krill in den Netztrawls aus dem Projekt „KrillBIS“ (Meyer und Wessels 2018), rechts: Positionen der Sichtungen von Krill in den Videos

In Abb. 20 sind die Ergebnisse der Funde von Antarktischem Krill in den Netztrawls (links) und die Sichtungen von Krill in den Videos (rechts) in der jeweiligen Karte dargestellt. Die Informationen für die Ergebnisse aus den Trawls stammen aus dem Expeditionsreport zur Polarstern-Expedition PS112 (ebd.). Bezüglich der unterschiedlichen Bezeichnung von Antarktischem Krill (*Euphausia superba*) in den Netzfängen und den Sichtungen von Krill in den Videos muss Folgendes erläutert werden. Da die Fänge der Trawls an Bord der „FS Polarstern“ von Meeresbiologen ausgewertet wurden, war es möglich, dass zu jedem gefangenen Organismus dessen Art und Gattung bestimmt werden

konnte. Aufgrund der Konfiguration der „Deep Ocean Camera“ und ihrer Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Bildqualität bei sich bewegenden Objekten, ist es nur möglich, in den Videos die Sichtungen nach ihrer Art - Krill, Salpen, Fisch oder Qualle - zu unterscheiden. Daher sind die Beobachtungen in den Videos nur entweder mit Krill oder mit Salpen bzw. Salpenketten bezeichnet. Die genauere Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Kamera erfolgt im zweiten Abschnitt der Masterarbeit (Kap. 2.2.2, S. 53).

Die Beobachtungen des Krills in den Videos bestätigen die Ergebnisse aus den Netzfängen nur zum Teil. Bis auf die fehlenden Kameraeinsätze nordwestlich der Südlichen Shetlandinseln konnte Krill im gesamten Gebiet der Expedition in den Videos beobachtet werden. Der Hauptbereich des Vorkommens von Krill liegt eher im Schelfbereich zwischen den Inseln, der Bransfieldstraße und dem Weddell-See als im Offshore-Bereich. Das lässt sich auch anhand der Anzahl der Sichtungen pro Seegebiet, die in Tab. 2 aufgeführt sind, bestätigen.

Eine genaue quantitative Aussage über die Menge an Krill und Salpen in den Videos lässt sich anhand dieser Zahl jedoch nicht treffen, weil während des Einsatzes der Kamera nicht vermieden werden konnte, dass sich Krill und Salpen eventuell auch mehrmals durch das Sichtfeld der Kamera bewegt haben. Deshalb kann mit den Videos nur die Aussage getroffen werden, ob an der geographischen Position des Kameraeinsatzes und in der bestimmten Tiefe Krill oder Salpen gesichtet wurden oder nicht. Trotzdem lassen sich bezüglich der Häufigkeit der Beobachtungen in den Seegebieten einige Aussagen treffen. Mit den Daten aus den Videos lassen sich auch Darstellungen über die vertikale Zuordnungen der Sichtungen entwickeln. Dies ist sonst mit den Daten der Netzfänge, bis auf das Multi-RMT-Netz, nicht möglich.

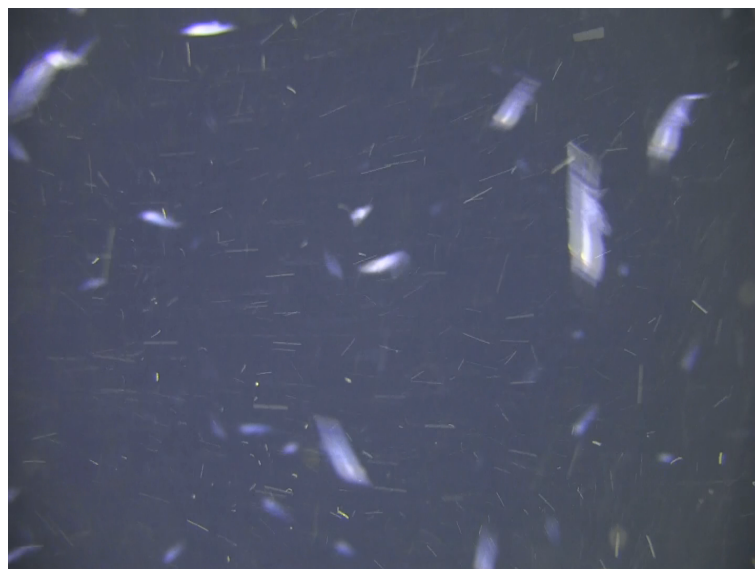


Abb. 21: Videobild aus der Krill_Sequence_438_PS112p101a01 (Frame 55), Aufnahme aus einem Krill-Schwarm der Deep Ocean Camera an der Station PS113p101a01 im Antarctic-Sund in ca. 66 m Tiefe

Die hohe Anzahl von 109 Krill-Sichtungen bei nur 3 Kamera-Einsätzen im Antarctic-Sund kann wie folgt erklärt werden. Während der Durchfahrt und der Beprobung konnte auf dem EK60-Bildschirm die Existenz von mehreren großen Krill-Schwärmen beobachtet

werden. Die Einsätze an den drei Stationen führte die Kamera jeweils durch solch einen großen Schwarm. Abb. 21 zeigt die Aufnahme der „Deep Ocean Camera“ aus solch einem Krill-Schwarm in ca. 66 m Tiefe. Das Bild stammt aus dem Video, das an der Station „PS112p101a01“ in der Mitte des Antarctic-Sunds aufgenommen wurde. Es wurde aus der Video-Sequenz Nr. 438 für Krill (Krill_Sequence_438_PS112p101a01) geschnitten.

In Tab. 3 sind die Durchschnittszahlen der Beobachtungen von Krill pro Video in den einzelnen Seegebieten aufgeführt. Die Durchschnittszahlen wurden berechnet, in dem die Anzahl der Sichtungen durch die Anzahl der Stationen mit Video-Einsatz im Seegebiet dividiert wurde. Die in Klammern gesetzten Zahlen geben die Anzahl dieser Stationen an. Bei den Durchschnittszahlen gibt es eine sehr breite Streuung. 36,33 Sichtungen pro Station im Antarctic-Sund stehen nur 2,92 Sichtungen pro Station nördlich der Südlichen Shetlandinseln gegenüber. Insgesamt bestätigen die Durchschnittszahlen die Annahme über die bevorzugte Verbreitung des Krills im Expeditionsgebiet.

Tab. 3: Tabelle über Durchschnitte der Beobachtungen von Krill in den Videos nach Seegebiet

| Durchschnitt der Beobachtung von Krill pro Video im Seegebiet | |
|--|-------|
| Bransfieldstr. I (22) | 6,64 |
| nördlich d. Südlichen Shetlandinseln (13) | 2,92 |
| Weddell-Meer (19) | 10,53 |
| Antarctic-Sund (3) | 36,33 |
| Bransfieldstr. II (6) | 6,5 |
| Elephant (14) | 9,57 |

Vergleich der Beobachtungen von Salpen

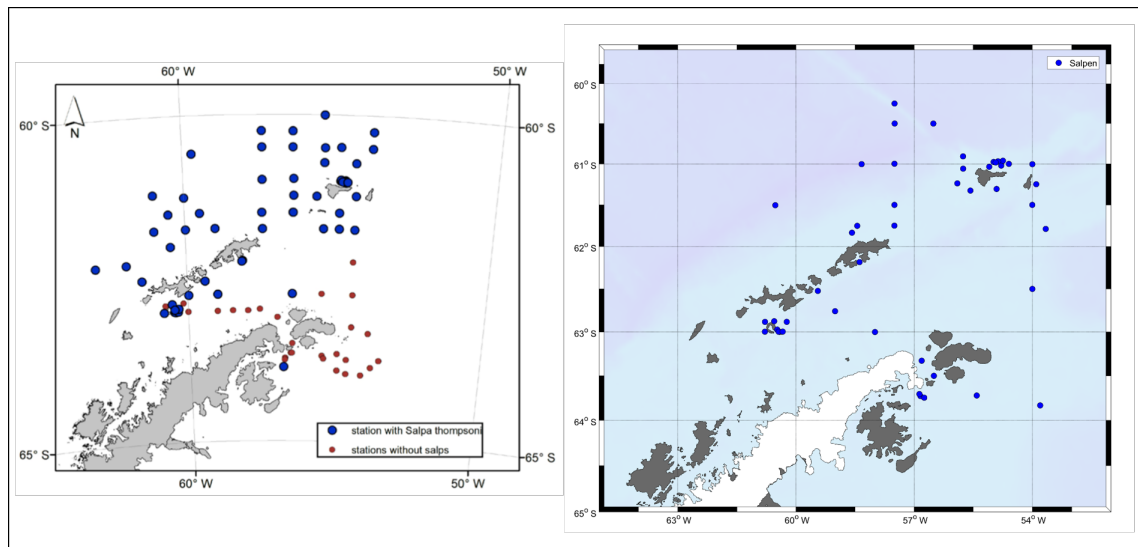


Abb. 22: Karten über die Beobachtung von Salpen während PS112, links: Fundorte von *Salpa thompsoni* in den Netztrawls aus dem Projekt „KrillBIS“ (Meyer und Wesels 2018), rechts: Positionen der Sichtungen von Salpen in den Videos

Auch bei den Untersuchungen zum Vorkommen von Salpen werden die gesammelten Erkenntnisse aus den Netzfunden durch die Beobachtungen in den Videos im Wesentlichen bestätigt. Die Orte, an den *Salpa thompsoni* in den Trawls gefunden wurden, und die Orte, an den Salpen in den Videos beobachtet wurden, sind in den beiden Karten der Abb. 23 dargestellt. Wie in der Karte links zu erkennen ist, wurden *Salpa thompsoni* bis auf eine Station im „Erebus und Terror Golf“ des Weddell-Meeres hauptsächlich nur bei den Südlichen Shetlandinseln und Elephant Island sowie nördlich davon gefangen. Die Positionen der Beobachtung von Salpen in den Videos der „Deep Ocean Camera“ sind in der Karte rechts dargestellt. Im Unterschied zur Karte links konnten in den Videos Salpen und Salpenketten vereinzelt auch im Weddell-Meer und im Antarctic-Sund gesichtet werden. Der optische Eindruck in der Karte rechts, dass Salpen im Untersuchungsgebiet gleichmäßig verteilt sind, wird bei Einbeziehung der durchschnittlichen Beobachtung von Salpen pro Video im Seegebiet relativiert.

Tab. 4: Tabelle über Durchschnitte der Beobachtungen von Salpen in den Videos nach Seegebiet

| Durchschnitt der Beobachtung von Salpen pro Video im Seegebiet | |
|--|-------|
| Bransfieldstr. I (22) | 1,73 |
| nördlich d. Südlichen Shetlandinseln (13) | 8,31 |
| Weddell-Meer (19) | 0,74 |
| Antarctic-Sund (3) | 3,0 |
| Bransfieldstr. II (6) | 1,83 |
| Elephant (14) | 14,79 |

In Tab. 4 sind die Durchschnitte der Beobachtungen aufgeführt. Die Durchschnittswerte der Sichtungen bei Elephant Island und nördlich der Südlichen Shetlandinseln sind deutlich höher als in den anderen Seegebieten. Die Durchschnittswerte bestätigen die Aussage der Karte links, dass das Hauptverbreitungsgebiet der Salpen während der Expedition im Bereich nördlich der beiden Inseln lag.

Bei der Auswertung der Netztrawls hinsichtlich der Populationsdichte von Salpen in Abhängigkeit vom Wasservolumen wurde neben *Salpa thompsoni* noch *Ihlea racovitzai*, eine andere Salpen-Art, gefunden. In Abb. 23 sind die Ergebnisse aus dieser Studie dargestellt. Die Karte enthält die Verteilung der Anzahl von Individuen pro 1000 m³ Wasser. Bei den Vorkommen an *Ihlea racovitzai* lag die Anzahl bei weniger als 10 Individuen pro 1000 m³ (Meyer und Wessels 2018). Da *Salpa thompsoni* hauptsächlich nördlich der Inseln gefangen wurden, ist anzunehmen, dass es sich bei den Beobachtungen in den Videos im Weddell-Meer und im Antarctic-Sund um die Salpenart *Ihlea racovitzai* handelt. Für eine eindeutige Aussage zur Art der gesichteten Salpen ist die Qualität der Videos jedoch nicht ausreichend.

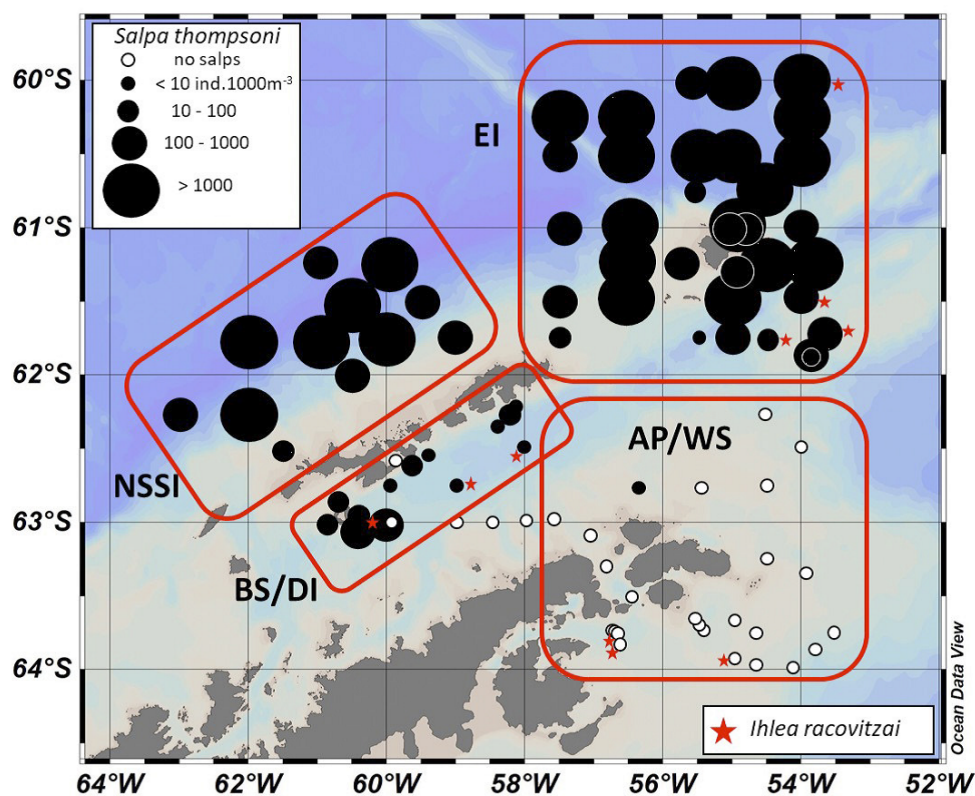


Abb. 23: Verteilung von *Salpa thompsoni* und *Ihlea racovitzai* im westlichen Atlantik-Sektor des Südlichen Ozeans im Zeitraum März bis Mai 2018 (Meyer und Wessels 2018); BS/DI - Bransfieldstr. und Deception Island; NSSI - nördlich der Südlichen Shetlandinseln; EI - Elephant Island; AP/WS - Antarctic Peninsula und Weddell-Meer;

1.5.2 Diskussion der ausgewerteten CTD-Daten

Durch den kombinierten Einsatz von CTD und Kamera konnten den Beobachtungen von Krill und Salpen (Kap. 1.4.1, S. 26) die ausgewerteten CTD-Daten (Kap. 1.4.2, S. 28) zugeordnet werden. Diese Zuordnung und Auswertung ist insofern interessant, da in der Meeresforschung in der Regel bei der Nutzung der Netztrawls CTD-Sonden nur selten zum Einsatz kommen. Bei der Auswertung eines solchen Trawls ohne Einsatz einer CTD-Sonde kann deshalb nur auf folgende Daten zurückgegriffen werden: Datum und Uhrzeit, geographische Position, Strecke zwischen Start- und Endpunkt, ungefähre Tiefe in Abhängigkeit von der Schlepptiefe und der Schleppgeschwindigkeit sowie durchströmtes Wasservolumen. Durch den kombinierten Einsatz von CTD-Sonde und Kamera können dagegen die Wasserparameter in situ erfasst werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die Umweltparameter des aktuell beobachteten Organismus, im vorliegenden Fall Krill oder Salpen, in dessen Habitat vor Ort erfasst und ausgewertet werden. Die Ergebnisse der ausgewerteten CTD-Parameter zeigen, dass sowohl für Krill als auch für Salpen neben dem Phytoplankton als Nahrungsressource, die Wassertemperatur im Meer der wichtigste Faktor für ihr Vorkommen im Gebiet der Antarktischen Halbinsel sind. Die ermittelte Linear-Korrelation zwischen diesen beiden Parametern bestätigt diese Aussage. Für den Krill und die Salpen lässt sich anhand beider Faktoren auch eine Unterscheidung des Vorkommens nach Seegebieten durchführen. Beim Vergleich des Verbreitungsgebietes zwischen Krill und Salpen lassen sich unterschiedliche Merkmale erkennen. Für Salpen, die hauptsächlich nur in großen Ansammlungen im Bereich nördlich und bis zu den Südlichen Shetlandinseln und Elephant Island anzutreffen waren, kann dieses Seegebiet mithilfe der CTD-Daten durch eine Wassertemperatur von $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ und durch einen Sauerstoffgehalt von $330\text{ }\mu\text{mol/kg}$ bis $353\text{ }\mu\text{mol/kg}$ klassifiziert werden. Für Krill, der hauptsächlich im Schelf-Bereich zwischen den Inseln und im Weddell-Meer beobachtet wurde, kann anhand der Daten folgende Bewertung vorgenommen werden. Bei einem Wassertemperaturbereich von $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einem gelösten Sauerstoffgehalt zwischen $340\text{ }\mu\text{mol/kg}$ bis $367\text{ }\mu\text{mol/kg}$ findet er gute Bedingungen für seine Existenz.

Durch die Auswertung der TS-Diagramme können auch die hydrographischen Bedingungen im Seegebiet beschrieben werden. Dafür müssen zunächst die vorherrschenden Meeresströmungen im Seegebiet an der Spitze der Antarktischen Halbinsel und in der Bransfieldstraße betrachtet werden. Anhand von Studien über hydrographische Messdaten aus CTD-Messungen und XBT-Messung (Hofmann *et al.* 1996), durch Messdaten von Oberflächen-Driftern (Thompson *et al.* 2009) und die Verfolgung der Driftbewegungen von Eisbergen aus dem Weddell-Meer (Collares *et al.* 2018) lässt sich die Verteilung der Meeresströmungen wie folgt beschreiben. Aufgrund der Westwinddrift und des Antarktischen Zirkumpolarstroms (ACC) besitzt die Strömung nördlich der Südlichen Shetlandinseln und Elephant Island eine nordöstliche Richtung. Innerhalb der Bransfieldstraße verläuft die Meeresströmung in unterschiedlichen Richtungen.

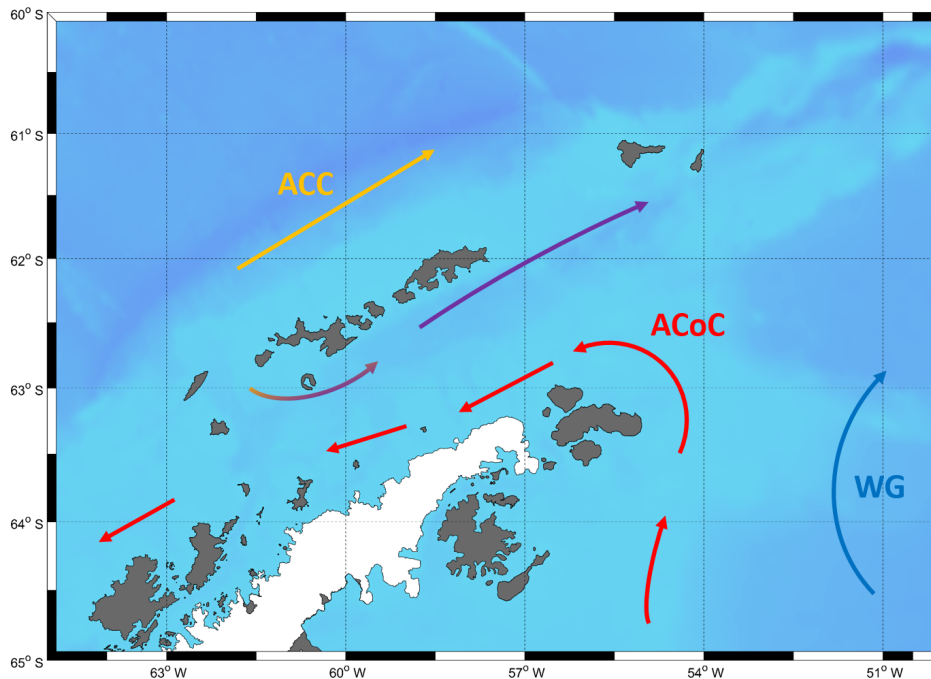


Abb. 24: Schematische Darstellung der Verläufe der Meeresströmungen im Seegebiet Südliche Shetlandinseln, Bransfieldstraße und an der Spitz der Antarktischen Halbinsel; ACC - Antarctic Circumpolar Current; ACoC - Antarctic Coastal Current; WG - Weddell Gyre;

Im nördlichen Bereich der Straße besitzt die Strömung durch den Einfluss des ACC auch eine nordöstliche Richtung. Dagegen verläuft die Meeresströmung im südlichen Bereich der Straße entgegengesetzt in südwestliche Richtung. Ursache für diese gegensätzliche Strömungsrichtung ist der Antarktische Küstenstrom (ACoC - Antarctic Coastal Current). Er ist der Gegenstrom zum ACC und verläuft in westlicher Richtung entlang der Küstenlinie von Antarktika. Angetrieben wird der Strom durch östliche Winde (Fahrbach *et al.* 1992). Durch den ACC im Norden und den ACoC entlang der Küste entsteht im Bereich des Weddell-Meers der sogenannte Weddell-Wirbel (WG - Weddell Gyre), dessen Drehung im Uhrzeigersinn verläuft. In Abb. 24 ist der Verlauf der Meeresströmungen graphisch dargestellt.

Neben den Meeresströmungen gibt es Studien für die unterschiedlichen Wassermassen im Südlichen Ozean bezüglich Klassifizierung und Charakterisierung. Auf das Seegebiet, in dem die Expedition PS112 durchgeführt wurde, haben anhand der gemessenen Wassertemperatur und des Salzgehalts folgende Wasserkörper einen Einfluss:

- Antarktische Oberflächenwasser (AASW - Antarctic Surface Water)
- Zirkumpolares Tiefenwasser (CDM - Circumpolar Deep Water)
- Geringsalines Schelfwasser (LSSW - Low Salinity Shelf Water)
- Warmes Tiefenwasser (WDW - Warm Deep Water)
- Weddell-Meer Bodenwasser (WSBW - Weddell Sea Bottom Water)
- Weddell-Meer Tiefenwasser (WSDW - Weddell Sea Deep Water)

Das **Antarktische Oberflächenwasser** (AASW) befindet sich direkt unter der Oberfläche des Südlichen Ozeans. Durch die unterschiedlichen Bedingungen in der Antarktis zwischen den Winter- und Sommermonaten besitzt das AASW eine hoch zeitliche und räumliche Variabilität. Während der australischen Sommerzeit erwärmen die einfallenden Sonnenstrahlungen die Oberflächenschichten des AASW. Im Winter sinkt die Temperatur bis zum Gefrierpunkt von Meerwasser, wodurch sich dann an der Oberfläche Meereis bildet. Das AASW wird durch eine Temperatur zwischen $-1,7^{\circ}\text{C}$ und $+2,0^{\circ}\text{C}$ und einem Salzgehalt von maximal $34,3\text{ g/kg}$ charakterisiert (Gordon 1971; Schodlok *et al.* 2002).

Das **Zirkumpolare Tiefenwasser** (CDW) befindet sich zwischen dem AASW an der Meeresoberfläche und dem Antarktischen Bodenwasser (AABW – Antarctic Bottom Water). Seine Wassermassen dienen als Ausgleichstrom für AASW und AABW, die kaltes Wasser aus der Antarktis wegführen. Aufgrund des höheren Salzgehaltes ist es schwerer als das Antarktische Oberflächenwasser, durch seine höhere Temperatur jedoch leichter als das Antarktische Bodenwasser, weshalb es sich zwischen diesen beiden Schichten befindet. Die Wassermassen des CDW sind charakterisiert durch Temperaturen von 0°C bis $+2,3^{\circ}\text{C}$ und einen Salzgehalt zwischen $34,58\text{ g/kg}$ und $34,8\text{ g/kg}$ (Orsi *et al.* 1993; Schröder und Fahrbach 1999).

Das **Geringsaline Schelfwasser** (LSSW) entsteht in den Gebieten des Schelfeises entlang der Küstenlinie des Weddell-Meeres. Durch Schmelz- und Tau-Prozesse im Schelfeis vermischt sich das zurückbleibende Salzwasser mit den oberflächennahen Wassermassen und dem WDW zum LSSW (Fahrbach *et al.* 1992; Foster und Carmack 1976). Das LSSW besitzt eine Temperatur nahe dem Gefrierpunkt von Meerwasser und einen Salzgehalt zwischen $34,28\text{ g/kg}$ und $34,44\text{ g/kg}$ (Carmack und Foster 1975; Rodehacke 2003).

Durch die Rotation des Weddell-Wirbels dringen Wassermassen des CDW im östlichen Bereich des Weddell-Meeres ein und vermischen sich mit den LSSW und anderen umgebenden Wassermassen zum sogenannten **Warmen Tiefenwasser** (WDW). Das WDW wird mit Temperaturen zwischen 0°C und $+1,5^{\circ}\text{C}$ und einem Salzgehalt von $34,58\text{ g/kg}$ bis $34,72\text{ g/kg}$ charakterisiert (Gordon und Huber 1995; Schröder und Fahrbach 1999).

Durch Vermischungsprozesse am Grund des Weddell-Meeres mischen sich, durch die Zirkulation des Weddell-Wirbels, die Wassermassen des eindringenden WDW mit dem am Boden abfließenden **Hochsalinien Schelfwasser** (HSSW) zum **Weddell-Meer Bodenwasser** (WSBW). Durch weitere Vermischungsprozesse zwischen dem WSWB mit dem WDW entsteht das darüberliegende **Weddell-Meer Tiefenwasser** (WSDW), (Rodehacke 2003). Das Weddell-Meer Bodenwasser ist kälter als $-0,7^{\circ}\text{C}$ und weist einen Salzgehalt im Bereich von $34,60\text{ g/kg}$ bis $34,80\text{ g/kg}$ auf. Es wird am Boden im westlichen und nördlichen Weddellmeer nachgewiesen. Das Weddell-Meer Tiefenwasser umfasst einen Temperaturbereich zwischen $-0,7^{\circ}\text{C}$ und 0°C und sein Salzgehalt liegt im Bereich von $34,64\text{ g/kg}$ bis $34,80\text{ g/kg}$ (Orsi *et al.* 1993; Schröder und Fahrbach 1999).

Die Charakteristiken der Wassermassen, die während der Expedition einen Einfluss auf das Seegebiet hatten, sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Tab. 5: Charakteristiken von Wassermassen im Bereich der Antarktischen Halbinsel und im Weddell-See (Gordon 1971; Carmack und Foster 1975; Orsi *et al.* 1993; Gordon und Huber 1995; Schröder und Fahrbach 1999; Schodlok *et al.* 2002; Rodehacke 2003)

| Abk. | Name | θ in °C | S in g/kg |
|------|---------------------------------|----------------|---------------|
| AASW | Antarktisches Oberflächenwasser | -1,7 – +2,0 | $\leq 34,3$ |
| CDW | Zirkumpolares Tiefenwasser | 0 – +2,3 | 34,58 – 34,8 |
| LSSW | Geringsalines Schelfwasser | -1,9 – -1,6 | 34,28 – 34,44 |
| WDW | Warmes Tiefenwasser | 0 – +1,5 | 34,58 – 34,72 |
| WSBW | Weddell-See Bodenwasser | $\leq -0,7$ | 34,60 – 34,80 |
| WSDW | Weddell-See Tiefenwasser | -0,7 – 0 | 34,64 – 34,80 |

Im Zusammenhang mit der Auswertung und Diskussion der TS-Diagramme und der Beschreibung der hydrographischen Bedingungen im Seegebiet wurden die Charakteristiken dieser Wassermassen im TS-Diagramm für Krill und Salpen (Abb. 17, Kap. 1.4.2, S. 35) in Abb. 25 eingefügt und farblich gekennzeichnet. Anhand dieser Abbildung und der graphischen Darstellung der Strömungsrichtung der Meeresströmungen aus Abb. 24 lässt sich der Einfluss der Wasserkörper auf den Antarktischen Krill und die Salpen beschreiben.

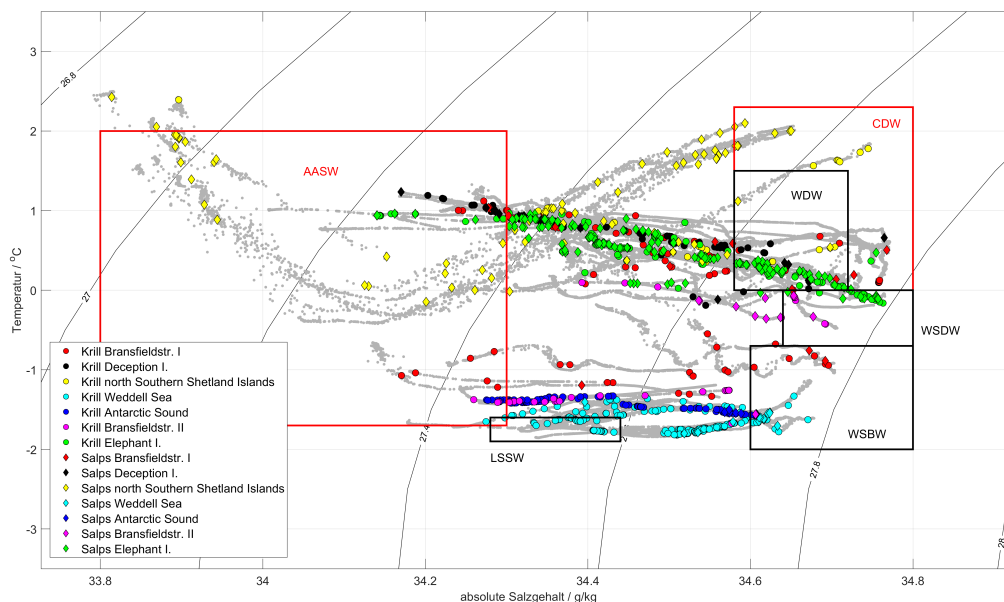


Abb. 25: TS-Diagramm für Krill und Salpen mit Farbcodierung der Seegebiete; grau hinterlegt: errechnete Werten der CTD-Profile und Kennzeichnung der Wassermassen

Für die Beobachtungen nördlich der Südlichen Shetlandinseln (Gelb) kann folgende Aussage getroffen werden. Durch die nordöstliche Richtung der Strömung des ACC im Bereich nördlich der Südlichen Shetlandinseln sind das Antarktische Oberflächenwasser und das Zirkumpolare Tiefenwasser die Hauptwassermassen. Der konkave Verlauf der CTD-Profile in diesem Gebiet lässt vermuten, dass sich im Temperaturbereich um ca. 0 °C

und einem Salzgehalt von ca. 34,2 g/kg einer Art des Schelfwassers zwischen beide Wasserkörper schiebt. Eine klare Aussage über den Einfluss dieser beiden Wasserkörper auf die Existenz von Krill und Salpen kann für die Sichtungen bei Deception Island (Schwarz) getroffen werden. Die Beobachtungen bei Elephant Island (Grün) zeigen im TS-Diagramm einen ähnlichen Verlauf wie die von Deception Island. Durch den Einfluss des ACoC in diesem Bereich lässt sich vermuten, dass sich ab einer Wassertiefe von ca. 400 m eine Art Wassermassen aus CWD und WDW auf die Existenz von Krill und Salpen auswirkt. Für die Sichtungen im Weddell-Meer (Türkis) und im Antarctic-Sund (Blau) kann eine klare Aussage über den Einfluss der Wassermassen des Weddell-Meeres getroffen werden. Die Messwerte aus der Wasseroberfläche können dem Geringsalinien Schelfwasser und die in der Nähe des Meeresbodens dem Weddell-Meer Bodenwasser zu geordnet werden. Aufgrund der in Abb. 24 schematisch beschriebenen Strömungssituation in der Bransfieldstraße kann auch die breite Verteilung der Beobachtungen in diesem Seegebiet Rot und Magenta im TS-Diagramm erklärt werden. Durch das Einströmen des ACoC im südlichen Gebiet der Bransfieldstraße liegen die Parameter für die Sichtungen dort in der Nähe vom LSSW und im Bereich zwischen dem WSDW und dem WSBW. Sie zeigen deutlich einen Einfluss von Wassermassen aus dem Weddell-Meer im südlichen Bereich der Bransfieldstraße. Am Verlauf der Beobachtungen im Norden der Bransfieldstraße kann hier der Einfluss des ACC in diesem Bereich erkannt werden. Durch dessen Strömungsrichtung sind das Antarktische Oberflächenwasser und das Zirkumpolare Tiefenwasser die Wassermassen mit Einfluss auf Krill und Salpen. Für das CDW kann allerdings keine klare Aussage getroffen werden, weil auch ein möglicher Einfluss des WDW und des WSDW zu erkennen ist. Daher wäre es sinnvoll, auch die Daten des ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) der „FS Polarstern“ in die Auswertung einzubeziehen.

Durch die begrenzte Einsetzbarkeit der Deep Ocean Camera bezüglich seiner Akkukapazität und wegen ihrer eingeschränkten Leistungsfähigkeit bei der scharfen Erfassung von sich schnell bewegenden Objekten, befinden sich im ausgewerteten Datensatz auch Lücken. Besonders im Nordwesten der Südlichen Shetlandinseln fanden wenige Einsätze mit der Kamera statt. Diese Datenlücken könnten durch eine kombinierte Auswertung der CTD-Daten mit den Daten der Netztrawls geschlossen werden, indem wie folgt vorgefahren wird. Während der Expedition fand entweder vor einem Trawl oder direkt im Anschluss danach eine CTD-Station statt. Wurden im Trawl Krill oder Salpen gefunden, wäre es möglich, der ungefähren Tiefe des Netztrawls die gemessenen CTD-Daten zuzuordnen und damit die Lücken mit Datenpunkten zu füllen. Diese Zuordnung ist nicht Bestandteil dieser Masterarbeit. Sie sollte aber bei Erstellung einer wissenschaftlichen Veröffentlichung einbezogen werden.

Anhand der ausgewerteten CTD-Daten ist zu erkennen, dass für Antarktischen Krill und Salpen die Wassertemperatur im Meer der Schlüsselfaktor für deren Existenz im Bereich der Antarktischen Halbinsel sind. Aufgrund der durch den Klimawandel bedingten Erwärmung der Wassermassen in der Antarktis lässt sich folgende Vermutung treffen. Durch die momentan noch niedrigen Temperaturen im Weddell-Meer ist der Antarktische Krill der Top-Predator für das Phytoplankton in diesem Bereich. Eine Erwärmung des Wassers würde die Bedingung für die Existenz der Salpen im Weddell-Meer verbessern. Für den Krill bedeutet das eine zusätzliche Nahrungskonkurrenz im Weddell-Meer und somit

einen Einfluss auf seine Populationsdichte haben. Eine Veränderung in der Krillpopulation hätte auch Auswirkungen auf die Populationsdicht von Pinguinen, Robben und Walen in der Antarktis.

1.6 Ausblick über den weiteren Umgang mit den Video- und CTD-Daten

In den Kap. 1.4 und 1.5 wurden die Ergebnisse, die aus dem kombinierten Einsatz von CTD und Videokamera resultieren, dargestellt und diskutiert. Sie liefern wichtige Informationen über den Einfluss des Klimawandels auf Krill und Salpen in der Antarktis. Für eine bessere Interpretation der Daten sollten die Ergebnisse der verschiedenen Seegebiete der Expedition detailliert miteinander verglichen werden. Durch Vergleich und Austausch der Video- und CTD-Daten von Krill und Salpen mit den Ergebnissen der anderen Wissenschaftlergruppen der Expedition PS112 könnten neue Zusammenhänge erkannt oder bereits Bekanntes besser verstanden werden. Sinnvoll wäre auch ein Abgleich der gesammelten Daten mit den Ergebnissen anderer Expeditionen in den untersuchten Seegebieten. Eventuell ergeben sich aus diesem Vergleich Rückschlüsse auf Prozesse, die schon heute einen Einfluss auf das antarktische Ökosystem haben. Die im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit gewonnenen Ergebnisse aus dem kombinierten Einsatz von CTD und Videokamera sollten in einem Wissenschaftsjournal veröffentlicht werden.

Das Videomaterial der Expedition PS112 wurde visuell ausgewertet. Sinnvoll wäre eine erneute Auswertung der Videos, aber mit Methoden der künstlichen Intelligenz, wie „Deep Learning“, einer Methode zur automatischen Erkennung von Objekten in Bildern. Neben einer Zeiteinsparung bei der Auswertung der Videos könnte dadurch auch der menschliche Fehler während der visuellen Auswertung verringert werden. Außerdem wäre es möglich, dass sich wichtige Hinweise für die Programmierung und Herstellung eines Algorithmus ergeben, der in Zukunft die Auswertung der Videoaufzeichnungen des Livebildkamerasystems übernehmen kann.

2 Entwicklung der Livebildkamera für DOL-CTD

Im zweiten Kapitel dieser Masterarbeit werden die konzeptionelle Entwicklung und die mögliche Umsetzung eines Kamerasystems mit Livebildübertragung für die DOL-CTD erarbeitet und beschrieben. In die Entwicklung fließen die während des Kameraeinsatzes auf der „FS Polarstern“ gewonnenen Erfahrungen und die Erkenntnisse aus der Auswertung der Video-Aufzeichnungen ein.

2.1 Theoretische Grundlagen zur Datenübertragung und Bildgebung

Für die Entwicklung eines Livebildkamerasystems für den Einsatz an der DOL-CTD, sind Kenntnisse über die theoretischen Grundlagen zur Datenübertragung und Bildgebung erforderlich. Die Grundlagen zur Datenübertragung begrenzen sich auf die Lichtwellenleiter-Technologie, die zur Übertragung von Videosignalen in Echtzeit benötigt wird. Die Aufnahme von Bildern und Videos erfordert Kenntnisse über die Grundlagen der Optik.

2.1.1 Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technologie

Die Entwicklung von optischen Leitern begann Mitte der 1950er Jahre in der Medizintechnik, zur Beleuchtung von inneren Organen mit Licht. Mit der Entwicklung des Laser durch Theodore Maiman 1960, war es nun möglich Licht für den Transport durch ein Medium zu bündeln. 1965 erfand Manfred Börner das erste optoelektronische Lichtwellenleiter-System, auf dessen Systemprinzip die heutige Lichtwellenleiter-Technologie beruht.

Bei einem Lichtwellenleiter (LWL) bzw. Glasfaserkabel erfolgt die Übertragung von Informationen durch Licht und nicht wie bei einem Kupferkabel durch elektrischen Strom. LWL-Kabel werden aus Glas oder Kunststoff hergestellt und bestehen aus einer Kernfaser und einer Mantelfaser mit unterschiedlichem Brechungsindex. Das elektrische Signal wird durch eine Laser- oder LED-Diode in einen Lichtimpuls umgewandelt und in das Glasfaserkabel eingespeist. Aufgrund der unterschiedlichen Brechungsindizes zwischen den Fasern kommt es an deren Grenzfläche zur Totalreflexion des Lichtimpulses und somit zur Übertragung des Lichtimpuls in der Kernfaser. Die Datenübertragung ist dabei nahezu verlustfrei und kommt auch bei großen Entfernungen ohne zusätzlichen Signalverstärker aus. Eine Fotodiode im Empfänger wandelt den Lichtimpuls zurück in das elektrische Signal. Die Wellenlängen des Lichts dienen als Trägerwellen für die zu übertragenden Informationen. Im Wesentlichen werden die Glasfasertypen in zwei Arten unterschieden, Singlemode- oder Multimode-Fasern (Bude 2019). Beide Fasertypen haben den gleichen Außendurchmesser der Mantelfaser von 125 μm . Ihr Unterschied liegt im Durchmesser der Kernfaser. Bei Singlemode-Fasern beträgt der Durchmesser der Kernfaser nur 9 μm , bei Multimode-Fasern dagegen 50 μm oder 62,5 μm (Graf 2014). Dadurch breiten sich die Lichtimpulse in den Fasern mit verschiedenen Moden aus. Mit Moden werden die unterschiedlichen Ausbreitungsarten des Lichtes innerhalb eines Lichtwellenleiters bezeichnet. Die Multimode-Faser unterstützt viele Ausbreitungsarten, die Singlemode-Faser dagegen nur eine Ausbreitungsart (siehe Abb. 26).

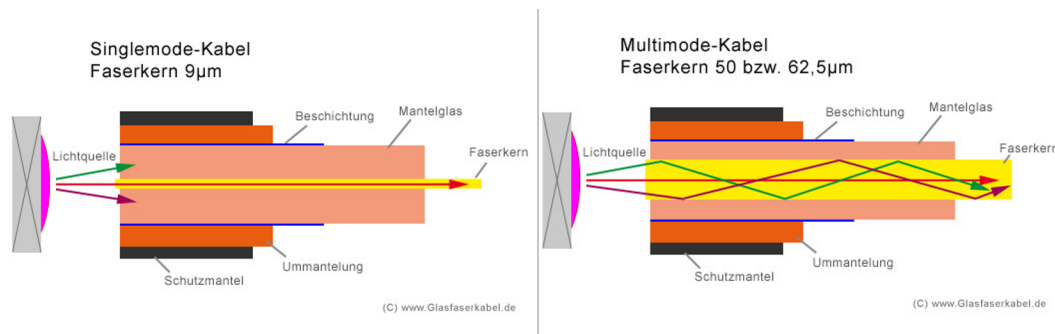


Abb. 26: Schematische Darstellung der Übertragung des Lichtimpulses in Singlemode-Kabel (links) und Multimode-Kabel (rechts). Die Moden werden als grüne, rote und violette Pfeile dargestellt (Bude 2019).

Während der Ausbreitung durch die Glasfaser wird der Lichtimpuls immer breiter. Die Ausbreitung wird auch als Dispersion bezeichnet. Dabei kann es zur Überlagerung mit dem nachfolgenden Impuls und somit zu Übertragungsfehlern kommen. Die Multimode-Kabel besitzen, aufgrund der breiteren Kernfaser, gegenüber dem Singlemode-Kabel eine größere Signaldämpfung und Laufzeitverschiebung. Sie werden deshalb für die Datenübertragung auf kurze Distanzen verwendet, zum Beispiel bei der Informationsübertragung Servern zwischen den Etagen eines Gebäudes (Bude 2019). Bei Windensystemen mit Lichtwellenleitern auf Forschungsschiffen müssen dagegen Signale über große Distanzen übertragen werden. In diesem Fall kommen Singlemode-Kabel zum Einsatz.

2.1.2 Grundlagen Optik - Belichtungszeit, Bewegungsunschärfe und Schärfentiefe

In jeder Kamera wird das Ablichten eines Bildes durch das Öffnen und Schließen einer Blende sowie des Verschlusses ermöglicht. Die Einstellung der Blende regelt dabei die Lichtmenge, die auf den Sensor fällt. Über das Öffnen und Schließen des Verschlusses wird die Zeitdauer festgelegt, in der die Photonen auf den Sensor treffen. Durch den photoelektrischen Effekt werden im Sensor Ladungen induziert. Je länger die Belichtungszeit ist, desto größer ist die erzeugte Ladungsmenge.

Standardkameras verwenden meist lange Belichtungszeiten, die auf deren Bildraten angepasst sind, 25 Frames pro Sekunde bei der eingesetzten Kamera „Legia HGF10“ (Canon Inc. 2011). Diese Einstellung ist bei normalen Bildaufnahmen dafür verantwortlich, dass Störeinflüsse aus der Umwelt einen geringen Einfluss auf die Bildsignale haben. Bei der Aufnahme von sich schnell verändernden Bildszenen führt das aber zur Bewegungsunschärfe in den Bildern. Zur Unterdrückung dieser Unschärfe werden in der Regel die Belichtungszeiten der Kamera verkürzt. Bei Digital-Kameras wird die Belichtungszeit so kurz eingestellt, dass sich das Objekt während der Belichtung des Sensors um maximal ein Pixel weiterbewegt (Stemmer Imaging 2013).

Zur Verdeutlichung ein Beispiel. Eine Kamera überwacht auf einer Fließbandanlage eine Fläche von 100 x 100 mm. Auf dem Band bewegen sich Objekte mit einer Geschwindigkeit von 100 mm/s. Die Kamera verfügt über eine Auflösung von 1000 x 1000 Pixel. Für die Kamera bedeutet das, dass sich die Objekte pro Sekunde um 1000 Pixel bewegen. Um

in den Aufnahmen von den Objekten die Bewegungsunschärfe zu vermeiden, muss in diesem Fall die Belichtungszeit der Kamera kleiner als 0,001 s sein. Bei der Entwicklung des Kamerasystems im Rahmen der Masterarbeit ist von einer Partikelgeschwindigkeit von 1 m/s auszugehen. Die Belichtungszeit muss an die Auflösung der Kamera und diese Objektgeschwindigkeit angepasst werden.

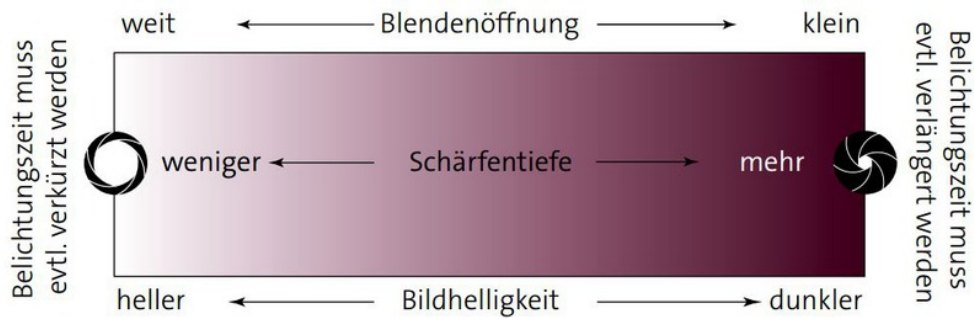


Abb. 27: Abbildung über das Verhalten der Schärftiefe abhängig von Blendenöffnung, Bildhelligkeit und Belichtungszeit (Stemmer Imaging 2013)

Die scharfe Abbildung von Gegenständen in Richtung der optischen Achse, das heißt auch in größere Entfernung zur Kamera, wird unter dem Begriff der Schärftiefe zusammengefasst. Viele Faktoren haben einen Einfluss auf sie. Hauptsächlich hängt sie von der gewählten Blendeneinstellung ab. Je kleiner die Öffnung der Blende, desto größer ist die Schärftiefe. Das Verhalten der Schärftiefe im Zusammenspiel mit der Bildhelligkeit und der Blendenöffnung, ist in Abb. 27 dargestellt. Die Abbildung zeigt zusätzlich den Einfluss der Belichtungszeit auf die Schärftiefe (ebd.).

2.2 Analyse der Deep Ocean Camera als Grundlage für die Kameraentwicklung

Für die Entwicklung des Livebildkamerasystems erfolgen zunächst die Analyse des Kameraeinsatzes hinsichtlich der Handhabung der „Deep Ocean Camera“ und deren Leistungsfähigkeit bei der Aufnahme von scharfen Bildern ohne Bewegungsunschärfe. Die Bilder der Kamera konnten erst nach dem Ende des Einsatzes an Bord, runtergeladen und gesichtet werden. Sie verfügte über kein Livebild während des Kameraeinsatzes. Wie bereits im Abschnitt 1.2 auf der Seite 16 lautet, wurde im „Deep Ocean Camera“-Systeme eine Kamera Canon „Legia HFG10“ eingesetzt. Während der Expedition kamen 2 LED-Scheinwerfer von Typ „SLS-3150“ zur Beleuchtung des Kamerasichtfeldes zur Anwendung.

2.2.1 Bedienung der Deep Ocean Camera

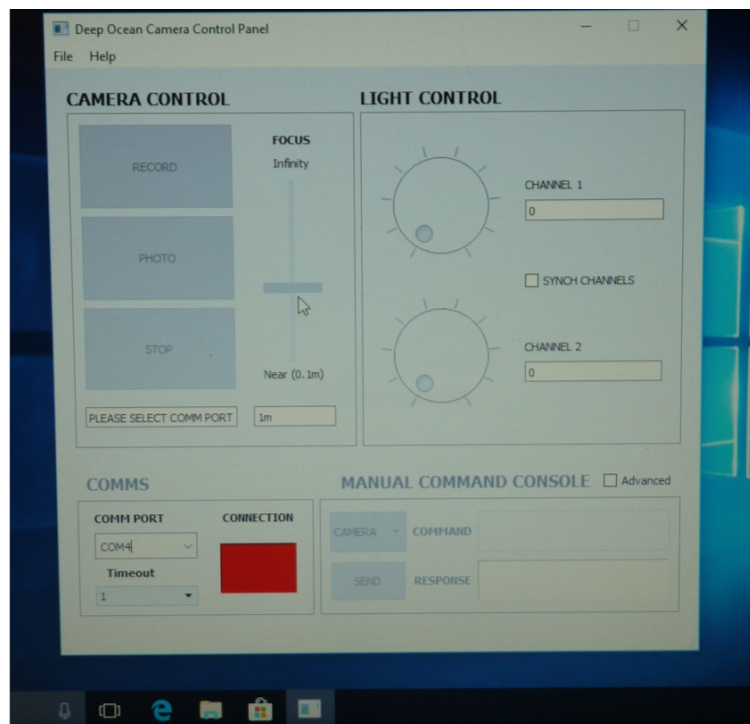


Abb. 28: Bildschirm des Operator-PCs mit geöffnetem Terminal-Programm

Die Bedienung der „Deep Ocean Camera“ erfolgte über das Terminal-Programm des Operator-PCs, siehe Abb. 28. Im Programm dient der untere Bereich zur Herstellung der Datenkommunikation zwischen der Deckeinheit und der Unterwassereinheit. Im Bereich „Camera Control“ konnten die Kameraeinstellungen für Fokus und Kameramodus vorgenommen werden. Die Regelung der Beleuchtung erfolgte über den Bereich „Light Control“. Durch die gute und klare Beschreibung der Bedien- und Montage-Reihenfolge in der Bedienungsanleitung durch Jim Williams vom „Australian Antarctic Division“ konnte die Kamera problemlos montiert und bedient werden. Die Inbetriebnahme der Stromversorgung für das System war nicht sicher. Die Stromversorgung konnte nicht direkt mit dem Terminal-Programm gestartet werden, sondern erfolgte durch das Schließen einer Kontaktverbindung am Batterie-Packet mit Hilfe eines Kontaktsteckers (Abb. 29 links). Dieser Stecker ist für den Betrieb der Kamera in den mit einem roten Pfeil markierten Kontakt (Abb. 29 rechts) geschraubt worden, wodurch der elektrische Schaltkreis geschlossen wurde. Bei nasser Umgebung im Einsatz und aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit von Meereswasser bedeutet diese Art der Inbetriebnahme eine Gefährdung des Bedieners durch einen möglichen Stromschlag. Während des Einsatzes war diese Gefährdung durch das Knallen von Lichtbögen zwischen den elektrischen Kontakten des Steckers beim Einsetzen und Lösen zu hören. Die elektrische Inbetriebnahme der Livebildkamera muss deshalb verbessert werden.

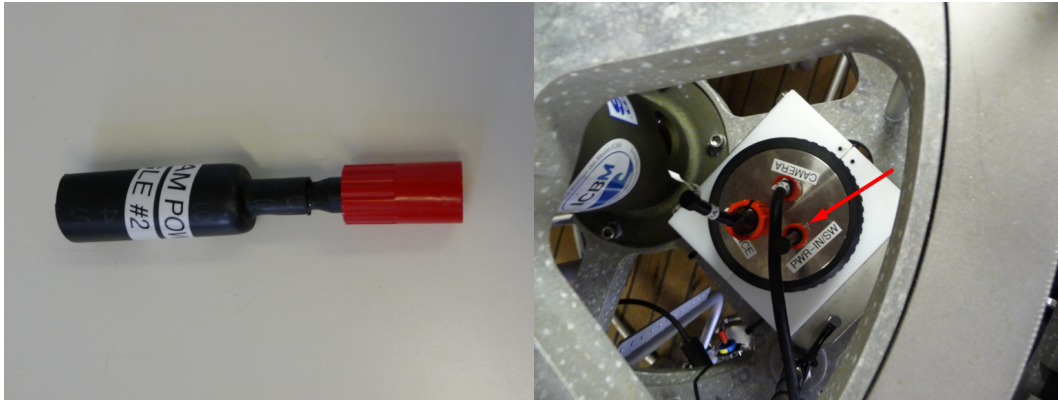


Abb. 29: Abbildung zur Stromversorgung „Deep Ocean Camera“; links: Kontaktstecker zum Schließen der Stromverbindung zwischen Kamera und Batterie; rechts: montiertes Batterie-Paket in der DOL-CTD mit markierter Position (roter Pfeil) zum Schließen der Stromverbindung

Die Art der konstruktiven Umsetzung des „Deep Ocean Camera“-Systems besaß aber auch Aspekte, die bei der Realisierung der Livebildkamera nicht verändert werden sollten. Zum einen verfügte das Kameragehäuse über eine austauschbare Optik und zum anderen war das Titan-Gehäuse des Batterie-Pakets mit einer Kunststoffummantelung beschichtet. Dadurch ist das Gehäuse vor äußeren Beschädigungen besser geschützt und gleichzeitig ist ein zusätzlicher Korrosionsschutz vorhanden.

2.2.2 Leistungsfähigkeit der Deep Ocean Camera bezüglich Bildqualität

Im Folgenden soll die Leistungsfähigkeit der „Deep Ocean Camera“ bei der Aufnahme von klaren und scharfen Bildern im Zusammenhang mit dem Einsatz an der DOL-CTD während der Expedition PS112 bewertet werden. Dabei stehen zwei Punkte im Mittelpunkt der Bewertung. Zum einen wurde nicht die volle Leistungsfähigkeit der Kamera ausgenutzt. Zum anderen hatte der Einfluss der CTD-Bewegung durch das Wasser mit bis zu 1 m/s Hiev- und Fiergeschwindigkeit einen großen Einfluss auf die Qualität der Videoaufnahmen.

Verwendete Leistungsfähigkeit der Kamera Canon Legia HFG10

In Tab. 6 sind die Parameter der verwendeten Kamera für die Aufzeichnung von Videos dargestellt. Die zweite Spalte verdeutlicht die volle Leistung bei der Aufnahme von Videos. Die volle Leistung wird dann erreicht, wenn das analoge oder digitale Videosignal durch ein externes Aufzeichnungssystem, zum Beispiel ein PC oder ein Blu-ray Disc Recorder, aufgezeichnet wird. Dabei lassen sich Bildraten von 50 Bildern pro Sekunde für das analoge TV-Signal und 25 Bilder pro Sekunde für das digitale HDMI-Signal erreichen. Die Video-Mode Einstellungen MXP, FXP, XP+, LP und SP regeln die Länge der aufgezeichneten Videos in Abhängigkeit von der Bildauflösung. Sie werden im Handbuch nicht weiter erläutert (Canon Inc. 2011). Für die Realisierung des „Deep Ocean Camera“-Konzepts musste durch Jim Williams ein Kompromiss gefunden werden, um Videos über den langen Zeitraum eines bis auf 6000 m tiefgehenden CTD-Profiles, ca. 4 bis

5 Stunden, aufzeichnen und speichern zu können. Die Umsetzung des Konzepts erfolgt mit denen in der rechten Spalte aufgelisteten Leistungskonfigurationen.

Tab. 6: Tabelle über die verwendete und volle Leistungsfähigkeit bzgl. der Videoaufnahme der Kamera Canon Legia HFG10

| Parameter der Kamera | volle Leistungsfähigkeit | verwendete Leistungsfähigkeit |
|------------------------------|--|--|
| Bild-Sensor | 1/3"CMOS; 2,07 Mpx effektiv | 1/3"CMOS; 2,07 Mpx effektiv |
| Linse | f = 4,25 - 42,5 mm | f = 4,25 - 42,5 mm |
| Iris | F = 1.8 - 2.8 | F = 1.8 - 2.8 |
| Auflösung (im Video-Mode) | 1920x1080 Pixel (MXP,FXP) externe Videoaufzeichnung | 1440x1080 Pixel (XP+,LP,SP) interne Videoaufzeichnung |
| Bildrate (fps) | 50 fps - PAL analog TV-Signal 25 fps - digital HDMI | 25 fps - digital AVCHD |

Mpx: Megapixel

f: objektseitige Brennweite

F: Blendenzahl

Ergebnis der verwendeten Kamerakonfiguration in Kombination mit dem Einsatz an der DOL-CTD

Der Einsatz der DOL-CTD erfolgte mit Hiev- und Fier-Geschwindigkeiten von bis zu 1 m/s. Aufgrund der Konfiguration der „Deep Ocean Camera“ konnte sie nur Videos mit 25 Frames pro Sekunde aufnehmen. Das bedeutet, alle 40 ms wurde ein Bild aufgenommen und gespeichert. Für das Ziel der Aufnahme scharfer Bilder vom Antarktischen Krill und von Salpen hatte das folgende Auswirkung.

Bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von maximal 0,3 m/s konnten während des Einsatzes der DOL-CTD mit der Kamera gute bis sehr gute Videos aufgenommen werden. Unter dem Begriff Bewegungsgeschwindigkeit ist in diesem Zusammenhang die Bewegung der CTD mit Kamera durchs Wasser, die Bewegung des Wassers mit den sichtbaren Partikeln aufgrund von Strömungen sowie die Bewegung der Organismen selbst zu verstehen. In Abb. 30 ist als Beispiel für die Vielzahl der Videoaufnahmen und Framebilder, die unter diesen Bedingungen aufgenommen wurden, das 36-igste Framebild aus der „Krill_Sequence_9_PS112p006a01“ dargestellt. Im Vordergrund des Bildes sind zwei Krillorganismen zu erkennen. Die Aufnahme erfolgte bei einer Bewegungsgeschwindigkeit der DOL-CTD von ca. 0 m/s in einer Tiefe von etwa 510 m während der Beprobung der Wassertiefe 500 m. Das bedeutet, dass die Aufnahme während des Schließens der Wasserschöpfer entstand. Wie im Bild zu erkennen ist, sind die beiden Krillorganismen ganz weiß ausgeleuchtet. Das deutet auf eine Überbelichtung des Kameranahbereiches durch die beiden LED-Scheinwerfer hin. Es war nicht möglich, die Lichtverhältnisse den aktuellen Bedingungen anzupassen, weil die „Deep Ocean Camera“ ein reines Aufnahmesystem ohne Livebild-Übertragung zum Operator ist.



Abb. 30: Frame-Bild 36 aus „Krill_Sequence_9_PS112p006a01“ in ca. 510 m Tiefe; Im Vordergrund zwei Krillorganismen und im Hintergrund eine Pfeilwurm (Chaetognath)

Mit zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit wurden die Videoaufnahmen immer unschärfer, weil während der Belichtung das Verhältnis zwischen der Belichtungszeit und der Partikelbewegung immer schlechter wurde. Die Bewegungsunschärfe der Bilder nahm zu. Als Beispiel für Videoaufnahmen mit Bewegungsunschärfe bei höheren Verfahrensgeschwindigkeiten der DOL-CTD ist in Abb. 31 auf der linken Seite eine Frameaufnahme bei einer Geschwindigkeit von 0,43 m/s und auf der rechten Seite eine Aufnahme bei einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s während des Fierens dargestellt. In beiden Bildern sind Partikel des „Marine Snow“ zu erkennen. Durch die lange Belichtungszeit von ca. 40 ms und die genannten Fier-Geschwindigkeiten werden diese Partikel, die in Abb. 30 als klare weiße Punkte zuerkennen sind, als weiße Streifen abgelichtet.

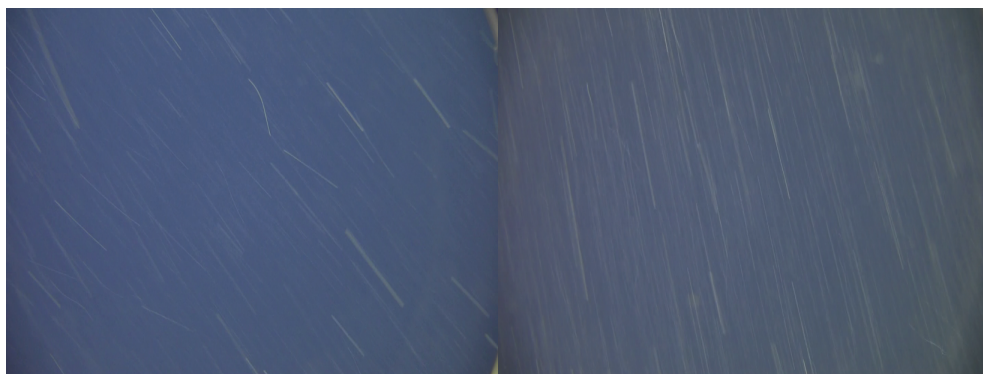


Abb. 31: Framebilder aus Videoaufnahmen bei unterschiedlichen Fier-Geschwindigkeiten; links: 0,43 m/s; rechts: 1,0 m/s

Ähnlich wie bei den Aufnahmen mit zu hoher CTD-Bewegung sorgten schnelle Fluchtbewegungen der Organismen vor der Kamera für Bilder mit Bewegungsunschärfe. In Abb. 32 ist dieses Verhalten eines Krill vor der Kamera festgehalten. Die beiden Bilder stammen aus der „Krill_Sequence_123_PS112p025a32“ und entstanden unmittelbar nacheinander. Im linken Bild ist die Struktur des Krills klar zu erkennen. Durch die zu starke Leuchtleistung der LED-Schweinwerfer für den Nahbereich der Kamera wird der Krill jedoch komplett weiß ausgeleuchtet. Dies wird auch als Überbelichtung bezeichnet. Die Struktur des Chitinpanzers ist nicht zu erkennen. Im rechten Frame-Bild ist der Beginn des Fluchtreflexes des Krills zu erkennen. Während der Belichtungszeit von ca. 40 ms begann der Krill diesen Reflex auszuführen. Zu Beginn der Belichtung lag der Krill noch in der gleichen Position wie im rechten Frame. Am Ende der Belichtungszeit hatte sich der Krill gedreht und den Fluchtreflex eingeleitet.

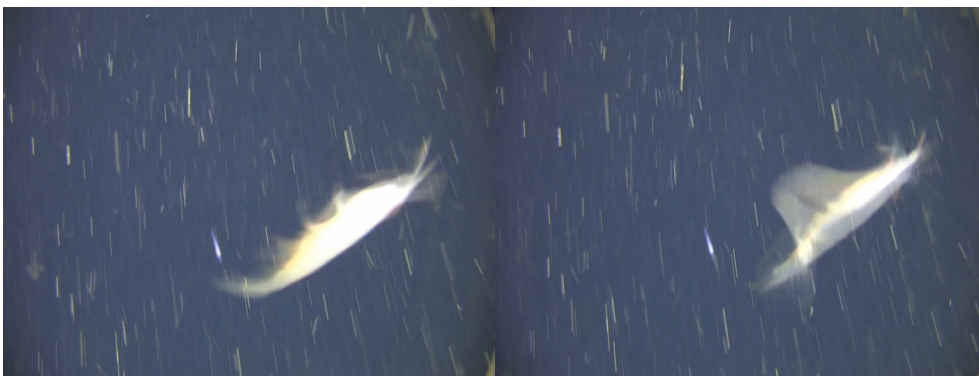


Abb. 32: Abbildung zweier aufeinander folgenden Frame-Bilder aus der Krill_Sequence_123_PS112p025a32

2.2.3 Gesamtbewertung der Deep Ocean Camera für den Einsatz an der DOL-CTD

Mithilfe der in den Punkt 2.2.1 und 2.2.2 aufgeführten Erfahrungen lässt sich der Einsatz der „Deep Ocean Camera“ an der DOL-CTD bewerten. Dabei gibt es positive, aber auch negative Aspekte, die in Tab. 7 zusammengefasst sind. Ausgehend von den aufgelisteten Punkten werden im Abschnitt 2.2 die Entwicklungsphasen für das Livebildkamarasystem formuliert.

Tab. 7: Tabelle zur Gesamtbewertung des Einsatzes der „Deep Ocean Camera“

| Positiv | Negative |
|---|--|
| einfache und klar beschriebene Montage und Bedienung | komplizierte Inbetriebnahme der Stromversorgung |
| Konstruktiv | |
| Edelstahlgehäuse mit wechselbarer Optik | kein Ersatz für verschmutzte optik während der Expedition |
| Gehäuse d. Batterie-Paket aus Titan mit Kunststoffummantelung | Spiegelungen und Reflexion in den Bildaufnahmen durch ein nicht geschwärtzes Innengehäuse |
| | Fest vorgegebene Montageposition für die LED-Scheinwerfer |
| Kamerasystem | |
| regelbarer Focus (0,1 - 5 m) | keine Echtzeit-Bildübertragung beim Aufnahmesystem |
| 10-stufige, regelbare Beleuchtung | Überbelichtung im Nahbereich |
| | Aktiver Autofocus führte zu selbstständigem Verstellen der Bildschärfe auf die verschmutzte Glasscheibe bei kurzem Focus |
| | zu lange Belichtungszeit für Aufnahmen mit schnellen Partikelbewegungen |
| | fehlende Information über die Wassertiefe direkt in den Videos |

2.3 Gliederung der Entwicklung des Kamerasystems in Teilprojekte

Die Entwicklung und die daran anschließende Realisierung des Kamerasystems für eine Livebildübertragung während des Einsatzes an der DOL-CTD lässt sich in folgende Teilprojekte gliedern.

1. Realisierung der Datenübertragung für Kamera und CTD
2. Realisierung der technischen Lösung für klare und scharfe Bildaufnahmen auch bei Bewegungsgeschwindigkeiten von bis zu 1 m/s
3. "Aufbau und Positionierung der Kamera und des Beleuchtungssystems an der DOL-CTD"
4. "Realisierung der Stromversorgung für Beleuchtung, Kamera und CTD"
5. "Konstruktion und Bau der benötigten Unterwassergehäuse"
6. "Testphase des Kamerasystems"

Größe und Umfang eines solchen Entwicklungsprojekts sind beträchtlich. Mit der Konzentration auf die ersten beiden Teilprojekte, bildet der zweite Teil dieser Masterarbeit, die Basis für eine Fortführung der Entwicklung des Livebildkamerasystems für den Einsatz an der DOL-CTD.

2.4 Realisierung der Datenübertragung der Kamera und DOL-CTD

Der kombinierte Einsatz eines Kamerasystems an einem CTD-Kranzwasserschöpfer stellt für die Datenübertragung eine besondere Herausforderung dar. Die gleichzeitige und sichere Übertragung der Mess-Daten und Video-Signale ist bei Windensystemen mit Kabellängen von bis zu 8.000 m Länge mit hohem Aufwand verbunden. Zur Datenübertragung verwendet „Sea-Bird Scientific“ für die Messdaten der DOL-CTD die DPSK-Technologie, „Differential Phase-Shift Keying“, und zur Ansteuerung des Wasserschöpfers die FSK-Technologie, „Frequency Shift Keying“. DPSK steht für differentielle Phasenumtastung und mit FSK wird die Frequenzumtastung bezeichnet (Moore 2017). Beide Technologien reichen für die Datenübertragung der CTD aus, aber nicht für Videos in Echtzeit. Damit zusätzlich Videosignale übertragen werden können, müsste das Windensystem mit separaten Adern ausgerüstet sein. Zur Vermeidung von Störeffekten zwischen beiden Systemen, sollten die Adern untereinander geschirmt sein. Diese Spezifikation ist bei den standardisierten Windensystemen auf Forschungsschiffen nicht vorhanden. Ein separates System wäre erforderlich. Bei der Verwendung von Winden mit Standard-Koaxial-Seekabel führt das hohe Datenvolumen, besonders bei der Übertragung von Video-Signalen, zu einer zeitlichen Verzögerung (Latenz) zwischen der Unterwasseraufnahme und dem wiedergegebenen Bild am Monitor. Mit dem Einsatz der Lichtwellenleiter-Technologie kann diese Latenzzeit bis auf ein Minimum begrenzt werden. Durch den Einsatz der LWL-Technologie besteht auch die Möglichkeit der Trennung der Datenübertragung von der Stromversorgung. Außerdem kann eine höhere Datenübertragungsrate realisiert werden, bis zu 10 Gbit/s über 100 km (Eberlein 2007). Mit dem standardisierten Koaxial-Seekabel ohne Lichtwellenleiter, wie es auf den deutschen Forschungsschiffen verwendet wird,

lässt sich dies nicht realisieren. Als Grundlage zur Realisierung der Datenübertragung diente das Konzept der LWL-Telemetrie der „FS Polarstern“. Dieses System ist für den Einsatz von sechs verschiedenen Messsystemen und Auslöseeinheiten sowie den Betrieb von zwei analogen Kameras und deren Beleuchtung ausgelegt. Die LWL-Telemetrie wurde von der Firma „iSiTEC GmbH“ aus Bremerhaven entwickelt und gebaut.

Anhand der technischen Dokumentation, konnten die Komponenten bestimmt werden, die für die Realisierung der Datenübertragung über Lichtwellenleiter notwendig sind (Kap. 2.4.1). Mithilfe der Beschreibung des Aufbaus der LWL-Telemetrie wurden für die Umsetzung der Datenübertragung vier mögliche Konzepte (Kap. 2.4.2) erarbeitet. Für die Entwicklung der Datenübertragung wurden die Spezifikationen der vorhandenen LWL-Windensysteme der deutschen Forschungsschiffe „FS Heincke“, „FS Polarstern“ und „FS Sonne“ verglichen. Ziel dieses Vergleichs ist die Entwicklung eines einheitlichen Systems für den Einsatz auf diesen Forschungsschiffen. Da die „FS Polarstern“ und die „FS Sonne“ ständig auf Forschungs Expeditionen weltweit im Einsatz sind, kann die Test- und Erprobungsphase des neuen Systems nur auf der „FS Heincke“ in der Nordsee durchgeführt werden. Laut den technischen Spezifikationen verfügen alle drei Forschungsschiffe über Windensysteme mit LWL-Koaxial-Kabel. Die unterwasserseitige Steckverbindung ist bei allen drei Forschungsschiffen ein „GISMA Underwater Connector Series BR40“ der Größe 3. Da auf den Forschungsschiffen bereits betriebsbereite Windensysteme mit Lichtwellenleiter-Technologie existieren, ist nur noch die Entwicklung der Deckeinheit und der Unterwassereinheit des Livebildkamerasystems der DOL-CTD erforderlich.

2.4.1 Relevante Komponenten zur Realisierung der Datenübertragung

Für die Übertragung der Daten werden in der Regel standardisierte Schnittstellen verwendet. Dabei nutzen diese nicht immer dieselben Kabelkonfigurationen. Das heißt sowohl die Anzahl an Adern in den Übertragungsleitungen als auch die Spannungs- und Signalpegel sind unterschiedlich. Die relevanten Schnittstellen zur Realisierung des Livebildkamerasystems sind für die Video-Übertragung die analogen Signale PAL/NTSC, die digitalen Signale HD-SDI und HDMI sowie die Ethernet Signale bei Netzwerk-Kameras. Für die Übertragung der CTD-Messdaten und Auslöse-Kommandos für die Wasserschöpfer zwischen Operator-PC und Deckeinheit „SBE 11plus“ wäre das die serielle Schnittstelle RS232. Für das Datenkommunikations-Netzwerk auf Basis von Ethernet ist das die Schnittstelle RJ45. Die Kabelkonfigurationen für die genannten Schnittstellen sind in der Tab. 8 aufgelistet.

Tab. 8: Auflistung der Kabelkonfigurationen für die relevanten Schnittstellen

| Schnittstelle | Kabelkonfiguration |
|---------------|---|
| Videosignal | 2-polig Koaxial analog/digital oder 19-polig bei HDMI |
| RS232 | min. 3-polig, 9-polig bei DE-9 |
| RJ45-Ethernet | 8-polig |

Damit die Datensignale der relevanten Schnittstellen über das gleiche Übertragungskabel gesendet werden können, ist der Einsatz von sogenannten Multiplexern erforderlich. Unter dem Begriff Multiplexverfahren sind verschiedene Methoden zur Signalübertragung zusammengefasst. Bei diesen Verfahren werden mehrere Signale gebündelt und simultan über ein Medium, ein Kabel oder eine Funkstrecke übertragen. Hierfür werden die Nutzdaten auf ein Trägersignal moduliert und gebündelt übermittelt. Im Empfänger erfolgt dann die anschließende Entbündelung und Demodellierung der Nutzdaten. Zur Realisierung der Datenübertragung kommen folgende Multiplexer / Konverter in die Betrachtung.

Elektrische Multiplexer

Die rein elektrischen Signalwandler sind für die Umwandlung der digitalen oder analogen Video-Signale sowie der seriellen Schnittstelle RS232 auf die Ethernet-Schnittstelle erforderlich. Mit ihnen lassen sich deren Daten ins Datenkommunikations-Netzwerk einspeisen und übertragen.

WDM - Konverter

Für die Übertragung der Datensignale über den Lichtwellenleiter ist die Signalumwandlung vom elektrischen Signal ins optische Signal erforderlich. Dafür werden sogenannte WDM-Konverter verwendet. Wie bereits in Kap. 2.1.1. beschreiben, wandeln diese Konverter die elektrischen Signale in optische Lichtimpulse um und umgekehrt. Die Abkürzung WDM steht für das Wellenlängenmultiplexverfahren (engl. Wavelength Division Multiplex). Bei diesem Verfahren erfolgt die Datenübertragung auf Lichtsignalen mit verschiedenen Wellenlängen.

CWDM - Konverter

Zur Erhöhung der Übertragungskapazität eines Lichtwellenleiters werden sogenannte CWDM-Konverter verwendet. Beim grob Wellenlängen-Multiplexverfahren (engl. Coarse Wavelength Division Multiplex) erfolgt die Übertragung der Lichtsignale auf 18 genormten Kanälen mit Wellenlängen zwischen 1270 nm und 1610 nm. Der Abstand zwischen den einzelnen Kanälen beträgt 20 nm, wobei 13 nm zur Kanalbreite und die restlichen 7 nm als Sicherheitsabstand zum benachbarten Kanal gehören. Mit diesem CWDM-Konverter lassen sich Datenübertragungsraten von bis zu 2,5 Gbit/s pro Kanal und bis zu einer Reichweite von 50 km ohne Signalverstärker realisieren (DATACOM Buchverlag GmbH 2018). Für die Realisierung der Datenübertragung ist die Verwendung eines solchen Konverters interessant. Mit ihm lassen sich während der Übertragung die Datenströme zwischen der CTD und dem Kamerasystem voneinander trennen. Das erhöht die Sicherheit bei der störungsfreien Übertragung der CTD-Daten und der Videosignale. Beide Systeme können auf die maximal mögliche Übertragungsrate zugreifen.

2.4.2 Telemetrie-Konzepte für DOL-CTD mit Livebildkamera

In diesem Abschnitt werden der Aufbau und die Umsetzung der vier möglichen Telemetrie-Konzepte beschrieben. Bei der Entwicklung der Konzepte stand die Beantwortung folgender Fragen im Mittelpunkt.

- Wie lässt sich in das bestehende Telemetrie-Konzept der DOL-CTD die Übertragung eines Livebildkamera-Signals einbinden und umsetzen?
- Welche Anpassungen müssen an der DOL-CTD vorgenommen werden?

Mit der Verwendung von Windensystemen mit LWL/Koaxial-Kabel lassen sich folgende vier Konzepte realisieren.

- Konzept I – Akku-Betrieb, CTD und Kamera getrennt
 Konzept II – Stromversorgung über DOL-CTD
 Konzept III – Übertragung von Daten und Strom getrennt
 Konzept IV – modifizierte SBE 11plus Deck Unit

Konzept I – Akku-Betrieb, CTD und Kamera getrennt

In Abb. 33 und 34 sind die Blockschaltpläne für den schematischen Aufbau der Deckeinheiten und Unterwassereinheiten des Konzepts I dargestellt. Bei diesem Konzept werden die Messdaten und Auslöse-Kommandos der DOL-CTD getrennt von den Signalen des Kamerasystems übertragen. Der Aufbau der DOL-CTD-Telemetrie bleibt daher unverändert. Deren Stromversorgung und Datensignale werden wie bei der Verwendung des normalen Einleiterkabels auf die Koaxial-Adern des LWL/Koaxial-Windensystems übertragen. Unterwasserseitig erfolgt deren Übertragung von der GISMA-Steckverbindung über die LWL-Unterwassereinheit direkt zur CTD. Die Datensignale für Video und zum Regeln der Beleuchtung werden in der LWL-Deckeinheit konvertiert und in den Lichtwellenleiter des Windensystems eingespeist.

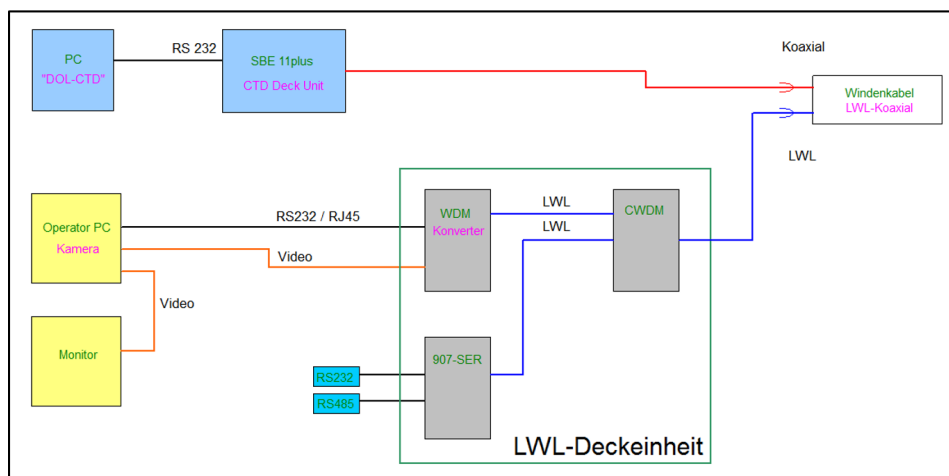


Abb. 33: Blockschaltplan des schematischen Aufbaus der Deckeinheiten für DOL-CTD, Kamerasystem und LWL-Telemetrie

Vom Operator PC des Kamerasystems werden die Beleuchtung über eine RS232 - oder RJ45 - Schnittstelle gesteuert und die Funktionsfähigkeit der LWL-Telemetrie überwacht. Die Übertragung des Videosignals erfolgt über eine separate Leitung und kann zur besseren Steuerung des Kameraeinsatzes an einen separaten Monitor übermittelt werden. In den Blockschaltplänen sind zusätzliche freie Schnittstellen abgebildet (RS232 und RS485). Diese Schnittstellen sind für den Betrieb von weiteren Messsystemen vorgesehen, wie zum Beispiel den Einsatz von zwei L-ADCP (Lowered Accoustic Doppler Current Profiler). Mit diesen Messgeräten lassen sich die Meeresströmungen während des CTD-Profiles ermitteln. Die Stromversorgung für Kamera, Beleuchtung und LWL-Unterwassereinheit erfolgt über ein entsprechendes Akku-System (Abb. 34). Die Anpassung der Akku-Spannung an die benötigten Betriebsspannungen wird durch Spannungswandler realisiert, die im Blockschaltplan nicht eingezeichnet sind.

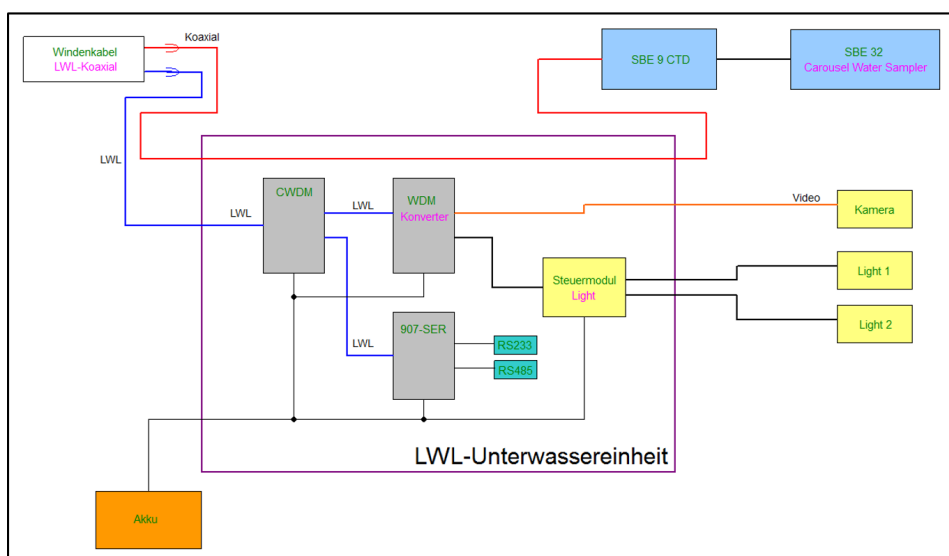


Abb. 34: Blockschaltplan über den Aufbau der Unterwassereinheiten für DOL-CTD, Kamerasystem und LWL-Telemetrie

Konzept II – Stromversorgung über DOL-CTD

Für die Umsetzung des Konzepts II ist eine Anpassung an der Sea-Bird "SBE 11plus Deck Unit" erforderlich. Damit diese Deckeinheit die zusätzliche Stromversorgung für LWL-Unterwassereinheit und Kamerasystem gewährleisten kann, muss das Standard-Netzteil der Deck Unit durch ein leistungsfähigeres Netzteil ersetzt werden. Beim Umbau des Gerätes muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Leistungserhöhung des Netzteils keine Gefährdung für die Komponenten der Datenkommunikation der DOL-CTD darstellt. Der Aufbau der LWL-Deckeinheit zur Übertragung und Steuerung des Livebildkamerasystems bleibt im Vergleich zum Konzept I unverändert (Abb. 35).

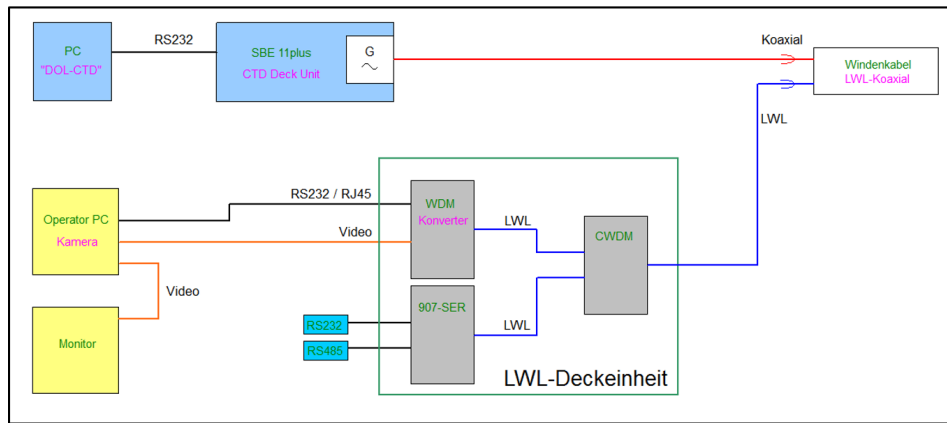


Abb. 35: Blockschaltplan für Konzept II mit angepasster Spannungsversorgung in der CTD Deck Unit zur Versorgung der Unterwassereinheiten

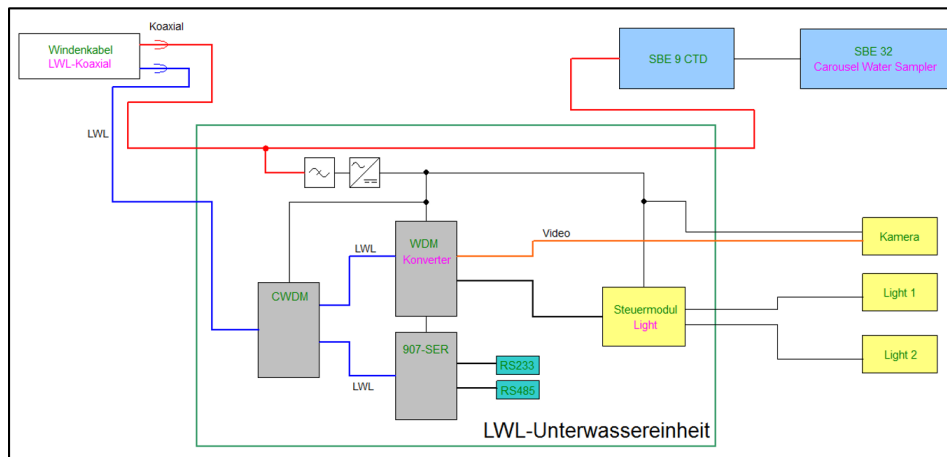


Abb. 36: Blockschalplan über den schematischen Aufbau der Unterwassereinheit des Konzept II

In Abb. 36 ist der schematische Aufbau der Unterwassereinheiten für das Konzept II dargestellt. Für die Stromversorgung der LWL-Unterwassereinheit und des Kamerasystems wird die Wechselspannung der CTD ins Gehäuse der LWL-Telemetrie eingespeist. Auf der Wechselspannung liegen aber noch die Signale der Messdaten und die Auslösekommandos der CTD. Diese können während der Spannungsumwandlung zu Störungen in der LWL-Telemetrie führen und die Signalübertragung des Kamerasystems beeinflussen. Durch den Einsatz einer Filterschaltung vor der Spannungsumwandlung kann dies vermieden werden. Die Leistungsanpassung der Sea-Bird „SBE 11plus Deck Unit“ sollte mit Rücksprache und Informationsaustausch mit der Engineering Abteilung von „Sea-Bird Scientific“ erfolgen, um mögliche Schäden an der Telemetrie der DOL-CTD zu vermeiden.

Konzept III – Übertragung von Daten und Strom getrennt

Im Konzept III wird die Möglichkeit der getrennten Übertragung von Strom und Daten ausgenutzt. Diese Möglichkeit bietet das LWL-Koaxial-Windensysteme der Forschungsschiffe. Die benötigte Spannung wird durch die Bordnetz-Versorgung zur Verfügung gestellt. In Abb. 37 und 38 ist die Umsetzung für die getrennte Übertragung für das Konzept III dargestellt.

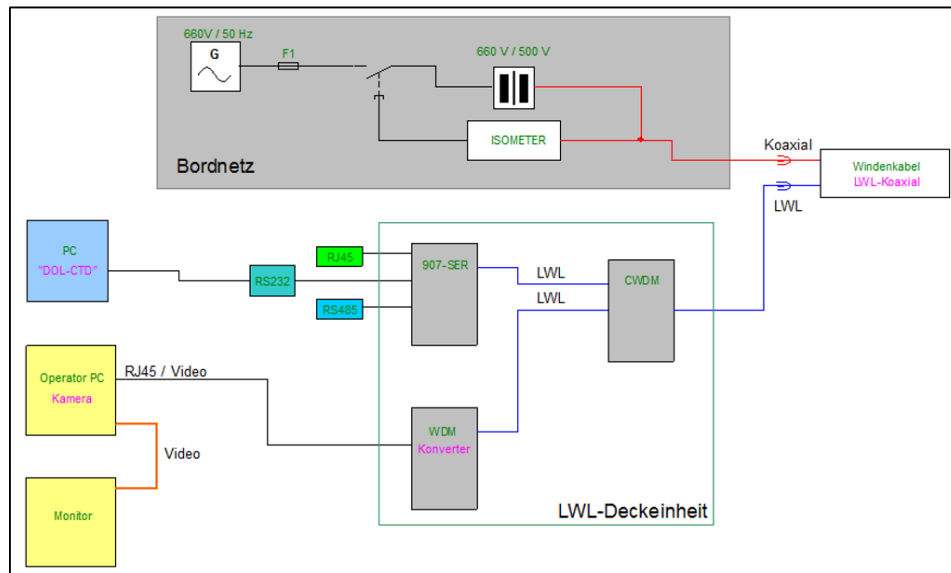


Abb. 37: Schaltplan I für das Konzept III zur getrennten Übertragung der Daten und Stromversorgung, mit Darstellung des Bordnetzes und der Deckeinheiten

Der Stromgenerator an Bord des Forschungsschiffes, z.B. „FS Polarstern“, erzeugt für Verbraucher mit hohem Leistungsbedarf, zum Beispiel für den Betrieb der Windenanlage, ein 660 V / 50 Hz Netz (El Naggar und Fahrbach 2006). Durch einen Transformator wird diese Spannung auf eine Übertragungsspannung zum Beispiel von 500 V / 50 Hz umgewandelt, die in das Koaxial-Kabel der Windenanlage eingespeist wird. Da diese Hochspannung eine Gefährdung für Verbraucher und Bediener darstellt, überwacht ein sogenannter Isolationswächter, Kurzbezeichnung Isometer, die elektrische Betriebssicherheit des Windensystems. Im Fall eines Isolationsfehlers oder Kurzschlusses schaltet das Isometer die Winde elektrische ab (Lilienthal 2013). In der LWL-Unterwassereinheit wandelt ein Transformator mit nachgeschalteten Gleichrichtern die Übertragungsspannung in die für CTD und Kamerasysteme benötigten Betriebsspannungen um. Bei diesem Konzept erfolgt der Betrieb der DOL-CTD ohne die Sea-Bird „SBE 11plus Deck Unit“. Der Bediener-PC wird direkt mit der seriellen Schnittstelle RS232 an die LWL-Deckeinheit angeschlossen. Unterwasserseitig wird die „SBE 9 CTD“ an die LWL-Unterwassereinheit angeschlossen. Über die LWL-Telemetrie werden die Auslöse-Kommandos zur LWL-Unterwassereinheit gesendet, die Messdaten von der CTD empfangen und zum PC übermittelt. Die Realisierung dieses Konzepts erfordert einer Umrüstung der Sea-Bird „SBE 9 CTD“ für den Betrieb und den Einsatz über eine serielle Schnittstelle RS232.

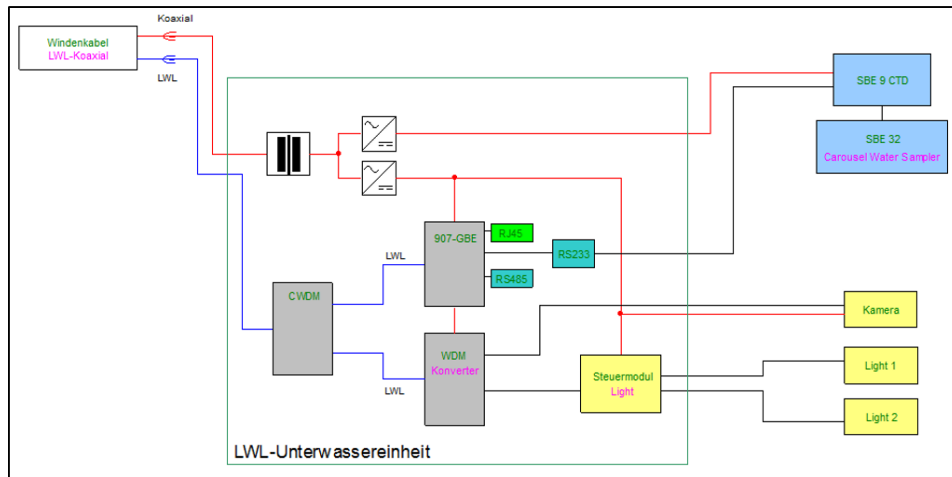


Abb. 38: Schaltplan II für das Konzept III zur getrennten Übertragung von Daten und Stromversorgung, mit Darstellung der Spannungsumwandlung und Signalübertragung in der LWL-Unterwassereinheit

Konzept IV – modifizierte SBE 11plus Deck Unit

Für die Umsetzung des Konzepts IV bleiben Schema und Aufbau zur Realisierung der Deckeinheit wie beim Konzept III unverändert. Die Spannungsversorgung erfolgt mit Hilfe des Bordnetzes über das Koaxial-Kabel und die Datenübertragung für Kamera und CTD findet durch die LWL-Deckeinheit statt (Abb. 39).

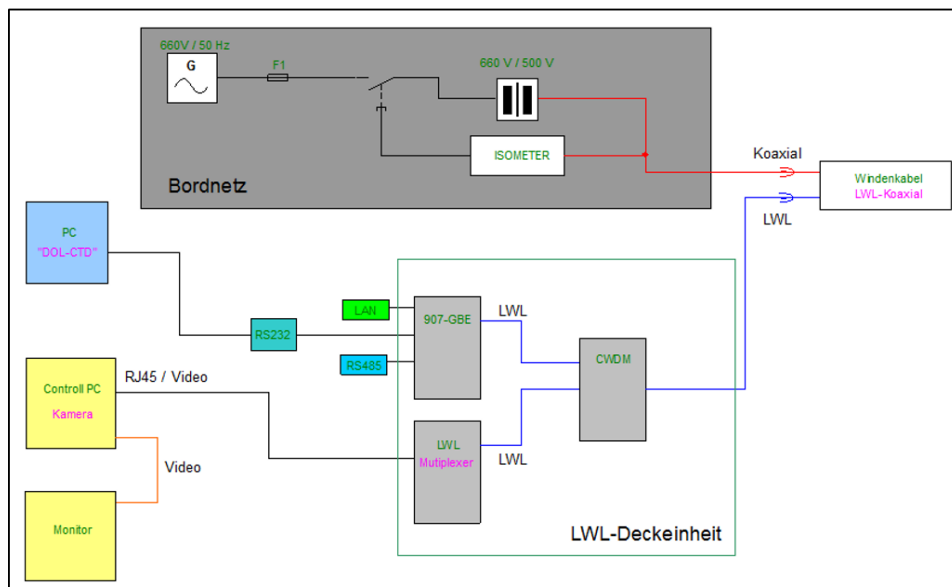


Abb. 39: Aufbau der Deckeinheit zur Umsetzung des Konzept IV – ohne die SBE 11plus Deck Unit

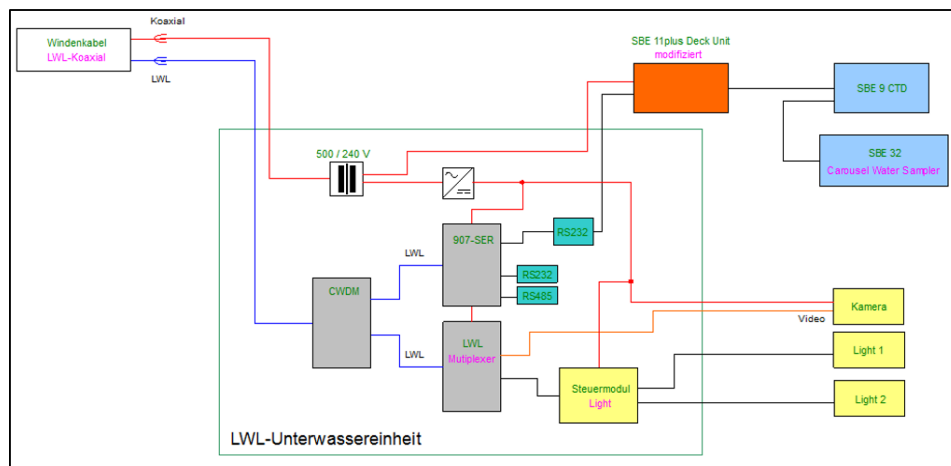


Abb. 40: Blockschaltplan über den schematischen Aufbau zur Umsetzung des Konzept IV mit modifizierter SBE 11plus Deck Unit

Die Unterwassereinheit wird dagegen durch eine „SBE 11plus Deck Unit“ erweitert (Abb. 40). Für den Betrieb unter Wasser erhält die Deck Unit eine Modifikation und wird in ein wasserdichtes Gehäuse gebaut. In der LWL-Unterwassereinheit sorgt ein Transformator für die benötigte Betriebsspannung von 230 V / 50 Hz. Die Datenkommunikation zwischen Bediener-PC und Deck Unit erfolgt über die LWL-Telemetrie. Die serielle Schnittstelle RS232 wird von der LWL-Unterwassereinheit kommend durch das neue wasserdichte Gehäuse an die regulären Anschlüsse angeschlossen. Die modifizierte Deck Unit wandelt die Signal in das Sea-Bird Standardsignal um und leitet dieses über das Standardeinleiterkabel zur „SBE 9 CTD“. Diese Anpassung der DOL-CTD-Telemetrie besitzt im Vergleich zu Konzept II und III folgende Vorteile.

- An der Daten-Telemetrie der DOL-CTD ist keine Anpassung notwendig.
- Mit der Verwendung einer normalen „SBE 11plus Deck Unit“ kann die DOL-CTD ohne Anpassung über ein reguläres Einleiterkabel eingesetzt werden. Der Einsatz des Kamerasystems ist dann nicht möglich. Für die Forschung mit Kameraeinsatz erfolgt der Tausch und die Verwendung der modifizierten Deck Unit.

2.5 Laborexperimente und Ergebnisse

Bei den vier vorgestellten Konzepten handelt es sich um theoretische Überlegungen über den Aufbau der Telemetrie von Livebildkamera und DOL-CTD. Für die Realisierung sind Kenntnisse und Erfahrungen, auch im Bereich der Bewegungsunschärfe, notwendig. Um dies zu erlangen wurden, im Rahmen der Masterarbeit drei Experimente mit folgenden Zielstellungen durchgeführt:

Experiment 1: Sammeln von Erfahrungen und Erkenntnissen zum Aufbau einer LWL-Datenübertragung

Experiment 2: Aufnahme von scharfen Bildern bei einer Partikelgeschwindigkeit von bis zu 1 m/s mit minimaler Bewegungsunschärfe

Experiment 3: Überprüfen der Machbarkeit des Unterwassereinsatzes der „SBE 11plus Deck Unit“ in modifizierter Form (Konzept IV) sowie Ermitteln des Aufwandes hinsichtlich der Datenübertragung

2.5.1 Testaufbau: LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor

In diesem Versuchsaufbau einer LWL-Datenübertragung, auf Basis der Singlemode-Technologie, soll das gleichzeitige Übertragen von Videosignalen und Messdaten erprobt werden. Es geht darum, Erfahrungen und Erkenntnisse in der Umsetzung und Realisierung der LWL-Telemetrie für DOL-CTD und für das Livebildkamerasystem zu sammeln. Folgende Fragen waren zu beantworten:

- Wie lässt sich die gemeinsame Datenübertragung per Lichtwellenleiter realisieren?
- Wo liegen die Grenzen bei der LWL-Datenübertragung?

Versuchsaufbau

Ziel des Aufbaus war die Herstellung einer Datenübertragung per Lichtwellenleiter zwischen einer Deckeinheit und einer Unterwassereinheit. Der Aufbau der Versuchstelemetrie soll dem prinzipiellen Aufbau einer LWL-Telemetrie auf einem Forschungsschiff entsprechen, bei dem sich unter Wasser eine Messsonde und eine Kamera befinden und deren Operator-PCs in einem Labor an Deck aufgebaut sind. Abb. 41 und Abb. 42 zeigen jeweils den Aufbau der Deck- und Unterwassereinheit des Versuches. Zur Bedienung der Kamera und zum Aufzeichnen der Messdaten einer Leitfähigkeitssonde wurde jeweils ein Laptop verwendet, ähnlich den in Kapitel 2.4.2 aufgeführten Telemetrie-Konzepten für DOL-CTD und Kamerasystem. Die benötigten Komponenten zur Umwandlung der elektrischen Datensignale in Lichtimpulse wurden auf zwei Sperrholzplatten platziert und befestigt.

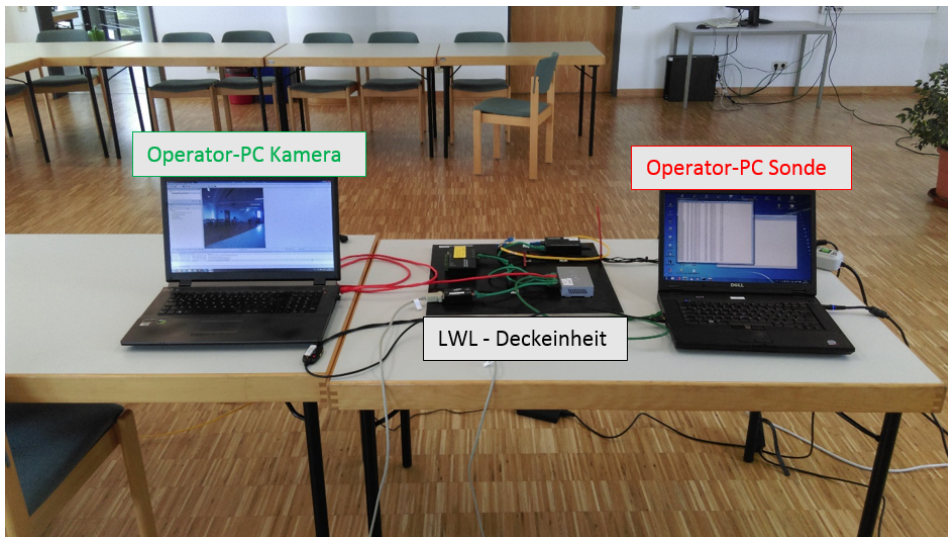


Abb. 41: Aufbau der Deckeinheit im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“

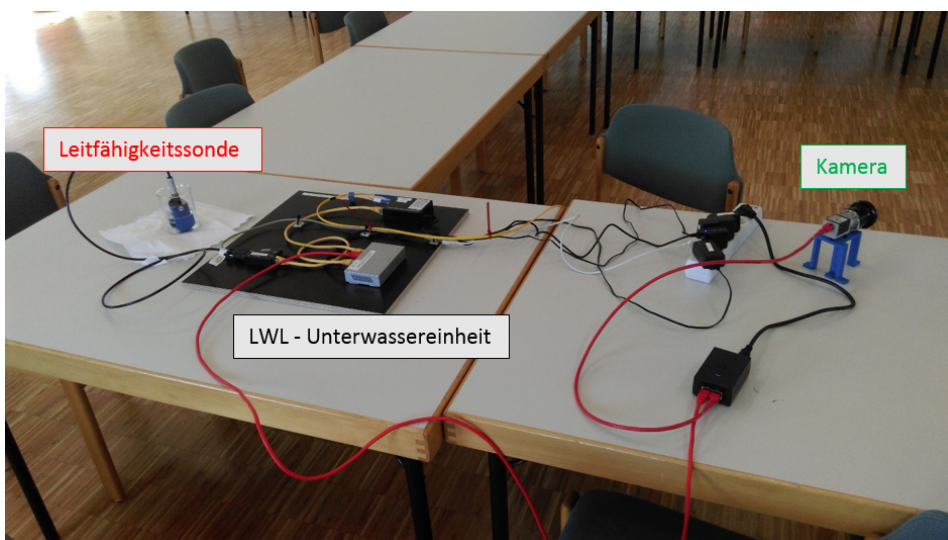


Abb. 42: Aufbau der Untereinheit im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“

Jeweils eine Sperrholzplatte simuliert den Aufbau der Telemetrie für die LWL-Deckeinheit (Abb. 43) und die LWL-Untereinheit (Abb. 44). Beide Einheiten besitzen den gleichen Aufbau und die gleichen Komponenten. Als Komponenten für die Datenübertragung werden zwei „EX-6030 Konverter – 1 Port RS232 über Ethernet“, zwei „ZyXEL-Switch ES-105A v3 5-Port Desktop Fast Ethernet“ und zwei „WDM Bi-Directional Ethernet Media Converter“ in den Modellen „510530“ und „510547“ eingesetzt. Sie unterscheiden sich in den zwei Wellenlängen, die zur Übertragung der Signale verwendet werden. Dies bedeutet, dass für alle Daten, die von der Deckeinheit zur Untereinheit übertragen werden, die Wellenlänge 1310 nm genutzt wird. Die Daten, die von der Untereinheit zurückgesendet werden, nutzen dagegen die Wellenlänge 1550 nm.

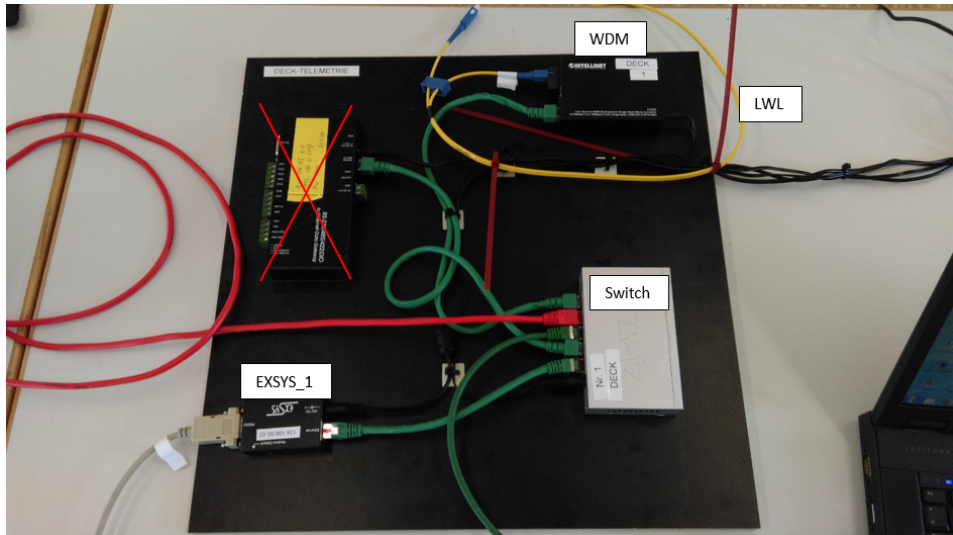


Abb. 43: Aufbau und Verdrahtung der LWL-Deck-Telemetrie, der rot gekreuzte Wandler wurde in diesem Experiment nicht benötigt.

Der zusätzliche Wandler (rotes Kreuz Abb. 43) wurde in der Deckeinheit für ein anderes Experiment eingebaut, beim Versuch zur LWL-Datenübertragung spielt dieser keine Rolle. Als Messsonde wurde eine Leitfähigkeitssonde „AANDERAA Conductivity Sensor 3919 B, Serial-Nr. 1451“ eingesetzt. Diese Sonde stellt die gemessenen Werte der Temperatur und der Leitfähigkeit über eine RS232-Schnittstelle zur Verfügung. Das Experiment wurde mit zwei Industrie-Kameras durchgeführt. Kamera I war eine „Allied Vision Prosilica GT3400c“ mit 3384 x 2704 Pixel Auflösung. Als zweite Kamera wurde die „Basler acA2040-25gc“ mit 2046 x 2046 Pixel Auflösung verwendet. Beide Kameras sind für den Betrieb über Ethernet ausgelegt und werden direkt über ein RJ45-Kabel angeschlossen.

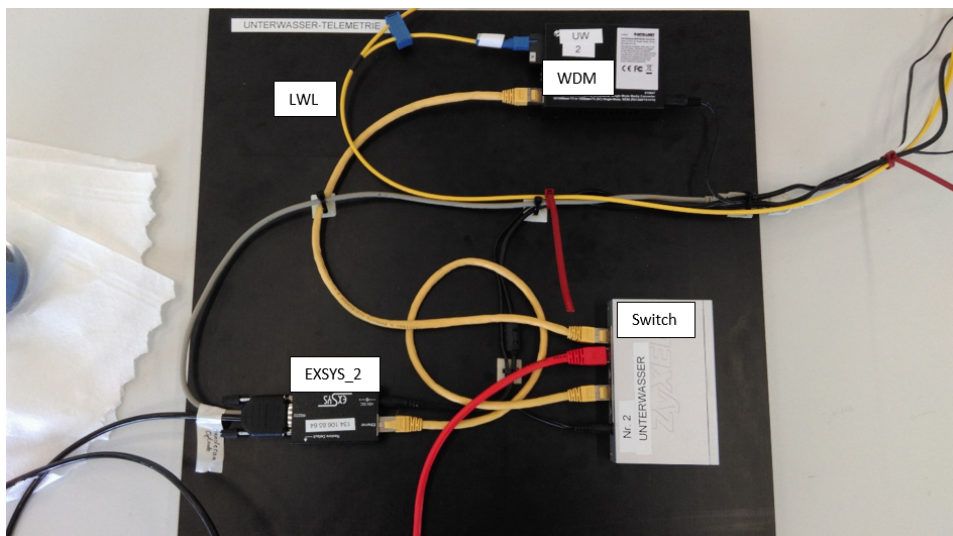


Abb. 44: Aufbau der Unterwassereinheit im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“

Durchführung

Nach Aufbau des Versuchs und Verdrahtung entsprechend dem im Anhang, siehe S. 113, dargestellten Blockschaltplanes erfolgte die Einrichtung der Datenübertragung auf Basis der TCP/IP-Protokollfamilie. Diese Protokollfamilie ist die Basis der Netzkommunikation im Internet. Für die Datenübertragung im Experiment wird von dieser Protokollfamilie das „Transmission Control Protocol“ (TCP) verwendet. Mit dem TCP lässt sich eine feste Datenverbindung zwischen zwei Endpunkten in einem Netzwerk herstellen. Die Messdaten der Leitfähigkeitssonde werden somit zum Operator-PC der Sonde übermittelt. Zwischen der Kamera und deren Bediener-PC findet das gleiche Übertragungsprinzip statt. Die beiden Ethernet-Switch, in der Deck- und Unterwassereinheit, sorgen für die gleichzeitige Übertragung beider Datenströme. Die genaue Reihenfolge des Einrichtens der Datenübertragung kann aus dem Protokoll, welches zum Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“ erstellt wurde, entnommen werden. Nach Einrichten der Übertragung wurden einige Betriebstests zum Verhalten der Datenübertragung bei Stromausfall und bei Unterbrechung des Lichtwellenleiters durchgeführt. Außerdem wurde die erreichte Bildrate der übertragenen Bildaufnahmen bestimmt.

Ergebnisse

Mit dem verwendeten Aufbau lässt sich eine erfolgreiche Übertragung von Videosignalen und Messdaten über einen Lichtwellenleiter realisieren. Nach einmaligem Einrichten der Datenübertragungswege erwies sich dieser Aufbau als sichere Datenübertragung. Bedingt durch die Hersteller-Konfigurierung der Aanderaa-Sonde zeigte die Datenübertragung der Messdaten folgendes Verhalten beim Betriebstest zur Simulation eines Stromausfalls und einer Unterbrechung des Lichtwellenleiters. Die Simulation des Stromausfalls erfolgte durch das Abschalten der Steckdosenleisten für die Deckeinheit sowie für die Unterwassereinheit. Nach dem Zuschalten der Stromversorgung dauerte es ca. 5 Sekunden, bis die Messdaten im Operator-PC wieder eintrafen. Das gleiche Verhalten konnte bei der Unterbrechung des Lichtwellenleiters beobachtet werden. Aufgrund der Akkus in den Operator-PCs fielen diese während der Unterbrechung der Stromversorgung für die Deckeinheit nicht aus. Deren Programme blieben während der Unterbrechungszeit geöffnet. Das Verhalten der Übertragung der Videosignale verhielt sich beim Betriebstest zur Simulation eines Stromausfalls und einer Unterbrechung des Lichtwellenleiters hingegen anders. Die Unterbrechung der Stromversorgung sowie des Lichtwellenleiters führte zur Unterbrechung der Datenverbindung zwischen Operator-PC und Kamera und somit zur Unterbrechung in der Bildaufnahme. Nach Beseitigung der jeweiligen Störung musste die Kamera-Software neu gestartet und die Datenverbindung zwischen Operator-PC und Kamera neu aufgebaut werden.

Hinsichtlich der erreichten Bildrate (fps) bei den beiden verwendeten Kamerasystemen lieferten der Aufbau und die verwendeten Komponenten folgende Erkenntnisse. Bei der Beschaffung der Wandler wurde darauf geachtet, dass sie für die einheitliche Datenübertragung des Standards „Fast-Ethernet“ ausgelegt sind. Bei „Fast-Ethernet“ ist die Datenmenge, die pro Sekunde übertragen werden kann, auf 12,5 Mbyte pro Sekunde

begrenzt. In diesem Experiment hatte dies für die Bildrate der Kamera folgende Auswirkung. Die Nenn-Bildrate der „Allied Vision Prosilica GT3400c“ liegt bei 13,2 fps und die der „Basler acA2040-25gc“ bei 25 fps. Bei der Verwendung der Kamera „GT3400c“ wurde im Experiment eine Bildrate von 1,3 fps erreicht. Die Kamera „A2040“ erreichte im Versuchsaufbau 2,6 fps. Beide Kameras wurden mit voller Auflösung betrieben. Der Unterschied zwischen beiden ergibt sich durch die verschiedene Anzahl der Pixelmenge in den Kameras. Eine Aufnahme der Kamera „GT3400c“ ist bei maximaler Auflösung 26,2 Mbyte groß ($3384 \times 2704 \times 3$ Farbbytes für Rot, Grün und Blau = 27.451.008 Bytes). Eine Bildaufnahme der Kamera „A2040“ besitzt bei größter Auflösung nur ca. 12,0 Mbyte ($2046 \times 2046 \times 3$). Da über den gleichen Lichtwellenleiter und die gleichen Wellenlängen die Daten der Leitfähigkeitssonde sowie die Videosignale gesendet werden, reichte die begrenzte Übertragungsrate des „Fast-Ethernet“ nicht aus, die Kameras mit höhere Bildrate bei maximaler Auflösung zu betreiben. Durch die Verringerung der Kameraauflösung konnten auch höhere Bildraten erreicht werden.

Für die Entwicklung des Livebildkameranagements ist zu beachten, dass die Übertragungsraten im Bereich des „Gigabit-Ethernet“ mit 125 Mbytes pro Sekunde oder höher liegen muss. Zur Übertragung von Messdaten mit geringem Datenvolumen reicht jedoch eine „Fast-Ethernet“-Übertragung aus.

2.5.2 Experiment: Belichtungszeit

Die Auswertung der Videos sowie die Bewertung der Leistungsfähigkeit der „Deep Ocean Camera“ hinsichtlich der erreichten Bildqualität (Kapital 2.2.2) hat ergeben, dass mit der „Legia“-Kamera aufgrund der Belichtungszeit scharfe Bilder nur bis zu einer Bewegungsgeschwindigkeit von maximal 0,4 m/s aufgenommen werden konnten. In diesem Versuch soll die Belichtungszeit experimentell bestimmt werden, die notwendig ist damit auch bei einer Partikelgeschwindigkeit von bis zu 1 m/s klare und scharfe Aufnahmen von beobachteten Objekte entstehen.

Versuchsaufbau

In den aufgenommenen Videos der „Deep Ocean Camera“ handelt es sich in der Regel um Partikelgeschwindigkeiten bei linearen Bewegungen. Die Simulation dieser Bewegung kann durch Experimente beim Fallen eines Körpers, beim Vorbeifliegen eines Objektes vor einer Kamera oder durch Filmen von Markierungen auf einer bewegten Bandanlage erfolgen. Alle diese Experimente benötigten einen größeren Aufwand im Aufbau und in der Umsetzung. Zur Vereinfachung des Versuchsaufbaus kann die lineare Bewegung durch eine Rotationsbewegung ersetzt werden. Ein Punkt, der sich mit einem definierten Abstand um einen zentralen Punkt dreht, besitzt neben seiner Rotationsgeschwindigkeit gleichzeitig eine Tangentialgeschwindigkeit. Daher erfolgt die Simulation der Partikelgeschwindigkeit in diesem Experiment durch zwei Markierungen auf einer rotierenden CD-ROM. Abb. 45 zeigt die CD mit den beiden Flächen für die Simulation.

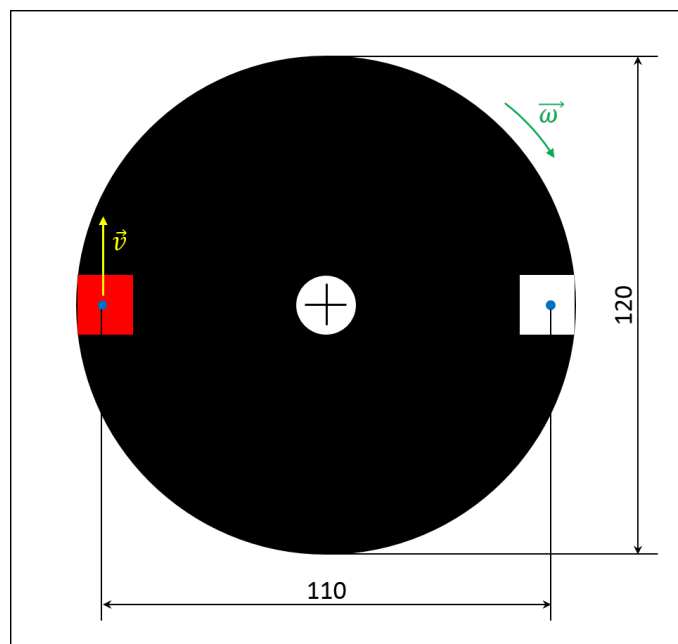


Abb. 45: Geschwärzt CD-ROM mit Markierungen zur Simulation der Partikelgeschwindigkeiten, Größe der Markierungen 14 x 14 mm; \vec{v} - Tangentialgeschwindigkeit; $\vec{\omega}$ - Rotationsgeschwindigkeit

Zur Vermeidung von störenden Spiegelungen und Reflexionen bei der Bildaufnahme, wurde die spiegelnde CD mit schwarzem Isolierband beklebt. Anschließend wurden zwei Markierungen mit weißem Isolierband angebracht. Die Größe der Flächen von 14 x 14 mm ist dabei frei gewählt worden. Nach einem ersten Teilexperiment „Bewegungsunschärfe“ erhielt eine der beiden Markierungen eine rote Färbung zur besseren Sichtbarkeit der Rotation in den Aufnahmen.

Anhand der in Abb. 45 angegebenen Maße lässt sich die benötigte Rotationsgeschwindigkeit ω für den Mittelpunkt jeder Markierung im Abstand r zum Mittelpunkt der CD mit der Formel 6 für die gleichförmige Rotation berechnen (Fischer 2002).

Gleichung zur gleichförmigen Rotation

gegeben: $v = 1 \text{ m/s} = 1000 \text{ mm/s}$
 $r = 55 \text{ mm}$

gesucht: ω

Lösung:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{1000 \frac{\text{mm}}{\text{s}}}{55 \text{ mm}} \quad (7)$$

$$\omega \approx 18,2 \frac{1}{\text{s}} = 1092 \frac{1}{\text{min}} \quad (8)$$

ω : Winkelgeschwindigkeit

v : Geschwindigkeit

r : Radius

Zur Simulation der Bewegung von Partikel mit einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s muss die Markierung auf der CD-ROM mit ca. 1090 Umdrehungen pro Minute rotieren. Der Antrieb für die Rotation der CD, ein „FF-050SK-09250“-Motor, stammt aus einem ausgebauten CD/DVD-Laufwerk. Der experimentelle Grundaufbau ist in Abb. 46 zu sehen. Für die CD-ROM und den Motor wurde eine CD-Aufnahme sowie eine Halterung angefertigt und auf einer Sperrholzplatte montiert. Die Beleuchtung für die CD ist aus einem „SmartArray L6 LED-Modul“ und einem Kühlblech hergestellt. Zur Messung der Rotationsgeschwindigkeit kam ein „Anderson Racing- One Touch Tach“-Drehzahlmesser zum Einsatz. Dieser Drehzahlmesser stammt aus dem Bereich des Modellbaus. Aus diesem Grund wurden auch auf der CD-ROM zwei Markierungen platziert. Über ein Labornetzgerät wurde die Spannung von 1,6 – 1,7 V für den CD-Motor eingestellt. In diesem Spannungsbereich konnte eine Umdrehung von ca. 1090 U/min für die CD erreicht werden. Die LED-Beleuchtung wurde mit einem 12 V - Netzteil betrieben. Das Experiment „Belichtungszeit“ bestand aus drei Teilexperimenten. Im ersten Teil wurde der Effekt der Bewegungsunschärfe an diesem Aufbau wiederholt bzw. simuliert. Teil 2 diente zur Bestimmung der benötigten Belichtungszeit für die Bewegungsgeschwindigkeit von 1 m/s. Die Untersuchung des Einflusses der Entfernung zwischen Objekt und Kamera erfolgte

im dritten Teil des Experimentes. Für jedes der drei Telexperimente wurde der Aufbau geringfügig verändert.

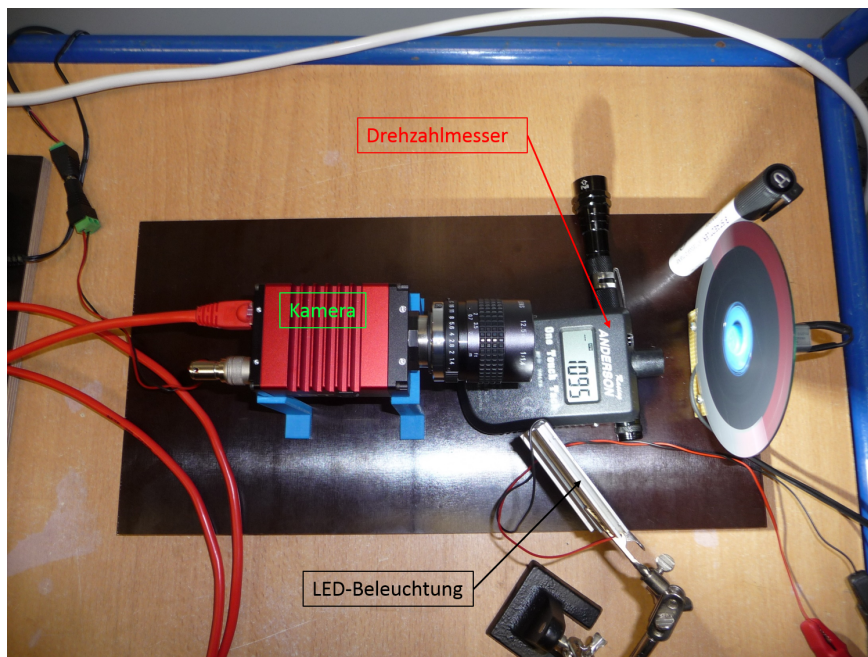


Abb. 46: Grundaufbau des Experiments „Belichtungszeit“ mit rotierender CD (1095 U/min)

Als Kamera wurde die Industrie-Kamera „Allied Vision Prosilica GT3400c“ mit 9,2 Megapixel verwendet. Sie verfügt über eine einstellbare Belichtungszeit von $10\ \mu\text{s}$ bis $26,8\ \text{s}$ und ist für den Einsatz über Ethernet geeignet. Ausgestattet war die Kamera mit einer „PENTAX CCTV LENSES - C21211KP“-Optik. Da die Fokussierung des Objektivs für einen minimalen Abstand von $0,3\ \text{m}$ zwischen Objekt und Objektiv geeignet ist, kam ein $3\ \text{mm}$ -Distanzring zum Einsatz. Mit Distanzringen zwischen Kamera und Objektiv können auch Optiken für die Fokussierung auf kürzere Distanzen verwendet werden. Bei der Blende sind die standardisierten Schrittweiten 1.0, 1.4, 2.0, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22 einstellbar. Mit jeder Schrittweite reduziert sich die Lichtmenge, die das Objektiv passieren lässt, um 50 % (Stemmer Imaging 2013). Für die Regelung der Kamera „Allied Vision Prosilica GT3400c“ und zur Aufzeichnung deren Bilder wurde die Kamera-Software „Vimba Viewer“ verwendet.

Telexperiment I „Bewegungsunschärfe“

Der Effekt der Bewegungsunschärfe wurde in diesem Telexperiment simuliert. Hierfür wurde die standardmäßig eingestellte Belichtungszeit von $250\ \text{ms}$ verwendet. Dieser Wert befindet sich nach jedem Neustart von Kamera und Software in den Setup-Einstellungen. Mit dieser Belichtungszeit wurden jeweils 10 Aufnahmen von der stehenden sowie von der rotierenden CD aufgenommen. Das Sichtfeld der Kamera wurde so weit verschoben, dass die Markierungen bei rotierender CD durchs Zentrum des Blickwinkels der Aufnahme verlaufen.

Ergebnis Teilexperiment I „Bewegungsunschärfe“

In der Abb. 47 sind stellvertretend zwei Framebilder aus dem Teilexperiment I dargestellt. Sie verdeutlichen den Unterschied der Aufnahmen bei ruhenden bzw. sich schnell bewegenden Objekten. Die Belichtungszeit von 250 ms besitzt bei der Aufnahme der stehenden CD keine Auswirkung auf deren Bildqualität und der klaren Abbildung der weißen Markierung. Rotiert jedoch diese Markierung mit 1090 U/min, was einer Tangentialgeschwindigkeit von etwa 1 m/s entspricht, ist die verwendete Belichtungszeit viel zu groß, um die Markierung überhaupt zu erkennen. Damit die Markierung klar zu erkennen ist und nicht wie im Bild rechts als weißer Außenring auf der CD, muss die Belichtungszeit deutlich verkürzt werden.

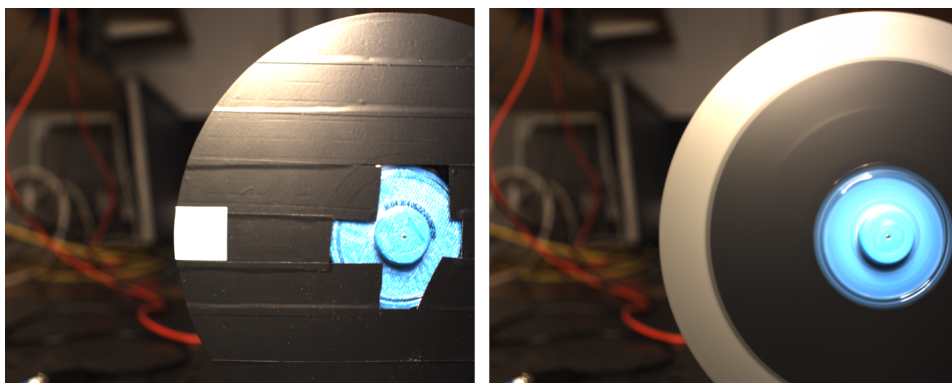


Abb. 47: Kameraaufnahmen bei eingestellter Belichtungszeit von 250 ms mit stehender (links) und rotierender CD (rechts), Rotation 0 und 1090 U/min

Teilexperiment II „Belichtungszeit“

Zur Bestimmung der Belichtungszeit wurde beim Versuchsaufbau ein definierter Abstand zwischen Markierung und Bildsensor eingestellt (Abb. 48). Die Kamera wurde so ausgerichtet, dass die Markierungen exakt durch den Bildmittelpunkt verlaufen und der Abstand zwischen der CD-Fläche und dem Bildsensor der Kamera 150 mm beträgt. Der so entstandene Abstand zwischen CD und Objektiv beträgt ca. 6 mm. In diesem Bereich befindet sich die Optik des zukünftigen Druckgehäuses. Der stehende Textmarker neben der CD, diente zur Unterstützung der genauen Fokussierung der Kamera.

Im Teilexperiment II erfolgte eine schrittweise Verkürzung der Belichtungszeit. Dabei wurden nach jedem Verkürzen die Einstellung für Blende sowie die software-gesteuerte Bildverstärkung zur Helligkeit des Bildes angepasst. Als Stufen für die Verkleinerung der Belichtungszeit wurden 250 ms, 1 ms, 250 μ s, 200 μ s und 150 μ s gewählt. Von jeder Einstellungsstufe wurden anschließend 60 Framebilder aufgenommen.

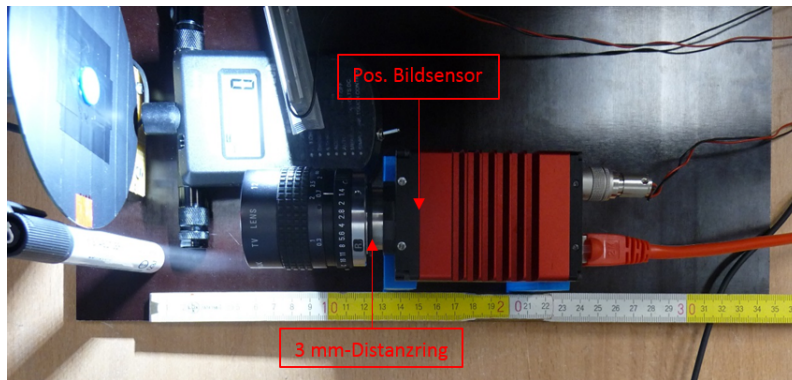


Abb. 48: Angepasster Aufbau des Teilexperiments II mit definierten Abständen und Markierung des Bildsensors

Ergebnisse Teilexperiment II „Belichtungszeit“

Bei den Belichtungszeiten 250 ms und auch 1 ms war die Bewegungsunschärfe in den Abbildungen der Markierung deutlich zu sehen. Ab einer Belichtungszeit von 250 μ s wurde die Bewegungsunschärfe der Markierung in den Kamerabildern immer geringer. Abb. 49 zeigt eine Aufnahme der roten Markierung mit dieser eingestellten Belichtungszeit.



Abb. 49: Framebild vom Teilexperiment II; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 250 μ s

Abb. 49 wurde mit folgenden Einstellungen der Kamera aufgenommen:

Belichtungszeit: 250 μ s
Bildverstärkung: 10 db
max. Auflösung: 3384 x 2704 Pixel

Bei der Bildverstärkung kann die Aufhellung des Bildes durch die Kamera-Software von 0 bis 31 db verändert werden. Am Objektiv „C21211KP“ waren die Blende auf 1.4 und der Fokus auf 0.7 eingestellt. Man erkennt, dass sich die Bewegungsunschärfe an der roten Markierung unterschiedlich abzeichnet. Am rechten, inneren Rand ist sie deutlich kleiner als am linken, äußeren Rand. Die Differenz von 182 mm/s in der Bewegungsgeschwindigkeit beider Ränder ist der Grund für diesen Unterschied. Bei gleicher Rotationsgeschwindigkeit von 1090 U/min bewegt sich ein Punkt auf dem Rand der CD ($r = 60$ mm) schneller, als ein Punkt auf der innen Seite der roten Markierung ($r = 50$ mm).

Als nächstes wurde die Belichtungszeit auf $200 \mu\text{s}$ verkürzt. Die Ablichtung der weißen Markierung auf der CD erfolgt nun noch deutlicher (Abb. 50). Die Bewegungsunschärfe ist noch etwas geringer als in Abb. 49. An den Kamera-Einstellungen wurde bis auf die Erhöhung der Bildverstärkung auf 12 db und die Belichtungszeit nichts verändert.



Abb. 50: Framebild vom Telexperiment II; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: $200 \mu\text{s}$

Mit $150 \mu\text{s}$ erfolgte die kürzeste Einstellung der Belichtungszeit während des Telexperiments II. Noch kürzere Einstellungen wären zwar möglich, jedoch erreichte der experimentelle Aufbau seine Grenzen. Durch die einfache LED-Beleuchtung, ohne Bündelung des Lichtkegels durch eine Linsenoptik, reichte die Leuchtleistung nicht mehr aus, um das Sichtfeld der Kamera genügend auszuleuchten. Abb. 50 zeigt die Kameraaufnahme bei einer Belichtungszeit von $150 \mu\text{s}$ und einer Bildverstärkung von 15 db. Die Markierung wird fast komplett scharf abgebildet. Die Bewegungsunschärfe ist nur noch geringfügig am oberen und unteren Rand der Markierung zu erkennen. Das Experiment ist erfolgreich, denn es zeigt, in welchem Bereich die Belichtungszeit eingestellt werden muss, um bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von 1 m/s klare scharfe Aufnahmen von Objekten zu erhalten.



Abb. 51: Framebild vom Telexperiment II; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 150 μ s

Aus dem Telexperiment II ergibt sich für die Entwicklung des Livebildkamarasystems folgende Schlussfolgerung. Nur durch den Einsatz einer Industrie-Kamera mit einstellbarer Belichtungszeit im μ s-Bereich kann man während des Fieren und Hieven der DOL-CTD gute Videoaufnahmen erhalten.

Telexperiment III „Größere Objektentfernung bei 150 μ s Belichtungszeit“

Im diesem Telexperiment soll der Einfluss der Entfernung zwischen Objekt und Kamera auf die Bildaufnahme untersucht werden. Dabei wird die Belichtungszeit von 150 μ s nicht verändert. Aus der Theorie folgt, dass sich mit zunehmendem Abstand zwischen Objekt und Linse und bei gleichbleibender Objekthöhe sowie gleichbleibender Bildweite (Abstand zwischen Linse und Bildsensor) die Bildhöhe des Objektes auf dem Bildsensor verkleinert. Der Einfluss der relativen Objektbewegung über den Bildsensor nimmt somit ab (Stemmer Imaging 2013). Für die Überprüfung dieser Theorie wurde der Aufbau modifiziert. Der Abstand zwischen Bildsensor und CD wurde dafür im ersten Schritt auf 300 mm und im zweiten auf 500 mm vergrößert (Abb. 52 und Abb. 53). Außerdem wurde das Kamerasichtfeld so verändert, dass sich nicht mehr die Markierung, sondern der Mittelpunkt der CD im Zentrum des Sichtfeldes befindet. Außerdem wurde die „PENTAX CCTV LENSES - C21211KP“-Optik mit Abstandsring gegen ein „PENTAX CCTV LENSES - C31630KP“-Objektiv ohne Distanzring ausgetauscht. Die Belichtungszeit von 150 μ s aus dem Telexperiment II wurde nicht verändert. Nach dem Anpassen der Blende und der Einstellungen für die software-gesteuerte Bildverstärkung wurden für beide Distanzen jeweils 60 Framebilder aufgenommen.



Abb. 52: veränderter Aufbau mit 300 mm Entfernung zwischen CD und Bildsensor

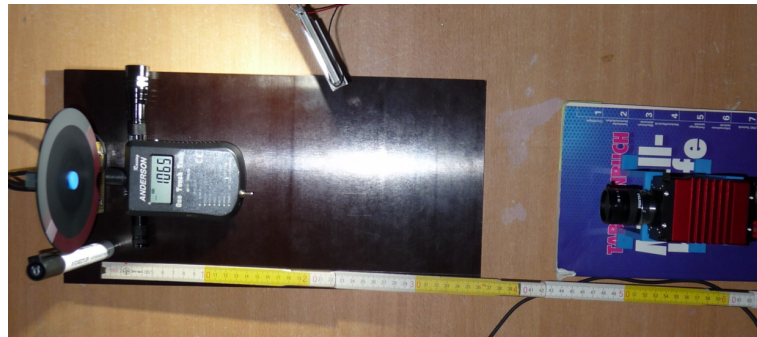


Abb. 53: veränderter Aufbau mit 500 mm Entfernung zwischen CD und Bildsensor

Ergebnis Teilerperiment III „Größere Objektentfernung bei 150 μ s Belichtungszeit“

In Abb 54 ist je eine Frameaufnahme für die beiden verschiedenen Distanzen dargestellt. Im linken Bild beträgt der Abstand zwischen CD und Bildsensor 300 mm und im rechten 500 mm. Im Vergleich zu Abb. 51 werden die Markierungen noch schärfer abgelichtet. Eine Bewegungsunschärfe ist in beiden Aufnahmen nicht zu erkennen. Beide Aufnahmen bestätigen die Theorie, dass mit zunehmender Entfernung zwischen Objekt und Kamera der Einfluss der Geschwindigkeit des Objekts auf die Bewegungsunschärfe abnimmt. Die Belichtungszeit der Kamera darf sich dabei nicht verändern.

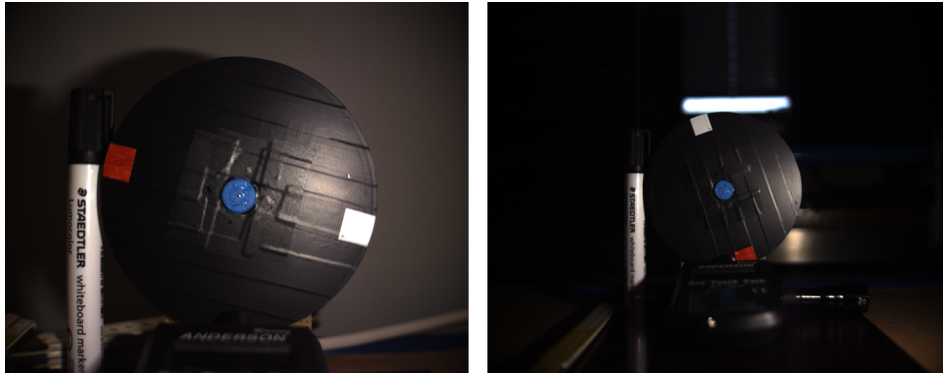


Abb. 54: Framebilder aus dem Teilerperiment III; CD-Rotation: 1090 U/min; Belichtungszeit: 150 μ s; links: 300 mm Abstand zwischen CD und Bildsensor; rechts: 500 mm Abstand zwischen CD und Bildsensor

2.5.3 Testbetrieb „Stenella“-CTD über LWL

In diesem Experiment ging es um die Überprüfung der Machbarkeit des Konzepts IV – modifizierte „SBE 11plus Deck Unit“ (Kap. 2.4.2). Gleichzeitig sollte der Aufwand zur Realisierung der Datenübertragung zwischen Operator-PC und Deck Unit ermittelt werden. Im Experiment kam keine Kamera zum Einsatz und somit erfolgte auch keine Übertragung von Bildaufnahmen. Es wurde lediglich die Datenübertragung zwischen Operator-PC und Deck Unit aufgebaut und an dieser Übertragungsstrecke Funktionstests durchgeführt. Der Testbetrieb erfolgte über einen Lichtwellenleiter mit der „Stenella“-CTD, einer „Seabird SBE 19plus CTD“ und der dazugehörigen „Seabird SBE 33 Carousel Deck Unit“. Zur DOL-CTD, die mit „Seabird SBE 11plus Deck Unit“ sowie „Seabird SBE 911plus CTD“ ausgerüstet ist, besteht zwar ein baulicher Unterschied, aber beide Systeme stammen von der gleichen Firma „Sea-Bird Electronics Inc.“. Beide Systeme nutzen für den Betrieb und zum Sammeln der Messdaten die gleiche Firmensoftware „SeasaveV7“ von „Sea-Bird“. Auch das Konzept ihrer Datenübertragung beruht auf dem gleichen System. Daher wurde der Testbetrieb mit der kleineren und handlicheren „Stenella“-CTD absolviert.

Versuchsaufbau

Für den Versuchsaufbau sind die LWL-Module, die im Testaufbau „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“ (Kap. 2.5.1) hergestellt wurden, wiederverwendet und angepasst worden. Dabei war es notwendig, die LWL-Deckeinheit und die LWL-Unterwassereinheit um jeweils ein weiteres Wandler-Modul zu erweitern. Bei den Wandlern handelt es sich zum einen um einen „EX-6010 Converter“ für den Einsatz und die Signalwandlung von Ethernet (RJ45) zu einer Seriellen-Schnittstelle RS-232 und einer Seriellen-Schnittstelle RS422/485. An diesem Wandler lassen sich auch noch 8 digitale Ein-/Ausgänge ansprechen (Abb. 55). Dieser Wandler wurde eingesetzt, weil seine digitalen Ein-/Ausgänge zur Ansteuerung von weiteren elektronischen Komponenten, wie Beleuchtung oder Ähnliches, genutzt werden könnten. Diese Konzept-Idee wurde in der hier vorliegenden Masterarbeit jedoch nicht weiter verfolgt. Der zusätzlich in die LWL-Unterwassereinheit integrierte Wandler (Abb. 56), ist ein „i-7188E8 Internet Communicator“ und stammt aus dem Bestandsmaterial der Messstation bei Spiekeroog des ICBM.

Für den Testbetrieb wurde dieser Wandler ausgeliehen. Mit ihm lassen sich, ebenfalls über Ethernet, sieben RS232-Schnittstellen und eine RS485-Schnittstelle betreiben. Nachdem die beiden zusätzlichen Wandler in die LWL-Telemetrie integriert wurden, erfolgte die Verdrahtung aller Komponenten der LWL-Deckeinheit und der LWL-Unterwassereinheit entsprechend dem im Anhang dargestellten Blockschaltplan.

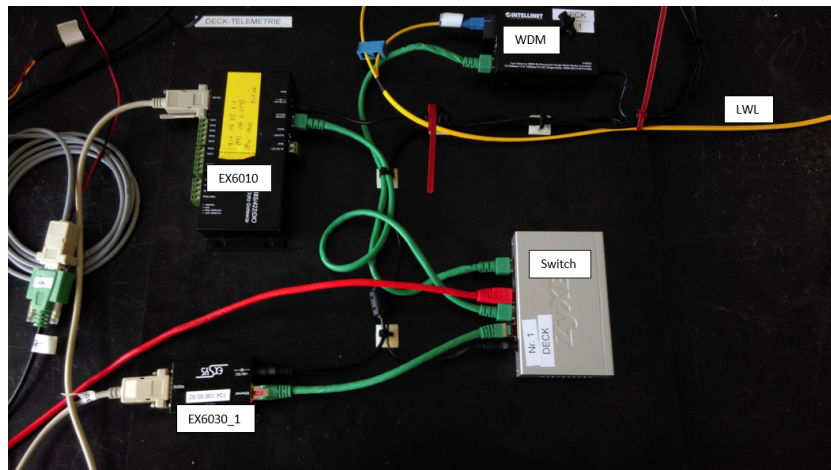


Abb. 55: Angepasste LWL-Deckeinheit mit zusätzlichen Wandler EX6010 für der Testbetrieb.

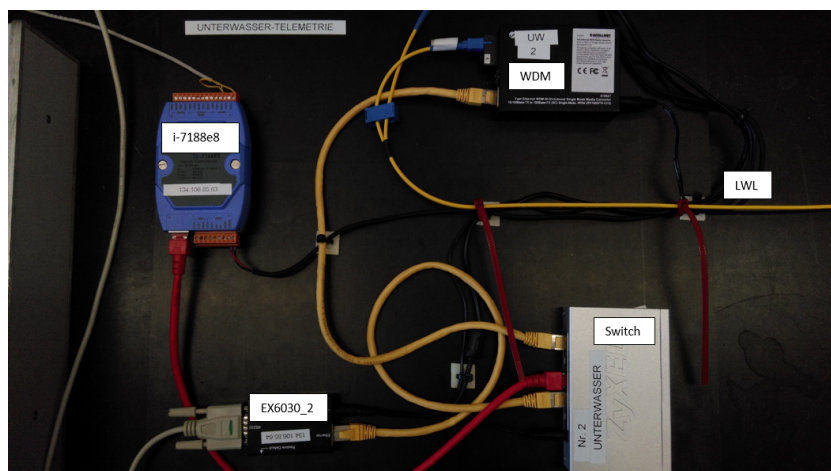


Abb. 56: Erweiterte LWL-Unterwassereinheit mit zusätzlichen Wandler i-7188e8 für den Funktionstest.

Nach Vorbereitung beider LWL-Einheiten wurde der Versuchsaufbau für den Betriebstest wie folgt aufgebaut. Abb. 57 zeigt den Aufbau der Deckeinheit, bestehend aus dem Operator PC, der GPS-Antenne und der LWL-Deckeinheit. Bei der GPS-Antenne handelt es sich um eine VDO WAAS "MUSHROOM" GPS Antenne, Modell: UXOGPS60VD1, der Firma „VDO Marine“. Die Antenne stellt die GPS-Daten über eine Serielle-Schnittstelle zur Verfügung. Der Aufbau der Unterwassereinheit wird in Abb. 58 und Abb. 59 ersichtlich. Die LWL-Unterwassereinheit und die „SBE 33 Deck Unit“ (Abb. 58) befinden sich im Testversuch im Labor, bei realem Einsatz dann unter Wasser. An der Deck Unit angeschlossen verläuft das Seekabel zur „Stenella“-CTD (Abb. 59).

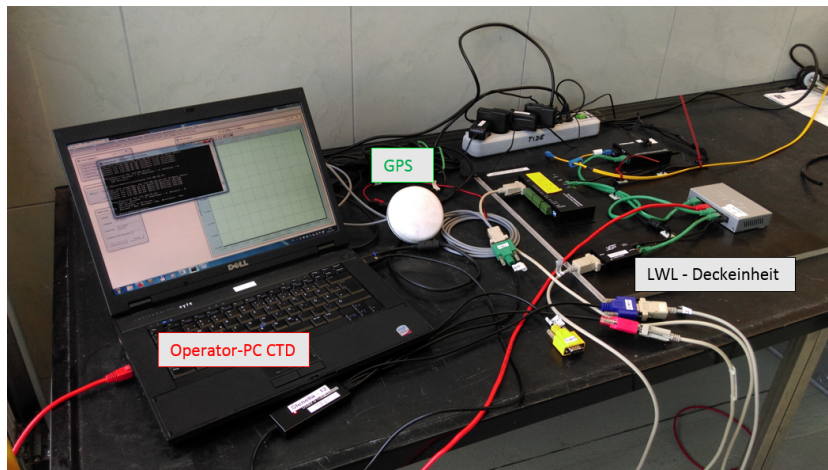


Abb. 57: Aufbau der Deckeinheit für den Betriebstest „Stenella-CTD via LWL“ mit Operator-PC CTD, GPS-Antenne und der LWL-Deckeinheit

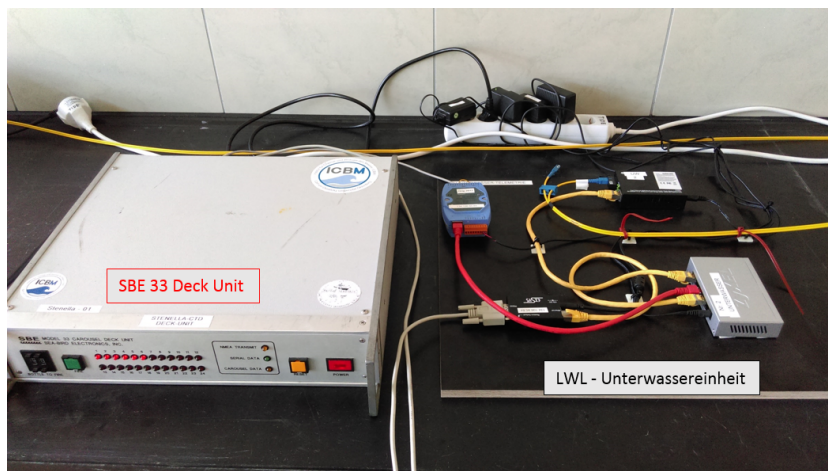


Abb. 58: Teil 1 der Unterwassereinheit für den Betriebstest „Stenella-CTD via LWL“ mit LWL-Unterwassereinheit und SBE 33 Deck Unit



Abb. 59: Teil 2 des Aufbaus der Unterwassereinheit für den Betriebstest „Stenella-CTD via LWL“, mit Unterwassereinheit und Deck Unit, Seekabel sowie „Stenella“-CTD

Durchführung

Bei der Absolvierung des Betriebstests der „Stenella“-CTD konnten die Erfahrungen über den Aufbau und die Inbetriebnahme eines Datenübertragungsnetzwerks mit Lichtwellenleiter angewendet werden. Nach technischem Aufbau des Versuches und Verdrahtung aller Komponenten erfolgte die Initialisierung des Datennetzwerkes in ähnlicher Weise wie beim Testaufbau zur „LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor“ (Kap. 2.5.1). Auch in diesem Versuchsaufbau wird das „Transmission Control Protocol“ (TCP) zur Datenübertragung verwendet. Die genaue Reihenfolge zur Initialisierung des Netzwerkes kann aus dem Protokoll, das zum Testbetrieb „Stenella“-CTD über LWL erstellt wurde, entnommen werden. Allerdings muss bei der Einrichtung der Datenübertragung zwischen dem jeweiligen Wandler für die Ansteuerung des Wasserkranzschöpfers zwischen Deckeinheit und Unterwassereinheit eine Besonderheit beachtet werden. Die Technologie zur Signalübertragung für die Auslöse-Kommandos sowie die Kommunikation zwischen Operator-PC und Auslöseeinheit basiert auf der FSK-Telemetrie. FSK steht für „Frequency Shift Keying“, bzw. „Frequenzumtastung“. Darunter versteht man die Übertragung von Digitalsignalen mittels periodisch sinusförmiger Schwingung, die als Trägerfrequenz zwischen einem Satz unterschiedlicher Frequenzen zur Übertragung der Signale verändert wird. „Sea-Bird“ verwendet diese Technologie mit der Übertragungsrate von 300 Baud (Moore 2017). Die Einheit „Baud“ steht für die Übertragung von 1 Bit pro Sekunde (Fischer 2002). Da diese Übertragungsrate nicht verändert werden kann, muss die Übertragungsstrecke zwischen dem Wandler in der LWL-Deckeinheit und dem Wandler in der LWL-Unterwassereinheit auf diese Datenrate eingestellt werden. Ansonsten werden die Signale zwischen PC, Deck Unit und Wasserkranzschöpfer nicht übertragen. Nach Einrichten der Datenübertragung wurde mit der „Stenella“-CTD ein Betriebstest durchgeführt. Dabei erfolgte auch ein Test der beiden Störfälle Stromausfall sowie Unterbrechung des Lichtwellenleiters.

Ergebnis

Versuchsaufbau und Betriebstest mit der „Stenella“-CTD lieferten folgende Ergebnisse. Es konnte die Datenübertragung über einen Lichtwellenleiter mit anschließendem Betriebstest erfolgreich durchgeführt werden. Dabei wurden mit diesem Versuchsaufbau einige CTD-Messungen mit simuliertem Auslösen der Schöpfer absolviert. Simuliertes Auslösen der Schöpfer heißt, dass zum Schonen des Materials nur die Arretierhaken in der Auslöseeinheit betätigt wurden. Die Schöpfer wurden nicht gespannt. Das Auslösen kann durch das „Klink“-Geräusch in der Auslöseeinheit vernommen und durch die gelösten Haken überprüft werden. Die Simulation von Störfällen, wie Stromausfall und Unterbrechung der LWL, ergaben das gleiche Verhalten, wie im generellen Aufbau und Betrieb ohne Lichtwellenleiter. Beide Unterbrechungen führten zum Abbruch der laufenden CTD-Messung und damit zum Verlust der Kommunikation zwischen Operator PC und CTD. Der durchgeführte Betriebstest bestätigt die Umsetzbarkeit des Konzepts IV – modifizierte „SBE 11plus Deck Unit“ (Kap. 2.4.2). Für die Realisierung der Datenübertragung ist keine große Anpassung an der Deck Unit notwendig. Über entsprechende Kabeldurchführungen könnten die benötigten Datenleitungen und Anschlüsse, „Serial

Data CTD“, „Carousel DATA“ und Seekabel, direkt verbunden werden. Da sich jedoch an der Deck Unit auch Bedienschalter für Ein- und Ausschaltvorgänge befinden, muss deren Betätigung oder Ansteuerung angepasst werden. Das kann aber beim Umbau der Einheit in ein Unterwassergehäuse realisiert werden.

2.6 Produkt-Recherche

Die Erarbeitung der Telemetrie-Konzepte mit den benötigten Komponenten (Kap. 2.4.1) sowie die Absolvierung der Laborexperimente (Kap. 2.5) dienen der Sammlung von Erkenntnissen und Erfahrungen für die Realisierung der Livebildkamera. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für eine erste Produkt-Recherche. Ziel der Recherche ist es, eine Produkt- und Preisübersicht über die relevanten Komponenten zur Realisierung des Livebildkamarasystems zu erhalten. An Hand dieser Produkt-Recherche soll auch eine erste, grobe Kostenkalkulation erstellt werden. Die Recherche beschränkt sich auf die Komponenten Kamera, Beleuchtung und Signalkonverter. Diese Komponenten bilden die Hauptbestandteile des Livebildkamera-systems, welches in die DOL-CTD implementiert werden soll. Nach Auswahl dieser Komponenten lässt sich anhand der benötigten Betriebsspannungen von Kamera, Beleuchtung und Signalkonverter ein Konzept für die Energieversorgung erarbeiten (Teilprojekt 4 der Entwicklung des Kamarasystems, Kap. 2.3).

2.6.1 Kameras

Der Markt für Kameras zur Aufnahme von Videos oder Bildern bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Auswahl. Für herkömmliche Kamerasysteme gibt es eine breite Auswahl von Firmen, wie Canon, Sony, Panasonic und etc. Auch im Bereich der Unterwasser- und Industriekameras existiert ein breites Angebot. Bei der Kamerarecherche wurde der Fokus auf einsatzbereite Unterwasser- und Industriekameras gelegt. Auf Unterwasserkameras, weil sie bereits über ein Druckgehäuse verfügen, das auf deren maximale Einsatztiefe ausgelegt ist. Somit können diese Kameras sofort zum Einsatz kommen und die Konstruktion sowie die Druckprüfung eines Unterwassergehäuses ist nicht mehr erforderlich. Auf Industriekameras fiel die Auswahl aufgrund der einstellbaren Belichtungszeit im μs -Bereich. Diese Belichtungszeit wird benötigt, um die Bewegungsunschärfe bei Aufnahmen mit Bewegungsgeschwindigkeiten von bis zu 1 m/s zu minimieren (Kap. 2.5.2).

Unterwasserkameras

Die Suche nach Firmen, die Unterwasserkameras vertreiben, begann mit einer Recherche auf der Webseite der Firma „Bornhöft Industriegeräte GmbH“. Diese Firma ist Vertriebspartner von Meerestechnik für eine Reihe von Firmen, die Equipment zur Meeresforschung herstellen und vertreiben. Durch die Arbeit am ICBM war diese Firma bereits bekannt. Die Recherche nach Unterwasserkameras beschränkte sich auf folgende Firmen:

- DeepSea Power & Light
- develogic GmbH
- Teledyne Marine
- MacArtney
- Imenco AS

„DeepSea Power & Light“ und „develogic GmbH“ waren durch die Arbeit mit der „Deep Ocean Camera“ bekannt. Das Beleuchtungssystem und das Batterie-Paket stammten von diesen beiden Firmen. „Teledyne Marine“ sowie „MacArtney“ wurden über die Webseite mit den Vertriebspartnern von „Bornhöft“ gefunden. Die norwegische Firma „Imenco AS“ konnte mittels Recherche im Internet ermittelt werden.

Die Kamera-Recherche ergab bei diesen 5 Firmen insgesamt 16 Kamerasysteme (s. Anh. S. 114). Dabei lagen die Suchkriterien bei diesen Firmen auf Unterwasserkameras mit möglichst hoher maximaler Einsatztiefe. Da die „DOL-CTD“ für den Einsatz auf bis zu max. 6000 m ausgelegt ist, sollte das Kamerasystem auch für diese maximale Tiefe ausgelegt sein. Bezüglich des von der Kamera zur Verfügung gestellten Video-Signaltyps analog oder digital, erfolgte bei der Recherche die Einschränkung auf die digitalen Video-Signaltypen. Die Auflistung aller 16 Unterwasserkameras ist im Anhang zu finden. Alle 16 Kameras lassen sich in zwei Kategorien einteilen. In Kameras mit festem Fokus und Kameras mit Zoom. Die meisten dieser Unterwasserkameras sind für die Aufnahme von Videos mit HD-Qualität ausgelegt und stellen Videoformate in dieser Bildqualität zur Verfügung. Die Preisspanne für Unterwasserkameras beginnt bei ca. 2.500,-€ und geht bis ca. 22.000,-€. Einfache Kameras ohne Zoom, wie die „Bowtech Miniatur HD Camera L3C“ von „Teledyne Marine“, zählen dabei zu den kostengünstigen Kameras. Top-Kameras mit Ultra-Weitwinkel, Zoom und Full HD-Auflösung, wie die „Bowtech Surveyor-HD-Pro“ ebenfalls von „Teledyne Marine“, zählen zu den teureren Modellen. Die Bildrate, die diese Unterwasserkameras besitzen, reicht von 25 fps über 30 fps bis zu 60 Bildern pro Sekunde. In der Auflistung der Kameras fehlen bei einigen Modellen die Angaben zu den Preisen. Da eine Masterarbeit in der Regel veröffentlicht wird, besteht das Interesse dieser Firmen, dass deren Preise nicht direkt bekannt gegeben werden.

Industriekameras

Die Recherche nach geeigneten Industriekameras erfolgte über einen der führenden Anbieter von Bildverarbeitungstechnologien für den Einsatz in Industrie und Wissenschaft in Europa, über die Firma „STEMMER IMAGING AG“ aus Puchheim. Auf deren Webseite wurden für die Recherche die unten aufgeführten Suchkriterien für Flächenkameras ausgewählt. Flächenkameras sind Kameras, die komplette Bilder direkt erfassen. Zeilenkameras erstellen die Bilder aus einzelnen Zeilen, Zeile für Zeile (Stemmer Imaging 2013).

Suchkriterien:

- Auflösung: 2 bis 10 Megapixel
- Schnittstelle: „GigE Vision“
- Spektrale Empfindlichkeit: „Colour“
- Shuttertyp: „Global Shutter/Prog scan“

Die Auswahl dieser Suchkriterien hat folgende Gründe. Der Bereich von 2 bis 10 Megapixel entspricht der Bildqualität in der Größe der horizontalen Auflösung. Dem Format „HD“ entsprechen 2 Megapixel. 10 Megapixel entsprechen der Qualität vom Format für „4k“ bzw. „Ultra HD“. Die Konfiguration „GigE Vision“ für die Schnittstelle der Kameras wurde gewählt, um die Kamera direkt, ohne weiteren Wandler, in die Datenübertragungstelemetrie einbinden zu können. „STEMMER IMAGING“ bietet Industriekameras mit unterschiedlicher Empfindlichkeit bezogen auf den spektralen Bereich des Lichts an, von schwarz-weiß über Farbe, Infrarot bis Ultraviolett. Für die Aufnahme von Farbbildern wurde daher die spektrale Empfindlichkeit für Farbe (Colour) ausgewählt. Um die Auswahl bei den Industriekameras auf Kameras mit programmierbarer Belichtungszeit zu begrenzen, erfolgt die Einstellung des Shuttertyps auf „Global Shutter/Prog scan“.

Die Recherche mit diesen Suchkriterien ergab insgesamt 12 unterschiedliche Kameramodelle, die wiederum mit verschiedenen Größen der Auflösung, Anzahl der Megapixel, erhältlich sind. Für eine erste Recherche und Kostenübersicht wurde diese Auswahl auf 4 Modelle begrenzt (s. Anh. S. 117)). Das sind die Modelle „Prosilica GT“ und „Manta“ von der Firma „Allied Vision“. Von dieser Firma wurde bereits die Kamera „Prosilica GT 3400C“ für die Laborexperimente im Rahmen dieser Masterarbeit verwendet. Die Wahl auf die Modelle „Genie TS“ und „Genie Nano“ von der Firma „Teledyne Dalsa“ ist gefallen, weil „Teledyne Dalsa“ und „Teledyne Marine“ jeweils Tochterfirmen von „Teledyne Technologies Inc.“ sind. Das kann bedeuten, dass in den Bowtech-Unterwasserkameras von „Teledyne Marine“ die Kameramodelle von „Teledyne Dalsa“ verwendet werden. Die Preise für diese Kamerasysteme reichen von ca. 500,-€ bis ca. 4.000,-€, ohne Optik. Die kostengünstigste Kamera ist die Industriekamera „Dalsa Genie Nano-C1920 IRC“ mit 477,-€. Die Kamera „AV GT3400C“ von „Allied Vision“, die bei den Laborexperimenten verwendet wurde, kostet dagegen 3.990,-€ und ist zugleich die teuerste von den ausgewählten Kameras. Beim Vergleich der Bildfrequenzen fällt auf, dass im Bereich der „Full HD“-Kameras und Kameras mit etwas höhere Auflösung die größte Auswahl an Bildraten vorhanden ist, von 9 bis 107 fps. Mit zunehmender Auflösungsqualität werden jedoch die Bildfrequenzen geringer. Die Kamerasysteme mit der Videoqualität „4k – Ultra HD“ verfügen über die geringsten Bildraten.

2.6.2 Unterwasserbeleuchtung

Die Recherche nach Beleuchtungssystemen für den Unterwassereinsatz erfolgte bei den gleichen Firmen wie bei der Recherche nach Unterwasserkameras. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Beleuchtungssysteme dieser Firmen auf die Kameras abgestimmt sind und somit beide Systeme im Paket von den gleichen Firmen bezogen werden können. Für das Livebildkamerasystem ist es aber auch möglich, die erforderlichen Schweinwerfer selbst zu entwickeln, zu bauen und vor dem Einsatz zu testen. Um diesen Aufwand zu minimieren, erfolgte die Recherche mit folgenden Auswahlkriterien:

- max. Tiefe 6.000 m
- Einstellbarkeit der Leuchtstärke (dimmbar)
- Eignung als Blitzeinheit (Triac)

Die Festlegung auf die maximale Einsatztiefe von 6.000 m erfolgte, wegen des geplanten Einbaus in die „DOL-CTD“, analog zur Unterwasserkamera. Zur Anpassung der Leuchtstärke an die vorherrschenden Sichtbedingungen unter Wasser und zur Vermeidung einer Überbelichtung des Kamerasichtfeldes sollte das Beleuchtungssystem dimmbar sein. Um die Beleuchtung exakt an die Belichtungszeit der Kamera anpassen zu können, besitzen spezielle Kameras die Fähigkeit, sogenannte Trigger-Signale bereitzustellen. Mit diesem Signal kann das Blitzlicht der Beleuchtungseinheit mit der Belichtungszeit der Kamera synchronisiert werden. Insgesamt wurden bei der Recherche 10 mögliche Beleuchtungssysteme bei den folgenden Firmen ermittelt:

- DeepSea Power & Light
- Teledyne Marine
- develogic GmbH
- imenco AS

Die Firma „MacArtney“ bietet kein Beleuchtungssystem für den Einsatz bis auf 6.000 m Tiefe an. Die detaillierte Auflistung der 10 Beleuchtungssysteme ist im Anhang beigefügt (s. Anh. S. 120). Die Leuchtleistung der ausgewählten Systeme reicht von 350 Lumen bis zu 20.000 Lumen. Die LED-Beleuchtung „SeaLite® Sphere SLS-3150“ von „DeepSea Power & Light“, die auch während der Expedition PS112 zum Einsatz kam, hatte zum Vergleich eine Leuchtleistung von 5.000 Lumen. Die Preisspanne für diese 10 Beleuchtungen beginnt bei ca. 1.400,-€ für ein System mit Leuchtstärken-Regulierung und ohne Trigger-Fähigkeit und reicht bis zu ca. 2.800,-€ für ein System, das über beide Funktionen verfügt.

2.6.3 Signalkonverter

Um Anbieter von Komponenten für die Realisierung der Datenübertragung zwischen den beiden Telemetrie-Einheiten „Deck“ und „Unterwasser“ zu finden, erfolgte zuerst eine Analyse des Schaltplanes der Unterwassereinheit der LWL-Telemetrie des Forschungsschiffs „FS Polarstern“. Im Schaltplan sind bei den verwendeten Komponenten die Firmen-Typ-Bezeichnungen vorhanden. Über diese Bezeichnungen konnte die Firma „Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company“ für die Übertragung

der Signale über den Lichtwellenleiter und die Wandlung in Ethernet gefunden werden. Komponenten der zweiten Firma „Advantech“ wandeln die Signale von Ethernet in analoge bzw. digitale Signale um und dienen zur Ansteuerung von digitalen Ein- und Ausgängen. Beide Firmen bieten jeweils verschiedene Module und Systeme für die Übertragung von Daten und Signalen an. Der Focus der Produkt-Recherche nach passenden Signalkonvertern lag auf dem Finden von Systemen, mit denen sich eine Komplettlösung für die Datenübertragung von Livebildkamarasystem und DOL-CTD sowie weitere freie Schnittstellen für den Einsatz von zusätzlichen Sensorsystemen realisieren lässt. Diese spezielle Recherche ergab eine sehr begrenzte Auswahl an Anbietern. Die Firma „Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company“ bietet entsprechende Komponenten für eine solche Komplettlösung an. Unter anderem kann sie spezielle Multiplexer liefern, mit denen eine Datenübertragung von ROV – Remotely Operated Vehicles realisiert werden kann. Die ROV-Multiplexer des Modells 907 und des Modells 914 sind für die Realisierung der Datenübertragung interessant (Abb. 60).

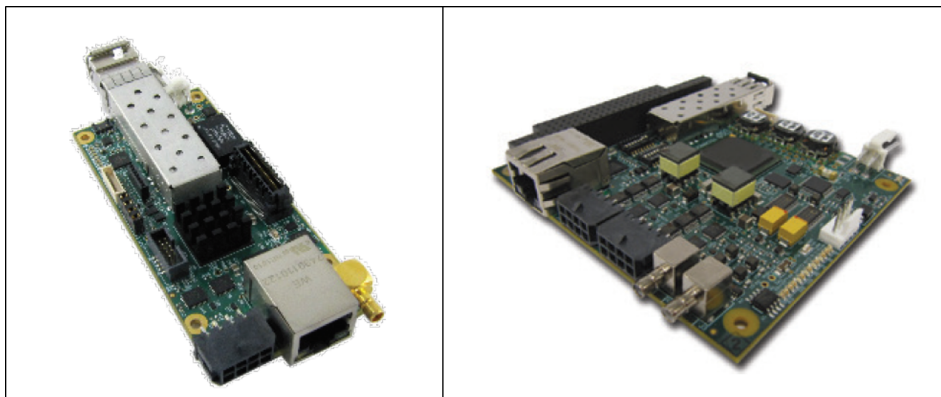


Abb. 60: Modellserien der ROV-Multiplexer von Focal (Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company 2019); Links: Modell 914; Rechts: Modell 907

Beide Modelle sind in kompakter Bauform als Platinenelemente ohne Gehäuse erhältlich. Die Größe des Modells 914 beträgt ca. 5 x 10 cm und dessen Höhe schwankt zwischen 15 bis 25 mm, je nach Ausstattung des Modells. Die Maße der Platine des Modells 907 beträgt ca. 10 x 10 cm. Die Höhe der verschiedenen Platinen dieses Modells schwankt ebenfalls zwischen 15 und 25 mm. Für die Übertragung von Daten und Signalen über Lichtwellenleiter und für die Signalumwandlung werden bei beiden Systemen verschiedene Kartentypen bereitgestellt. Durch die Verwendung dieser Module lässt sich die Datenübertragung entsprechend dem in Abb. 61 dargestellten Schema aufbauen.

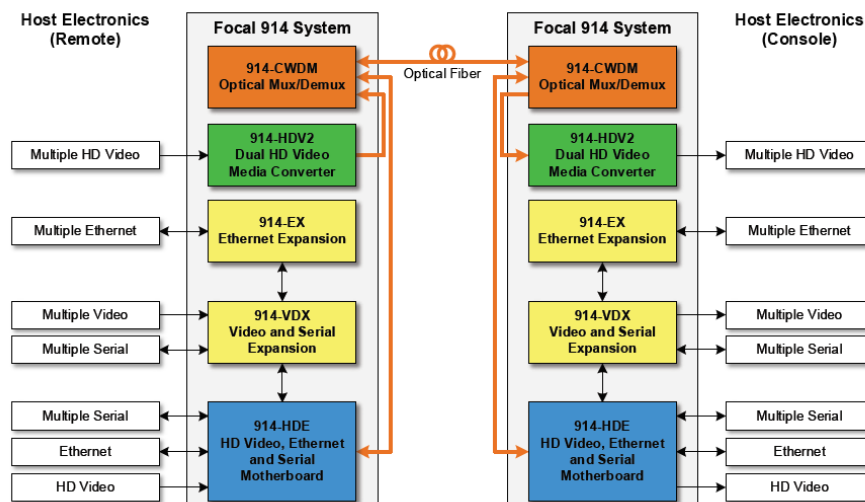


Abb. 61: Abbildung des schematischen Aufbaus einer Datenübertragung von HD Videos, Serieller Daten und Ethernet mit jeweils 5 verschiedenen Platinen vom Modell 914 (Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company 2019).

In der Abbildung ist die Umsetzung einer Datenübertragung für HD Videos, serielle Daten (Multiple Serial) und Ethernet mit der Modellserie 914 dargestellt. Die mit „Remote“ bezeichnete Telemetrie-Seite entspricht der Unterwasserseite. Die „Console“-Seite bildet die Deckeinheit ab. Die blau, gelb und grün gefärbten Elemente dienen zum Wandeln der Signale. Die beiden Module in der Farbe Orange sind für die Übertragung der Signale über den Lichtwellenleiter zuständig (Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company 2019). Der gleiche Aufbau lässt sich auch mit der Modellserie 907 realisieren. Bei beiden Serien lassen sich die Platinen übereinander stapeln. Dadurch kann eine kompakte Bauform der Datenübertragungstelemetrie erreicht werden. Laut Hersteller lassen sich beide Systeme miteinander kombinieren. Der Preis für die Platinen der Modelserie 914 beträgt je nach Konfigurierung 100,-€ bis 3500,-€. Die Platinen der Serie 907 besitzen einen Preis von 100,-€ bis 5300,-€.

2.7 Empfehlung zur Realisierung der Livebildkamera und DOL-CTD

Der Einsatz der „Deep Ocean Camera“ während der Durchführung von CTD-Profil-Messungen bei der Erforschung von Krill und Salpen im Südpolarmeer bildet die Grundlage für die Entwicklung eines Livebildkamerasystems, mit dem die DOL-CTD für zukünftige Forschungen ausgerüstet werden soll. Die Bewertung der erreichten Forschungsergebnisse aus der Polarsternexpedition PS112 fließen in die Konzept-Entwicklung der Livebildkamera ein. Aufgrund der Recherchen und Experimente im Zusammenhang mit der vorliegenden Masterarbeit lässt sich für die Realisierung der Livebildkamera folgende Empfehlung formulieren.

2.7.1 Empfehlung zur Realisierung des Telemetrie-Aufbaus

Für die Übertragung von Videosignalen ist die verwendete Technologie in der DOL-CTD nicht ausgelegt. Sie kann lediglich Messdaten der CTD und Auslöse-Kommandos für die Wasserschöpfer übermitteln. Zur Übertragung der Farbvideosignale von Livebildaufnahmen ist die Verwendung der Lichtwellenleiter-Technologie erforderlich. Nach Recherche von relevanten Komponenten für die Realisierung einer Datenübertragung über einen Lichtwellenleiter, wurden im Kap. 2.4.2 vier mögliche Konzepte für die Umsetzung der Telemetrie von Livebildkamera und DOL-CTD erarbeitet. Diese vier Konzepte werden im Folgenden kurz dargestellt und bezüglich ihrer Umsetzbarkeit sowie ihrer Vor- und Nachteile bewertet (Tab. 9).

Tab. 9: Bewertung der 4 Telemetrie-Konzepte für Livebildkamera und DOL-CTD

| | Beschreibung | Anpassung DOL-CTD | Vorteile | Nachteile |
|--|---|---|---|--|
| <u>Konzept I</u> Akku-Betrieb CTD u. Kamera getrennt | <ul style="list-style-type: none"> Stromversorgung von Kamera, Beleuchtung und Unterwasser-Telemetrie über Akku Video- u. Steuersignale für Kamera über LWL des LWL/KOAX-Kabel CTD-Versorgung und Messdaten erfolgt über KOAX des LWL/KOAX-Kabel | Keine | <ul style="list-style-type: none"> Trennung der Datenströme Forschung mit oder ohne Kamera (LWL/KOAX- bzw. KOAX-Kabel) | <ul style="list-style-type: none"> Einsatzzeit begrenzt durch Akkusystem Zulastliches Gewicht durch Akkusystem |
| <u>Konzept II</u> Stromversorgung über DOL-CTD | <ul style="list-style-type: none"> Stromversorgung der gesamten Unterwassereinheit über SBE 11plus Deck Unit CTD-Daten über KOAX Video- u. Steuersignale für Kamera über LWL | Stromversorgung von SBE 11plus Deck Unit sowie Netzteil von SBE 9plus CTD | <ul style="list-style-type: none"> Keine | <ul style="list-style-type: none"> Umrüstung des Telemetrie-Aufbaus von momentaner DOL-CTD |
| <u>Konzept III</u> Übertragung von Daten und Strom getrennt | <ul style="list-style-type: none"> Stromversorgung durch Bordnetz vom Forschungsschiff via KOAX Datenübertragung von Kamera und CTD via LWL | Anpassung SBE 9plus CTD | <ul style="list-style-type: none"> Keine | <ul style="list-style-type: none"> Umrüstung der Telemetrie von momentaner DOL-CTD speziell die CTD |
| <u>Konzept IV</u> Modifizierte SBE 11plus Deck Unit | <ul style="list-style-type: none"> Stromversorgung durch Schiffsbordnetz via KOAX Datenübertragung von Kamera und CTD via LWL | Modifizierung einer zusätzlichen separaten SBE 11plus Deck Unit | <ul style="list-style-type: none"> Telemetrie-Aufbau der momentan vorhandenen DOL-CTD bleibt bestehen Forschung ohne Kamera möglich (KOAX-Kabel) Forschung mit Kamera möglich (LWL/KOAX-Kabel) | <ul style="list-style-type: none"> Keine |

Das Konzept I *„Akku-Betrieb, CTD und Kamera getrennt“* beruht auf der Realisierung der Energieversorgung für die Livebildkamera durch ein Akkusystem. Das bedeutet, die Versorgung der kompletten Unterwassereinheit ohne DOL-CTD, bestehend aus Unterwasser-Telemetrie, Kamerasystem und Beleuchtungssystem, wird für die Zeitdauer von mindestens einer CTD-Profilmessung bis in 6.000 m Tiefe, ca. 4 bis 5 Stunden, durch ein entsprechendes Akkusystem sichergestellt. Vorteil dieses Konzepts besteht darin, dass die Datenübertragung der CTD über das Koaxial-Kabel des Windensystems von der Datenübertragung der Kamera über den Lichtwellenleiter des Windensystems getrennt ist. Desweiteren bleibt der momentane Telemetrie-Aufbau der DOL-CTD bestehen. Die CTD kann somit für Forschungen ohne Kamerasystem an normalen Einleiter-Kabeln von Forschungsschiffen betrieben werden. Für den Einsatz mit Kamerasystem erfolgt die Verwendung der Windensysteme mit LWL/KOAX-Kabeln. Nachteil dieses Konzept ist die begrenzt Einsatzzeit des Kamerasystems aufgrund der Akkukapazität und die benötigte Ladezeit des Akkusystems. Während der Ladezeit kann das System nicht verwendet werden. Außerdem bedeutet das Gewicht des Akkusystems eine zusätzliche Belastung der Statik der momentanen DOL-CTD. Sollte die maximal zulässige Tragfähigkeit der jetzigen DOL-CTD überschritten werden, muss bei der Verwendung des Kamerasystems mit Akkusystem das Gesamtgewicht der CTD reduziert werden. Ohne Anpassung müsste zum Beispiel die Anzahl der Flaschen des Wasserschöpfers verringert werden.

Im Konzept II *„Stromversorgung über DOL-CTD“* erfolgt die Versorgung der gesamten Unterwassereinheit durch die Stromversorgung der SBE 11plus Deck Unit. Da das momentane Netzteil nicht für die zusätzliche Belastung ausgelegt ist, muss dieses an den neuen Strombedarf angepasst werden. Diese Leistungsanpassung erfordert auch eine Anpassung des Netzteils beziehungsweise der Anschlüsse in der SBE 9plus CTD zur Vermeidung von Schäden an der CTD. Die Vorteile des Konzepts II liegen in der Trennung des Datenstromes der CTD über das Koaxial-Kabel vom Datenstrom der Kamera über den Lichtwellenleiter. Die DOL-CTD wird durch kein zusätzliches Akkusystem statisch belastet. Der Nachteil besteht darin, dass der momentane Telemetrie-Aufbau der DOL-CTD für dieses Konzept umgerüstet werden muss. Diese Umrüstung erfordert eine genaue Absprache mit der Engineering Abteilung von „Sea-Bird Scientific“ zur Vermeidung von möglichen Schäden an der Telemetrie der DOL-CTD.

Beim Konzept III *„Übertragung von Daten und Strom getrennt“* liefert das Bordnetz des Forschungsschiffs den notwendigen Strom zur Versorgung der gesamten Unterwassereinheit. In diesem Konzept ist die Energieversorgung über das Koaxial-Kabel der Winde von der Datenübertragung über den Lichtwellenleiter der Winde getrennt. Für den Einsatz der DOL-CTD ist die Verwendung der SBE 11plus Deck Unit nicht erforderlich. Beide PCs für CTD und Kamera werden direkt an die LWL-Unterwassereinheit angeschlossen. In der LWL-Unterwassereinheit wird zur Versorgung aller Komponenten die Übertragungsspannung auf die jeweilige Betriebsspannung umgewandelt. Die Daten und Signale vom Lichtwellenleiter werden mittels entsprechendem Konverter umgewandelt und an CTD und Kamera weitergeleitet. Bei diesem Konzept muss die SBE 9plus CTD für die Verwendung der DOL-CTD angepasst werden. Optimal wäre es, den zurzeit nicht verwendeten Anschluss „JT4“ anzupassen und den Anschluss „JT1“ nicht zu verändern und wie bisher für das Anschließen des Seekabels zu nutzen. Dies bedeutet, die Telemetrie der DOL-CTD

muss nur zum Teil in der CTD umgerüstet werden. Auch bei der Realisierung des Konzept III ist eine Kontaktierung von „Sea-Bird Scientific“ erforderlich.

Das Konzept IV „*modifizierte SBE 11plus Deck Unit*“ basiert auf dem gleichen Prinzip wie das Konzept III. Die Energieversorgung wird durch das Bordnetz des Forschungsschiffs über das Koaxial-Kabel gewährleistet und auf die jeweilige Betriebsspannung in der Unterwassereinheit umgewandelt. Die Datenübertragung für CTD und Kamera erfolgt über die LWL-Telemetrie. Der Telemetrie-Aufbau der momentanen DOL-CTD für die Übertragung von Messdaten der CTD und die Auslöse-Kommandos der Wasserschöpfer bleiben unverändert. Damit die DOL-CTD auch über den Lichtwellenleiter betrieben werden kann, wird eine zusätzliche SBE 11plus Deck Unit für den Betrieb in einem Unterwassergehäuse umgebaut und angepasst. Vorteil dieses Konzepts ist, dass die momentane DOL-CTD für die Forschung ohne Kamera unverändert bleibt. Sie bleibt für den normalen Betrieb über Windensysteme mit Einleiterkabel einsatzbereit. Für Forschungen mit Kameraeinsatz erfolgt der Einsatz über Windensysteme mit LWL- / Koaxial-Kabel und die Verwendung der modifizierten SBE 11plus Deck Unit. Die Anpassung der Deck Unit sollte ebenfalls in Zusammenarbeit mit der Engineering Abteilung von „Sea-Bird Scientific“ stattfinden. Die reguläre Deck Unit besitzt momentan folgende Maße: 13 cm Höhe, 44,4 cm Breite und 37,5 cm Tiefe (Moore 2017). Für den Einsatz unter Wasser sollte nach Möglichkeit die Dimension der zusätzlichen Deck Unit verkleinert werden.

Telemetrie-Empfehlung

Anhand der Vor- und Nachteile der vier Konzepte, Kap. 2.7.1, ergibt sich, dass Konzept IV die optimale Lösung für die Realisierung der Datenübertragung von CTD und Kamera ist. In Abb. 62 und Abb. 63 ist der schematische Aufbau für die Deck- und die Unterwassereinheit auf Basis von Konzept IV dargestellt.

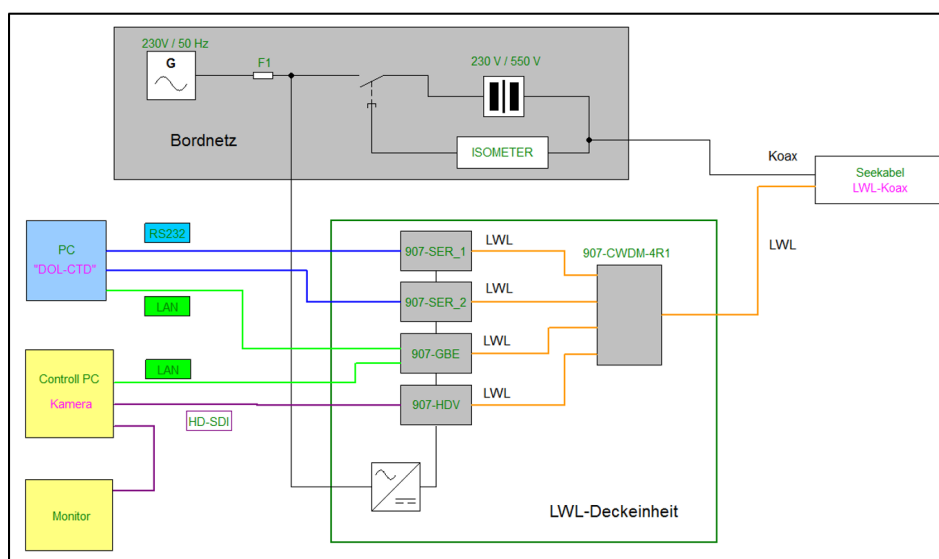


Abb. 62: Schematischer Aufbau der Umsetzung der Deckeinheit auf Basis von Konzept IV mit FOCAL ROV Multiplexer Modell 907

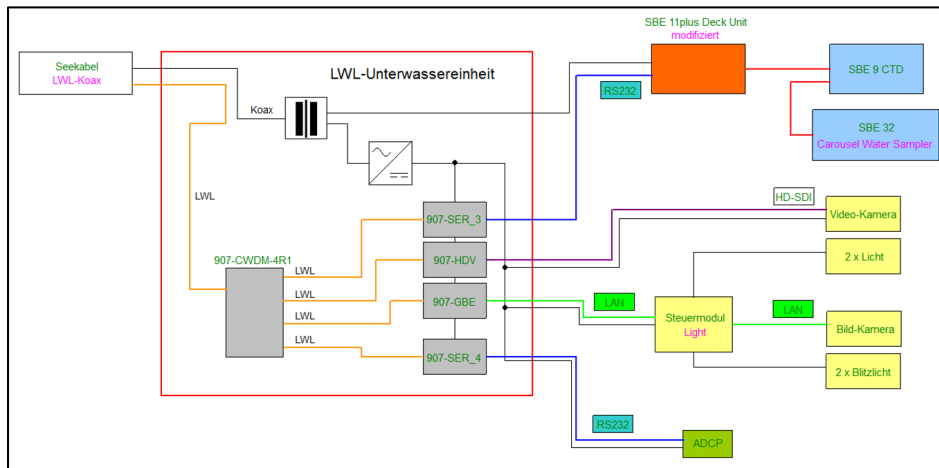


Abb. 63: Blockschaltplan über die Realisierung der Unterwassereinheit auf Basis von Konzept IV mit FOCAL ROV Multiplexer Modell 907 und modifiziert SBE 11plus Deck Unit

Zur Übertragung von Messdaten und Videosignalen werden in diesem Konzept in beiden Einheiten die FOCAL ROV Multiplexer des Modells 907 verwendet. Der gleiche Aufbau lässt sich auch mit Multiplexer des Modells 914 realisieren. Laut Hersteller lassen sich beide Modelltypen miteinander kombinieren (Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company 2019). In diesem Konzept ist der Telemetrie-Aufbau nicht nur für die Übertragung von CTD-Messdaten und Videosignalen ausgelegt, sondern auch für den Einsatz von ADCPs. ADCP steht für „Acoustic Doppler Current Profiler“. Das ist ein System zur akustischen Messung von Strömungen in Wassermassen, wie Flüssen, Seen oder auch im Ozean. Am ICBM besteht das Interesse, für die Meeresforschung solche Systeme an der DOL-CTD zum Einsatz zu bringen.

Für die Signalübertragung von Kamera, CTD und ADCP kommt ein sogenannter 4-Kanal-CWDM-Wandler zum Einsatz. Mit diesem Wandler werden die Signale voneinander getrennt auf 4 verschiedenen Wellenlängen übertragen. Multiplexer mit den Bezeichnungen „907-SER_X“ werden zur Wandlung der Datensignale der seriellen Schnittstellen RS232/422 und RS485 benötigt. Das Modul „907-HDV“ dient zur Übertragung von HD-Videosignalen der Videokameras, wie HD/SD-SDI. Zur Datenübertragung über Ethernet und „GigE Vision“, die die Industriekameras benötigen, wird das Modul „907-GBE“ eingesetzt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in den beiden Blockschaltpläne jeweils der Übertragungsweg von einer Schnittstelle eingezeichnet. Die Module sind je nach Konfiguration jedoch in der Lage, auch mehrere Schnittstellen desselben Typs zu übertragen. Der Einsatz des ADCPs, mit Starten und Beenden der Messungen, findet gleichzeitig über den PC der DOL-CTD statt.

2.7.2 Empfehlung zur Verwendung von Kamera und Beleuchtung

Kapitel 2.6 enthält die Auflistung der Kameras und Unterwasserbeleuchtungen, die im Ergebnis der Recherche für das Livebildkamarasystem infrage kommen. Diese Auflistung lässt sich mithilfe der Erkenntnisse aus der Auswertung der Videoaufnahmen von der „Deep Ocean Camera“ und den Erfahrungen aus den durchgeführten Experimenten weiter eingrenzen.

Kamera

Damit das Livebildkamarasystem für verschiedene Forschungsfragen eingesetzt werden kann, muss das System flexibel einsetzbar sein. Das bedeutet insbesondere, dass die Kamera über eine Zoomfunktion an die unterschiedlichen Sichtweiten im Ozean angepasst werden kann. Durch einen verstellbaren Fokus lässt sich die Bildschärfe auf verschiedene Entfernungen einstellen. Laut den Spezifikationen aus den Datenblättern der Unterwasserkameras erfüllen von den 16 Kameras nur sieben diese Anforderung. Die Aufnahme von scharfen Bildern bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten erfordert außerdem eine einstellbare Belichtungszeit. Von den Unterwasserkameras erfüllt diese Anforderungen nur noch eine Kamera, die „Bowtech HD Zoom IP“ von Teledyne Marine. Die Belichtungszeit dieser Kamera kann im Bereich von 100 μ s bis 1 s eingestellt werden.

Die Unterwasserkameras liefern maximal die Auflösungsqualität Full-HD. Um Aufnahmen mit höherer Auflösungsqualität als Full-HD zu erhalten, muss eine Industriekamera mit der gewünschten Auflösung eingesetzt werden. Allerdings muss bei Industriekameras mit sehr hoher Bildauflösung beachtet werden, dass die erreichbare Bildrate viel geringer als bei den Unterwasserkameras mit geringerer Bildauflösung ist. Von den vier unterschiedlichen Industriekameras, die in der Recherche ausgewählt wurden, sind nur zwei „Auto-Iris“ fähig. Das bedeutet, an die Kamera lassen sich regelbare Objektive direkt anschließen. Zoom, Fokus und Blende können ohne weiteres Regelsystem angepasst werden. „Auto-Iris“ fähig sind die beiden Industriekameras „Prosilica GT“ von Allied Vision und „Genie TS“ von Teledyne Dalsa.

Beleuchtung

Wie bei der Kamera sollte auch die Unterwasserbeleuchtung für einen flexiblen Forschungseinsatz anpassbar sein. Das heißt, die Leuchtstärke muss dimmbar sein, um Überbelichtung im Kamerasichtfeld zu vermeiden. Damit die Unterwasserbeleuchtung auch als Blitzlicht für den Einsatz mit einer Industriekamera verwendet werden kann, sollten sie „Trigger“ fähig sein. In der Recherche wurden 10 dimmbare Leuchtsysteme ermittelt. Von diesen 10 Systemen verfügen aber nur 3 Systeme über die zusätzliche „Trigger“-Eigenschaft. Da aber die anderen 7 Systeme über ein separates Steuersystem auch als Blitzlicht eingesetzt werden könnten, wurden alle 10 Leuchtsysteme in der Recherche aufgelistet. Bei den 3 Leuchtsystemen mit Dimm- und Trigger-Funktion handelt es sich um das Model „LED SeaLite®“ und das Model „SeaLite® Sphere 200 Series“ von DeepSea Power & Light. Auch das Model „SeaLED 300 / 300 L“ von Imenco AS verfügt über beide Besonderheiten. Das Model „SeaLite® Sphere 200 Series“ ist eine

Weiterentwicklung des Leuchtsystem „SeaLite® Sphere 150 Series“, das für die „Deep Ocean Camera“ verwendet wird. Beim Umgang mit diesem Leuchtsystem existieren bereits Erfahrungen aus dem Praxisssemester im Bachelorstudium beim Forschungsinstitut „Senckenberg am Meer“ in Wilhelmshaven und durch die Expedition PS112. Deshalb wird das Model „SeaLite® Sphere 200 Series“ für die Verwendung im Livebildkameranasytem empfohlen. Auf Grund der starken Dämpfung des Lichts beim Durchdringen des Meerwassers, sollten anstelle von nur zwei Scheinwerfern wie bei der „Deep Ocean Camera“ eventuell vier Scheinwerfer verwendet werden. Zwei Leuchtsysteme mit etwas geringerer Leuchtstärke werden rechts und links der Kamera befestigt und dienen der gleichmäßigen Ausleuchtung des Nahbereichs. Zusätzlich können sie mit maximaler Stärke als Blitzlicht eingesetzt werden. Die beiden anderen Leuchtsysteme mit höherer Leistung müssten auf einen entfernten Bereich im Sichtfeld ausgerichtet sein.

2.7.3 Kostenkalkulation zur Konzeptempfehlung

Für die weitere Entwicklung und Realisierung des Livebildkameranasytems ist es notwendig, eine Kostenkalkulation zu erstellen. Auf Basis dieser Kalkulation ergibt sich der benötigte Finanzrahmen für das Entwicklungsprojekt. Die Kalkulation ist auch notwendig, um mögliche Fördergelder beantragen zu können. Anhand der Empfehlungen für das Telemetrie-Konzept sowie entsprechender Komponenten zur Realisierung des Livebildkameranasytems, lässt sich eine erste Kostenkalkulation erstellen. Für die Realisierung des Systems gibt es aufgrund der in der vorliegenden Masterarbeit gewonnen Erkenntnisse zwei Varianten für die Umsetzung. Beide Varianten sind in Tab. 10 dargestellt. Sie unterscheiden sich nur beim Wandler für Kamera sowie bei der Kamera. Zum besseren Verständnis sind die Unterschiede farbig gekennzeichnet.

Tab. 10: Darstellung der beiden Realisierungsvarianten von Livebildkamera und DOL-CTD

| Telemetrie-Konzept | IV (Variante 1) | IV (Variante 2) |
|---|--|--------------------------|
| Wandler-Typ zur LWL-Übertragung | CWDM 4-Kanal | |
| Wandler für DOL-CTD | 2x RS232, CTD-Data und CAROUSEL-DATA (300 Baus-Rate fix) | |
| Wandler für Kamera | HD/SDI-SDI | GigE Vision |
| Kamera | HD Zoom IP - Bowtech | AV GT2460C |
| Beleuchtung Nahbereich + Blitz (< 1,5 m) | SeaLite Sphere | |
| Beleuchtung Fernbereich | SeaLite LSL | |
| Wandler für 2 ACDP | 2x RS232 vermutlich | |

Ausgehend von der Konzeptempfehlung für den Aufbau der Telemetrie zur Datenübertragung auf Basis des Telemetrie-Konzept IV „Modifizierte SBE 11plus Deck Unit“, wird als Wandler-Typ zur Signalübertragung via LWL ein 4-Kanal CWDM-Wandler eingesetzt.

Damit lassen sich die Daten von 4 Sensorsystemen getrennt voneinander übertragen. Für den Betrieb der DOL-CTD sind 2 serielle Schnittstellen des Typ RS232 erforderlich, wobei eine davon für die Übertragung der „CAROUSEL-DATA“ (SBE 33 Deck Unit) bzw. „MODEM-CHANNEL“ (SBE 11 Deck Unit) des Kranzwasserschöpfers mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 300 Baud geeignet sein muss. Diese Eingrenzung ist Hardware bedingt und kann nicht verändert werden. Das Kamerasystem lässt sich mit der Unterwasserkamera „HD Zoom IP - Bowtech“ von Teledyne Marine oder auch mit der Industriekamera „AV GT2460C“ von Allied Vision aufbauen. Dem entsprechend werden Wandler für die Übertragung von „HD/SDI-SDI“ oder „GigE Vision“ benötigt. Das Beleuchtungssystem besitzt bei beiden Varianten denselben Aufbau. Als Blitzeinheit und für den Nahbereich von ca. 1,5 m vor der Kamera werden zwei „SeaLite® Sphere“-Scheinwerfer verwendet. Zur Ausleuchtung des entfernteren Kamerasichtfeldes kommen zwei „SeaLite® LSL“-Scheinwerfer zum Einsatz. Es ist auch möglich, vier gleiche Scheinwerfer zu verwenden. Dadurch lassen sich bei Defekten alle Scheinwerfer untereinander austauschen. Für den Betrieb der beiden ADCPs, die die Wassersäule oberhalb und unterhalb der DOL-CTD abdecken und dort die Meeresströmung messen, sind Wandler zur Übertragung von zwei vermutlich seriellen Schnittstellen des Typs RS232 erforderlich.

Für beide Varianten ist in Tab. 11 die jeweilige Kostenkalkulation für die bereits bekannten und benötigten Komponenten dargestellt. Als Wandler werden ausschließlich die ROV Multiplexer von „Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company“ aufgeführt. Aufgrund der kompakten Bauform sind die Module des Typs 914 vorwiegend für die Verwendung in der LWL-Unterwassereinheit (UW) vorgesehen. Die Platinen des Modells 907 werden hauptsächlich für den Einsatz in der LWL-Deckeinheit (Deck) verwendet. Zur Vereinfachung der Kostenkalkulation wurde für beide Modelle der jeweilige maximal Preis verwendet. Diese hohen Kosten pro Platine sind für die speziellen druckresistenten Modellvarianten notwendig. Diese Platinen sind für den Einsatz in druckneutralen Unterwassergehäusen geeignet, die zum Beispiel mit Öl gefüllt sind. Über eine Membran wird der Tiefendruck des Wassers auf den Innendruck des Gehäuses übertragen. Für die Deckeinheit werden diese speziellen Platinen nicht benötigt. Deshalb kann von einer Kostenreduzierung ausgegangen werden. Für eine genaue Kostenkalkulation muss jedoch für jede Platine, die für die Realisierung benötigt wird, die genaue Spezifikation bekannt sein. Da zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht alle Systemanforderungen bezüglich der Datenübertragung in vollem Umfang vorliegen, wurde in Tab. 11 für die Berechnung der Gesamtsumme jeweils der maximale Preis der Einzelkomponenten angesetzt. Für die Variante 1 ergibt sich auf dieser Basis eine Gesamtsumme von ca. 61.200,-€ für die benötigten Komponenten. Die Variante 2 ist etwas günstiger mit ca. 55.400,-€. In dieser ersten Kalkulation sind noch nicht die Kosten für die Druckgehäuse, alle Komponenten zur Realisierung der Energieversorgung und Energieübertragung sowie die benötigten Unterwasserkabel und Steckverbindungen für die gesamte Unterwassereinheit berücksichtigt. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass für die vollständige Realisierung des Livebildkamerasystem Gesamtkosten von ca. 100.000,-€ einzuplanen sind.

Tab. 11: Kostenkalkulation über die bekannten Komponenten zur Realisierung des Livebildkameranagementsystems

| Posten | Beschreibung | Einzelpreis | Variante 1 | Variante 2 |
|--------|---|--|---|--------------------------|
| 1 | LWL-Übertragung 2x CDWM-Wandler 4-Kanal 1x Model 907-CWDM-4R1 (Deck) 1x Model 914-CWDM-4R1 (UW) | 894,- bis 3.950,- € 894,- € | 3.950,00 € 894,00 € | 3.950,00 € 894,00 € |
| 2 | Übertragung DOL-CTD 2x RS232 1x Model 907-GEM (Deck) 1x Model 914-R/C (UW) | 3.067,- bis 5.284,- € 1.762,- bis 3.410,- € | 5.284,00 € 3.410,00 € | 5.284,00 € 3.410,00 € |
| 3 | Kamerasystem Unterwasserkamera HD Zoom IP - Bowtech 2x Wandler "HD/SDI-SDI" 2x Model 914-HDV2 (Deck + UW) Industriekamera AV GT2460C 2x Wandler "GigE Vision" 1x Model 907-GEM (Deck) 1x Model 914-GEB (UW) | 11.000,- € 227,- bis 1.706,- € 1.900,- € ohne Optik 3.067,- bis 5.284,- € 91,- bis 1.435,- € | 11.000,00 € 3.412,00 € 5.284,00 € | 1.900,00 € 1.435,00 € |
| 4 | Übertragung ADCPs 2x RS232 1x Model 907-GEM (Deck) 1x Model 914-R/C (UW) | 3.067,- bis 5.284,- € 1.762,- bis 3.410,- € | 5.284,00 € 3.410,00 € | 5.284,00 € 3.410,00 € |
| 5 | Modul für Diagnose Datenübertragung 1x Model 907-DIAG-E (Deck) | 98,- bis 903,- € | 903,00 € | 903,00 € |
| 6 | Module zur Stromversorgung von 907 & 914 2x Model 907-DC-24V (Deck + UW) | 903,- bis 1.127,- € | 2.254,00 € | 2.254,00 € |
| 7 | Beleuchtung Blitz und Nahbereich 2x LED SeaLite® Sphere 200 Series SLS-6200 Fernbereich 2x LED SeaLite® LSL-2000 | 2.000,- € 2.800,- € | 4.000,00 € 5.600,00 € | 4.000,00 € 5.600,00 € |
| 8 | Separate SBE 11plus Deck Unit für Umbau | 11.770,- € | 11.770,00 € | 11.770,00 € |
| | | Summe | 61.171,00 € | 55.378,00 € |

2.8 Ausblick auf weiterführende Entwicklungsschritte des Livebildkamarasystems

Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführte Entwicklungsarbeit bildet die Basis für den Aufbau eines Livebildkamarasystems. Es sind aber noch weitere Schritte erforderlich. Zur Entscheidung, ob eine Industriekamera oder eine Unterwasserkamera verwendet werden soll, sind weitere Tests notwendig. Dazu sollten von den bereits vorausgewählten Komponenten aus der Produkt-Recherche (Kap. 2.6) Leihgeräte beschafft werden. Mit diesen Geräten müssen Unterwassertests unter realen Umweltbedingungen durchgeführt werden. Gleiches gilt auch für das Beleuchtungssystem, dessen Ansteuerung sowie die Regulierung der Beleuchtungsstärke. Nach Festlegung auf ein Kamerasystem und die Art des Beleuchtungssystems muss als nächster Schritte die Auslegung und Entwicklung der Systemversorgung für die gesamte Unterwassereinheit erfolgen. Dabei geht es um den Strombedarf von CTD, Kamera, Beleuchtungssystem, Unterwasser-Telemetrie sowie zwei zusätzlicher ADCPs. Diese Komponenten müssen auch gegen elektrische Störungen abgesichert werden. Dazu gehören unter anderem Isolationsschutz, Schutz vor Überspannungsimpulsen, Schutz vor Kurzschlüssen und vor Auswirkungen bei Ausfall von einzelnen Messsystemen. Nach Realisierung von Kamerasystem, Beleuchtung und Energieversorgung ist dann die Konstruktion und Herstellung der benötigten Unterwassergehäuse erforderlich. Außerdem muss die Platzierung der neuen, zusätzlichen Komponenten und die Art der Montage im Rahmen der DOL-CTD erarbeitet werden. Dabei darf es keine Auswirkungen auf die CTD-Messungen geben. Für die Endphase des Entwicklungsprojekts sollte eine Erprobungsphase des gesamten neuen Systems in der Nordsee eingeplant werden.

Literatur

1. A. Atkinson *et al.*, Marine Ecology Progress Series **362**, 1–23, ISSN: 0171-8630 (2008).
2. BMJV, Gesetz zum Antarktis-Vertrag vom 01. Dezember 1959: bgb1278s1517, 22.12.1978, (http://www.bgb1.de/xaver/bgb1/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGB1&jumpTo=bgbl278s1517.pdf).
3. A. Bude, Der Unterschied: Singlemode und Multimode LWL-Kabel, hrsg. von Andreas Bude, 2019, (https://www.glasfaserkabel.de/Der-Unterschied-zwischen-Singlemode-und-Multimode-LWL-Kabeln:_:13.html).
4. Canon Inc., HD Camcorder Instruction Manual LEGIRIA HFG10, hrsg. von Canon Inc., Tokyo, 2011, (<https://support-th.canon-asia.com/contents/TH/EN/0300485201.html>).
5. E. C. Carmack, T. D. Foster, Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts **22**, 77–90, ISSN: 00117471 (1975).
6. CCAMLR, Basic Documents, Australia, 2018, (https://www.ccamlr.org/en/system/files/e-basic-docs-dec-2018_6.pdf).
7. L. L. Collares, M. M. Mata, R. Kerr, J. Arigony-Neto, M. M. Barbat, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography **149**, 10–24, ISSN: 09670645 (2018).
8. DATACOM Buchverlag GmbH, Hrsg., CWDM (coarse wavelength division multiplexing), 2018, (<https://www.itwissen.info/CWDM-coarse-wavelength-division-multiplexing-CWDM-Technik.html>).
9. K. Deckert, H. Petzsch, G. Mauersberger, K. Günther, W. Crome, Fische, Lurche, Kriechtiere (Urania-Verl., Leipzig, [Neuausg.], 1. Aufl. 1991), Bd. in 6 Bänden ; 4, ISBN: 3-332-00376-3.
10. Deepsea Power & Light, Sealite Sphere 3150, 5150, 6150, 6550 Operator's Manuel, hrsg. von Deepsea Power & Light, San Diego, 2017, (<https://www.subseatechnologies.com/media/files/files/63bdb654/sealitesphere150series-manual-sti.pdf>).
11. D. Eberlein, Grundlagen Lichtwellenleitertechnik, hrsg. von Elektropraktiker, Berlin, 2007.
12. S. El Naggar, E. Fahrbach, Handbuch FS Polarstern: Ein Leitfaden zur Planung und Durchführung von Expeditionen mit FS Polarstern, hrsg. von Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Reederei F. Laeisz, 2006.
13. W. J. Emery, in Encyclopedia of Ocean Sciences (Elsevier, 2001), S. 3179–3187, ISBN: 9780122274305.

14. i. Encyclopædia Britannica, Hrsg., Weddell Sea: Sea, Atlantic Ocean, 2008, (<https://www.britannica.com/place/Weddell-Sea>).
15. R. Fabris *et al.*, Leitfaden für Besucher der Antarktis (Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2016), Bd. Mai 2017, ISBN: ISSN 2363-832X, (<http://bit.ly/292yYpj>).
16. E. Fahrbach, G. Rohardt, G. Krause, *Polar Biology* **12**, ISSN: 0722-4060 (1992).
17. U. Fischer, Tabellenbuch Mechatronik: Tabellen, Formeln, Normenanwendung (Verl. Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer, Haan-Gruiten, 2., überarb. Aufl. 2002), ISBN: 3-8085-4502-X.
18. Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company, Electronics Product Guide: Rugged Communication Solutions for Harsh Environments, hrsg. von Focal Technologies Corporation | A Moog Inc. Company, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, 2019, (<https://www.moog.com/content/dam/moog/literature/MCG/Moog-Focal-Electronics-Product-Guide.pdf>).
19. T. D. Foster, E. C. Carmack, *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* **23**, 301–317, ISSN: 00117471 (1976).
20. A. L. Gordon, in *Antarctic Oceanology I*, hrsg. von J. L. Reid (American Geophysical Union, Washington, D. C., 1971), Bd. 15, S. 169–203, ISBN: 0-87590-115-8.
21. A. L. Gordon, B. A. Huber, *Journal of Geophysical Research* **100**, 13747, ISSN: 0148-0227 (1995).
22. A. Graf, *Grundlagen LWL-Technik und Glasfasernetze* (Printed in Poland by Amazon Fulfillment, Wrocław, 2014), ISBN: 9781495224287.
23. E. E. Hofmann, J. M. Klinck, C. M. Lascara, D. A. Smith, in *Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula*, hrsg. von E. E. Hofmann, R. M. Ross, L. B. Quetin (American Geophysical Union, Washington, D. C., 1996), Bd. 70, S. 61–80, ISBN: 0-87590-891-8.
24. IHO, *Names and Limits of Oceana and Seas* (Monaco, 4th Edition, 2002), (http://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/S-23WG/S-23WG_Misc/Draft_2002/Draft_2002.htm).
25. IOC, SCOR, IAPSO, Hrsg., *The international thermodynamic equation of seawater - 2010: Calculation and use of thermodynamic properties*, Bd. *Manuals and Guides* 56.
26. Kongsberg Maritime AS, *Simrad EK60 Scientific echo sounder: Reference manual*, hrsg. von Kongsberg Maritime AS / Simrad, Horten, Norway, 2012, (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/wcd/simradEK60manual.pdf>).

27. H. Lilienthal, LWL-Telemetrie: Lichtwellenleiter-Telemetriesystem, Bestehend aus Unterwasser- und Bordeinheit: Inbetriebnahme & Technische Dokumentation, hrsg. von iSiTEC GmbH, Bremerhaven, 2013.
28. M R Boopendranath, Design and rigging details of Isaacs-Kidd Midwater Trawl (IKMT) for large research vessels, 2015.
29. L. Madin, The Watery World of Salps, hrsg. von Woods Hole Oceanographic Institution, 2019, (<https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/polar-research/polar-life/the-watery-world-of-salps/>).
30. L. Madin, Changes in the Antarctic Ecosystem: Salps versus Krill, hrsg. von Woods Hole Oceanographic Institution, 2006, (<https://www.whoi.edu/press-room/news-release/changes-in-the-antarctic-ecosystem-salps-versus-krill/>).
31. T. J. McDougall, D. R. Jackett, F. J. Millero, R. Pawlowicz, P. M. Barker, *Ocean Science* **8**, 1123–1134 (2012).
32. B. Meyer, R. Knust, Expedition Programme PS112 Posterstern, Bremerhaven, 2018, (<http://hdl.handle.net/10013/epic.5a829da0-b6e7-47b4-97e3-74915d44904f>).
33. B. Meyer, W. Wessels, The Expedition PS112 of the Research Vessel POLARSTERN to the Antarctic Peninsula Region in 2018, hrsg. von Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, 2018.
34. F. J. Millero, R. Feistel, D. G. Wright, T. J. McDougall, Hrsg., The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale (Elsevier, 2008).
35. C. Moore, SBE 33 Carousel Deck Unit: For use with SBE 32 Carousel Water Sampler or SBE 55 ECO Water Sampler: Product Manual, hrsg. von Sea-Bird Electronics, 2017.
36. A. H. Orsi, W. D. Nowlin, T. Whitworth, Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers **40**, 169–203, ISSN: 09670637 (1993).
37. E. A. Pakhomov, C. D. Dubischar, V. Strass, M. Brichta, U. V. Bathmann, *Marine Biology* **149**, 609–623, ISSN: 0025-3162 (2006).
38. L. Papula, Mathematische Formelsammlung: Für Ingenieure und Naturwissenschaftler (Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 10., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2009), ISBN: 978-3-8348-0757-1, (<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9598-1>).
39. C. Rodehacke, Dissertation zum Dr. rer. nat, Universität Bremen, 2003.
40. H. S. J. Roe, D. M. Shale, *Marine Biology* **50**, 283–288, ISSN: 0025-3162 (1979).

41. M. P. Schodlok, H. H. Hellmer, A. Beckmann, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **49**, 4807–4825, ISSN: 09670645 (2002).
42. M. Schröder, E. Fahrbach, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **46**, 501–527, ISSN: 09670645 (1999).
43. Stemmer Imaging, *Das Handbuch der Bildverarbeitung* (Stemmer Imaging, Puchheim, 2013), ISBN: 978-3-00-039674-8.
44. A. F. Thompson, K. J. Heywood, S. E. Thorpe, A. H. H. Renner, A. Trasviña, *Journal of Physical Oceanography* **39**, 3–26, ISSN: 0022-3670 (2009).
45. W. Westheide, R. Rieger, W. Dohle, *Spezielle Zoologie* (G. Fischer, Stuttgart und New York, 1996), ISBN: 3-437-20515-3.
46. J. Williams, *Deep Ocean Camera R4 Operating Manual*, hrsg. von Australian Government Antarctic Divison, 2018.

Anhang

Protokoll CTD-Station "PS112p013a01"



Polarstern PS112



Station protocol CTD

Page: 6 /

0913 CCA912

| | |
|--|---|
| Station No. (# DShip): 13 # 1 | File Name: PS112p013a01.lex |
| Start of station: | End of station |
| Date: 25.03.2018 LD: 25.03.2018 | Date: 25.03.2018 LD: |
| Time [UTC]: 11:45 LT: 08:45 | Time [UTC]: 12:04 LT: 09:04 |
| Position [LAT NS]: 63° 01', 271' | Position [LAT]: 63° 01', 361' |
| Position [LON EW]: 57° 33', 540' | Position [LON]: 057° 32', 538' |
| Water depth: 126 [m] | Water depth: 123 [m] |
| Sea state: 24m | Sea state: |
| Wind speed: 17.0 | Wind speed: 16.6 m/s |
| Wind direction: 317 | Wind direction: 316° |
| Zenith angle of sun: | Zenith angle of sun: |
| Sky cover: 100% | Sky cover: 8 |
| Global Radiation: 32.000 W/m ² | Global Radiation: 31.050 W/m ² |
| Gear: | Comments |
| Secchi-Disk: 11 [m] | Operator: |
| Forel-Ule 4 [no.] | Time at water depth: 11:55 (100m) |
| Kommunikation an 11:50 stop 12:03 | |
| "Probleme" mit Licht-Wasser-Sensor: Konnektion ✓ Reading 0 | |

| Gear: CTD | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------------|---|---|--------|-------------|--------|---|---|
| Bottle | Depth/ Plan | Closed | T | S | Bottle | Depth/ Plan | Closed | T | S |
| 1 | | 39,7 | | | 13 | 20 | 19,9 | | |
| 2 | | | | | 14 | 20 | 19,9 | | |
| 3 | 100 | 39,7 | | | 15 | | | | |
| 4 | 100 | 39,7 | | | 16 | | | | |
| 5 | 60 | 60,8 | | | 17 | | | | |
| 6 | 60 | 60,8 | | | 18 | | | | |
| 7 | | | | | 19 | surface | 5,5 | | |
| 8 | | | | | 20 | surface | 5,5 | | |
| 9 | 40 | 39,8 | | | 21 | | | | |
| 10 | 40 | 39,8 | | | 22 | | | | |
| 11 | | | | | 23 | | | | |
| 12 | | | | | 24 | | | | |

Protokoll DOC -Video "PS112p013a01"

DOC-Video-Logbook

| | | | | | |
|----------------|-------------|------------|-------|-----|-------|
| Station | Date: | 25.03.2018 | Lat: | -63 | 1,26 |
| PS112p013a01 | Time (UTC): | 11:46:16 | Long: | -57 | 33,58 |
| CCAMLR NR: | 0913 | | | | |

| | |
|-------------------------|---|
| EK 60 Dates | |
| PS112-D20180325-T114108 | - |

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|----------|
| Camera-Settings | | | |
| Mode: | Video | Focus | - |
| Start-Time | 11:50 | End-Time: | 12:03 |
| File-name: | PS112p013a01 | Video-length: | 00:13:11 |

| Highlight | | | | | |
|------------------|----------|-------------------------------------|------------|-----------|----------|
| Nr. | sequence | comment | scan count | Depth (m) | CTD-Time |
| 1 | 00:00:00 | Fixpoint I - Start Video | 234 | 21,9 | 11:50:10 |
| 2 | 00:05:18 | Fixpoint II - CTD at depth 100 m | 552 | 99,4 | 11:55:28 |
| 3 | 00:05:33 | Fixpoint III - closing bottle 100 m | 567 | 99,7 | 11:55:43 |
| 4 | 00:07:56 | Fixpoint IV - closing bottle 60 m | 710 | 60,9 | 11:58:06 |
| 5 | 00:10:54 | Fixpoint V - closing bottle 20 m | 888 | 20,1 | 12:01:04 |
| 6 | 00:13:11 | Fixpoint VI - End Video | 1025 | 5,3 | 12:03:21 |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | 00:02:36 | begin krill swarm | 390 | 34,8 | 11:52:46 |
| 11 | 00:04:10 | end krill swarm | 484 | 76,2 | 11:54:20 |
| 12 | 00:08:29 | begin krill swarm | 743 | 54,6 | 11:58:39 |
| 13 | 00:11:00 | end krill swarm | 894 | 20,3 | 12:01:10 |
| 14 | 00:12:39 | hulk "Polarstern" | 993 | 9,6 | 12:02:49 |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |
| 26 | | | | | |
| 27 | | | | | |
| 28 | | | | | |
| 29 | | | | | |
| 30 | | | | | |

Übersicht der Zuordnung der Datensätze für CTD, DOC-Videos und EK60

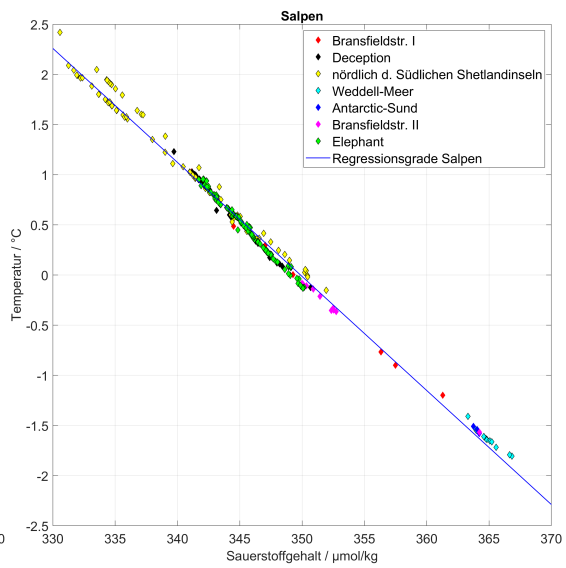
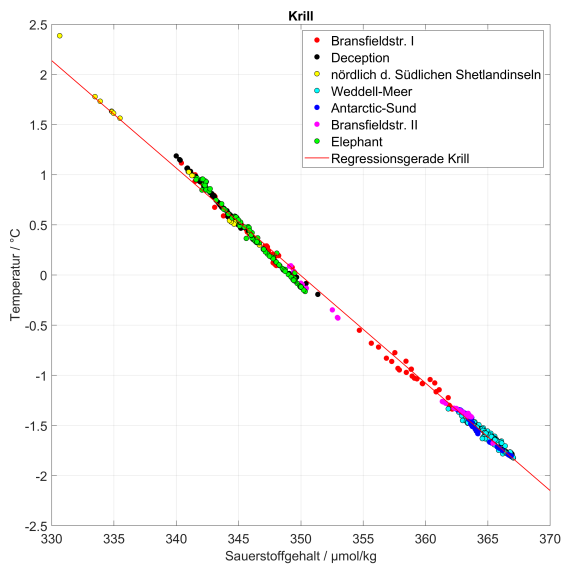
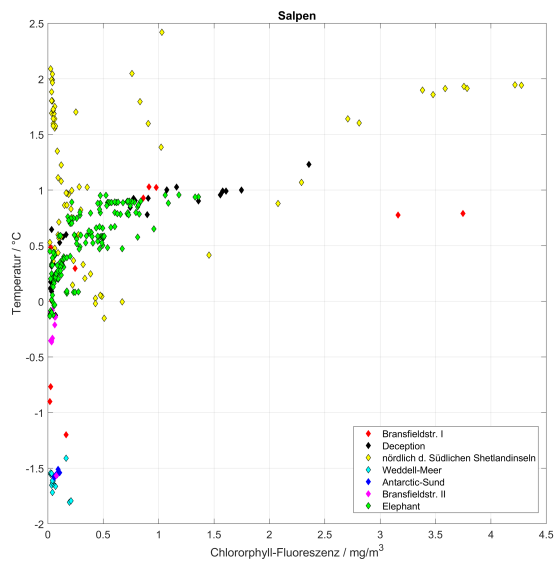
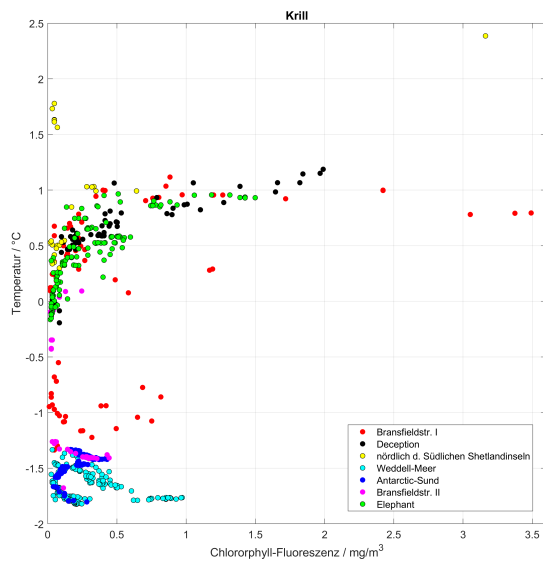
Übersicht der Zuordnung der Datensätze für CTD, DOC-Video und EK60

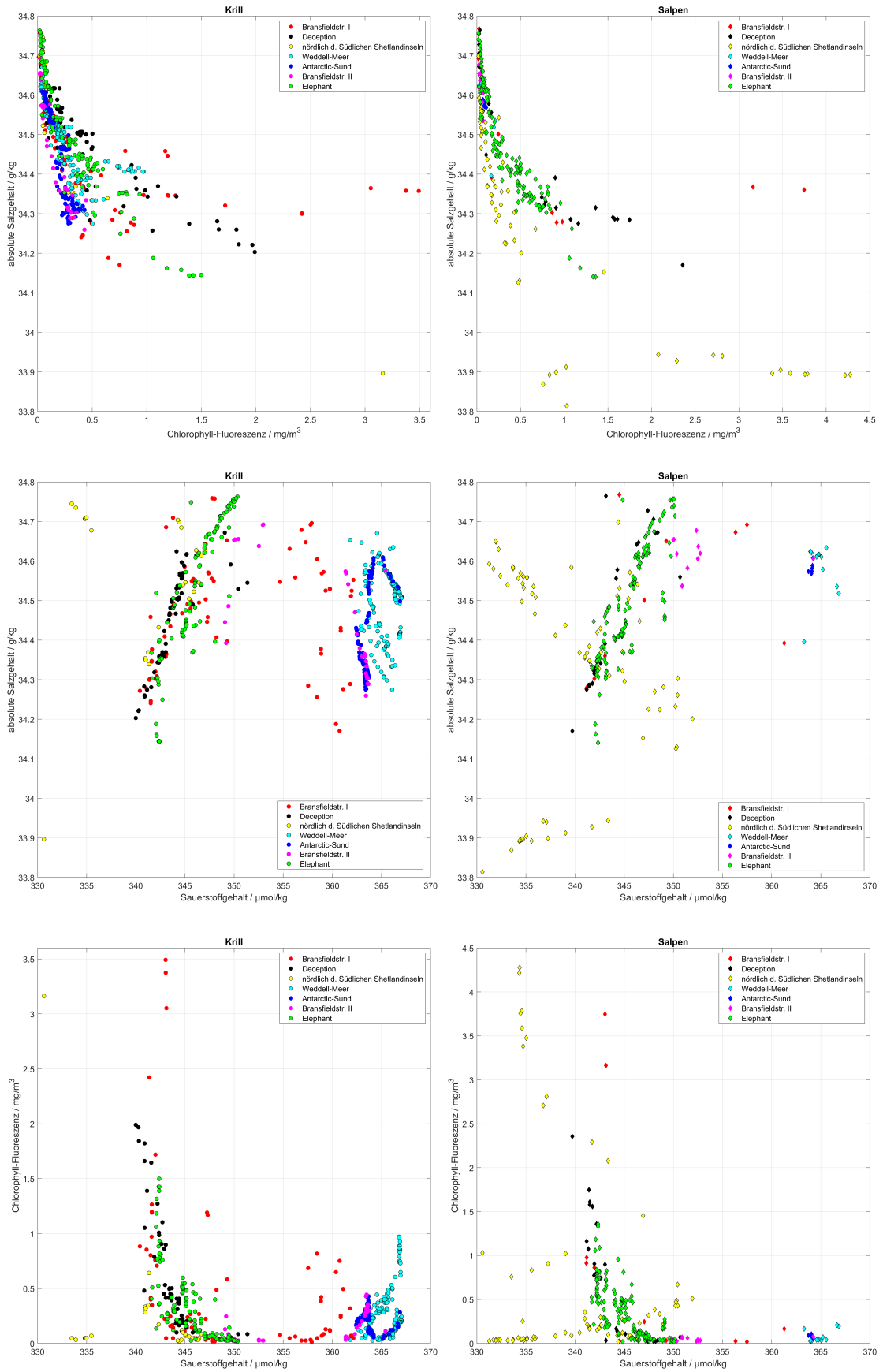
| Nr. | CTD_Station | Datum | Time(UTC) | Pos./Lat(°) | Pos./Long(°) | DOC_Video | Filename_Video_I | Länge | filename_Video_II | Länge | filename_Video_III | Länge | filename_Video_IV | Länge | EK60_Data |
|-----|------------------|------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|----------|-------------------|-----------|-------------------------|
| 1 | PS112p002a01 | 21.03.2018 | 21:03:19 | -61, 01,7 | 20,01 | ja | PS112p002a01 | 00:27:44 | PS112p006b01 | 00:37:15 | PS112p006a01 | 00:03:06 | PS112p006a01 | 00:32:17 | PS112-D20180321-T185057 |
| 2 | PS112p006a01 | 22.03.2018 | 23:06:45 | -62, 11,08 | -58, 23,18 | ja | PS112p006a01 | 00:14:37 | PS112p006b01 | 00:11:27 | PS112p006a01 | 00:03:06 | PS112p006a01 | 00:32:17 | not exist |
| 3 | PS112p007a01 | 23.03.2018 | 12:42:36 | -62, 5,46 | -58, 20,22 | ja | PS112p007a01 | 00:11:27 | PS112p007b01 | 00:13:20 | PS112p007b01 | 00:16:26 | PS112p007a01 | not exist | not exist |
| 4 | PS112p011a01 | 24.03.2018 | 22:26:42 | -62, 19,89 | -58, 22,66 | ja | PS112p011a01 | 00:13:11 | PS112p011b01 | 00:13:11 | PS112p011b01 | 00:16:26 | PS112p011a01 | not exist | not exist |
| 5 | PS112p012a01 | 25.03.2018 | 04:09:02 | -62, 30,01 | -57, 59,34 | nein | PS112p012a01 | 00:13:11 | PS112p012b01 | 00:13:11 | PS112p012b01 | 00:16:26 | PS112p012a01 | not exist | not exist |
| 6 | PS112p013a01 | 25.03.2018 | 11:46:16 | -63, 1,26 | -57, 33,58 | ja | PS112p013a01 | 00:22:54 | PS112p013b01 | 00:22:54 | PS112p013b01 | 00:03:25 | PS112p013a01 | not exist | not exist |
| 7 | PS112p014a01 | 25.03.2018 | 14:55:45 | -63, 0,06 | -57, 59,64 | ja | PS112p014a01 | 00:37:18 | PS112p014b01 | 00:37:18 | PS112p014b01 | 00:03:25 | PS112p014a01 | not exist | not exist |
| 8 | PS112p015a01 | 25.03.2018 | 18:38:40 | -62, 59,94 | -58, 30,14 | ja | PS112p015a01 | 00:37:18 | PS112p015b01 | 00:37:18 | PS112p015b01 | 00:03:25 | PS112p015a01 | not exist | not exist |
| 9 | PS112p015a02 | 25.03.2018 | 19:28:20 | -62, 59,92 | -58, 30,16 | nein | PS112p015a02 | 00:37:18 | PS112p015b01 | 00:37:18 | PS112p015b01 | 00:03:25 | PS112p015a02 | not exist | not exist |
| 10 | PS112p015a03 | 25.03.2018 | 20:38:28 | -62, 59,96 | -58, 30,08 | nein | PS112p015a03 | 00:31:59 | PS112p015b01 | 00:31:59 | PS112p015b01 | 00:03:25 | PS112p015a03 | not exist | not exist |
| 11 | PS112p016a01 | 25.03.2018 | 23:29:45 | -63, 0,31 | -58, 59,49 | nein | PS112p016a01 | 00:11:24 | PS112p016b01 | 00:11:24 | PS112p016b01 | 00:09:32 | PS112p016a01 | not exist | not exist |
| 12 | PS112p017a02 | 26.03.2018 | 03:58:52 | -62, 45,62 | -59, 26,68 | ja | PS112p017a02 | 00:24:37 | PS112p017b02 | 00:24:37 | PS112p017b02 | 00:05:34 | PS112p017a02 | not exist | not exist |
| 13 | PS112p018a01 | 26.03.2018 | 09:25:02 | -62, 31,44 | -59, 26,68 | ja | PS112p018a01 | 00:24:37 | PS112p018b01 | 00:24:37 | PS112p018b01 | 00:09:32 | PS112p018a01 | not exist | not exist |
| 14 | PS112p019a01 | 26.03.2018 | 14:40:00 | -62, 45,08 | -59, 59,1 | ja | PS112p019a01 | 00:24:37 | PS112p019b01 | 00:24:37 | PS112p019b01 | 00:05:34 | PS112p019a01 | not exist | not exist |
| 15 | PS112p020a02 | 26.03.2018 | 19:41:25 | -63, 0, 0 | -60, 0,01 | ja | PS112p020a02 | 00:22:36 | PS112p020b02 | 00:22:36 | PS112p020b02 | 00:31:46 | PS112p020a02 | not exist | not exist |
| 16 | PS112p021a02 | 27.03.2018 | 01:17:52 | -62, 59,98 | -60, 25,35 | ja | PS112p021a02 | 00:17:18 | PS112p021b02 | 00:17:18 | PS112p021b02 | 00:31:46 | PS112p021a02 | not exist | not exist |
| 17 | PS112p022a04 | 28.03.2018 | 01:20:58 | -62, 34,87 | -59, 52,87 | ja | PS112p022a04 | 00:23:15 | PS112p022b04 | 00:23:15 | PS112p022b04 | 00:16:26 | PS112p022a04 | not exist | not exist |
| 18 | PS112p025a05 | 29.03.2018 | 14:48:49 | -62, 59,88 | -60, 20,93 | ja | PS112p025a05 | 00:15:15 | PS112p025b05 | 00:15:15 | PS112p025b05 | 00:16:26 | PS112p025a05 | not exist | not exist |
| 19 | PS112p025a08 | 29.03.2018 | 21:36:36 | -62, 58,38 | -60, 28,56 | ja | PS112p025a08 | 00:21:46 | PS112p025b08 | 00:21:46 | PS112p025b08 | 00:16:26 | PS112p025a08 | not exist | not exist |
| 20 | PS112p025a24 | 30.03.2018 | 18:26:32 | -63, 0,23 | -60, 30,15 | ja | PS112p025a24 | 00:23:59 | PS112p025b24 | 00:23:59 | PS112p025b24 | 00:16:26 | PS112p025a24 | not exist | not exist |
| 21 | PS112p025a27 | 30.03.2018 | 21:44:02 | -62, 59,89 | -60, 28,99 | ja | PS112p025a27 | 00:17:57 | PS112p025b27 | 00:17:57 | PS112p025b27 | 00:16:26 | PS112p025a27 | not exist | not exist |
| 22 | PS112p025a29 | 31.03.2018 | 01:40:24 | -62, 59,83 | -60, 47,31 | ja | PS112p025a29 | 00:15:15 | PS112p025b29 | 00:15:15 | PS112p025b29 | 00:16:26 | PS112p025a29 | not exist | not exist |
| 23 | PS112p025a32 | 31.03.2018 | 04:07:28 | -62, 53,04 | -60, 47,18 | ja | PS112p025a32 | 00:20:00 | PS112p025b32 | 00:20:00 | PS112p025b32 | 00:16:26 | PS112p025a32 | not exist | not exist |
| 24 | PS112p025a34 | 31.03.2018 | 05:46:44 | -62, 52,58 | -60, 33,14 | ja | PS112p025a34 | 00:37:18 | PS112p025b34 | 00:37:18 | PS112p025b34 | 00:16:26 | PS112p025a34 | not exist | not exist |
| 25 | PS112p025a36 | 31.03.2018 | 07:32:13 | -62, 59,86 | -60, 26,45 | ja | PS112p025a36 | 00:31:15 | PS112p025b36 | 00:31:15 | PS112p025b36 | 00:16:26 | PS112p025a36 | not exist | not exist |
| 26 | PS112p025a38 | 31.03.2018 | 09:45:00 | -62, 59,78 | -60, 20,19 | ja | PS112p025a38 | 00:31:15 | PS112p025b38 | 00:31:15 | PS112p025b38 | 00:16:26 | PS112p025a38 | not exist | not exist |
| 27 | PS112p025a41 | 31.03.2018 | 11:17:48 | -62, 59,57 | -60, 22,57 | nein | PS112p025a41 | 00:33:34 | PS112p025b41 | 00:33:34 | PS112p025b41 | 00:16:26 | PS112p025a41 | not exist | not exist |
| 28 | PS112p025a42 | 31.03.2018 | 11:57:48 | -62, 59,31 | -60, 22,5 | nein | PS112p025a42 | 00:33:34 | PS112p025b42 | 00:33:34 | PS112p025b42 | 00:16:26 | PS112p025a42 | not exist | not exist |
| 29 | PS112p025a43 | 31.03.2018 | 12:37:02 | -62, 59,19 | -60, 22,53 | nein | PS112p025a43 | 00:33:34 | PS112p025b43 | 00:33:34 | PS112p025b43 | 00:16:26 | PS112p025a43 | not exist | not exist |
| 30 | PS112p025a51 | 01.04.2018 | 11:50:25 | -62, 53,01 | -60, 14,04 | ja | PS112p025a51 | 00:33:34 | PS112p025b51 | 00:33:34 | PS112p025b51 | 00:16:26 | PS112p025a51 | not exist | not exist |
| 31 | PS112p027a01 | 03.04.2018 | 03:04:33 | -62, 15,31 | -63, 0,4 | nein | PS112p027a01 | 00:33:34 | PS112p027b01 | 00:33:34 | PS112p027b01 | 00:16:26 | PS112p027a01 | not exist | not exist |
| 32 | PS112p028a01 | 03.04.2018 | 06:43:14 | -62, 14,89 | -61, 59,36 | nein | PS112p028a01 | 00:33:34 | PS112p028b01 | 00:33:34 | PS112p028b01 | 00:16:26 | PS112p028a01 | not exist | not exist |
| 33 | PS112p028a01 | 03.04.2018 | 06:48:56 | -62, 14,9 | -61, 59,33 | nein | PS112p028a01 | 00:33:34 | PS112p028b01 | 00:33:34 | PS112p028b01 | 00:16:26 | PS112p028a01 | not exist | not exist |
| 34 | PS112p029a01 | 03.04.2018 | 10:19:08 | -62, 29,97 | -61, 30,03 | nein | PS112p029a01 | 00:33:34 | PS112p029b01 | 00:33:34 | PS112p029b01 | 00:16:26 | PS112p029a01 | not exist | not exist |
| 35 | PS112p029a01 | 03.04.2018 | 14:50:36 | -62, 29,38 | -61, 27,97 | nein | PS112p029a01 | 00:33:34 | PS112p029b01 | 00:33:34 | PS112p029b01 | 00:16:26 | PS112p029a01 | not exist | not exist |
| 36 | PS112p030a02 | 03.04.2018 | 17:55:56 | -62, 21,77 | -61, 27,63 | nein | PS112p030a02 | 00:33:34 | PS112p030b02 | 00:33:34 | PS112p030b02 | 00:16:26 | PS112p030a02 | not exist | not exist |
| 37 | PS112p031a02 | 03.04.2018 | 23:09:01 | -61, 45,02 | -62, 0,05 | nein | PS112p031a02 | 00:33:34 | PS112p031b02 | 00:33:34 | PS112p031b02 | 00:16:26 | PS112p031a02 | not exist | not exist |
| 38 | PS112p032a01 | 04.04.2018 | 04:05:43 | -61, 45,07 | -61, 0,66 | nein | PS112p032a01 | 00:33:34 | PS112p032b01 | 00:33:34 | PS112p032b01 | 00:16:26 | PS112p032a01 | not exist | not exist |
| 39 | PS112p033a01 | 04.04.2018 | 07:55:07 | -62, 0 | -60, 29,91 | nein | PS112p033a01 | 00:33:34 | PS112p033b01 | 00:33:34 | PS112p033b01 | 00:16:26 | PS112p033a01 | not exist | not exist |
| 40 | PS112p034a01 | 04.04.2018 | 14:00:23 | -61, 15,32 | -60, 59,34 | nein | PS112p034a01 | 00:33:34 | PS112p034b01 | 00:33:34 | PS112p034b01 | 00:16:26 | PS112p034a01 | not exist | not exist |
| 41 | PS112p034a02 | 04.04.2018 | 13:59:24 | -61, 15,32 | -60, 59,34 | nein | PS112p034a02 | 00:33:34 | PS112p034b02 | 00:33:34 | PS112p034b02 | 00:16:26 | PS112p034a02 | not exist | not exist |
| 42 | PS112p034a05_bbc | 04.04.2018 | 16:31:25 | -61, 14,08 | -60, 57,31 | ja | PS112p034a05_bbc | 00:33:34 | PS112p034b05_bbc | 00:33:34 | PS112p034b05_bbc | 00:16:26 | PS112p034a05_bbc | not exist | not exist |
| 43 | PS112p035a01 | 04.04.2018 | 22:28:14 | -61, 30,25 | -60, 31,46 | ja | PS112p035a01 | 00:33:34 | PS112p035b01 | 00:33:34 | PS112p035b01 | 00:16:26 | PS112p035a01 | not exist | not exist |
| 44 | PS112p036a01 | 05.04.2018 | 01:54:29 | -61, 44,89 | -59, 59,47 | nein | PS112p036a01 | 00:33:34 | PS112p036b01 | 00:33:34 | PS112p036b01 | 00:16:26 | PS112p036a01 | not exist | not exist |
| 45 | PS112p037a01 | 05.04.2018 | 05:45:14 | -61, 14,98 | -59, 59,95 | nein | PS112p037a01 | 00:33:34 | PS112p037b01 | 00:33:34 | PS112p037b01 | 00:16:26 | PS112p037a01 | not exist | not exist |
| 46 | PS112p038a01 | 05.04.2018 | 09:00:44 | -61, 29,98 | -59, 29,93 | nein | PS112p038a01 | 00:33:34 | PS112p038b01 | 00:33:34 | PS112p038b01 | 00:16:26 | PS112p038a01 | not exist | not exist |
| 47 | PS112p039a02 | 05.04.2018 | 15:04:55 | -61, 50,1 | -58, 34,67 | ja | PS112p039a02 | 00:33:34 | PS112p039b02 | 00:33:34 | PS112p039b02 | 00:16:26 | PS112p039a02 | not exist | not exist |
| 48 | PS112p040a02 | 05.04.2018 | 17:57:50 | -61, 45,16 | -58, 26,68 | ja | PS112p040a02 | 00:33:34 | PS112p040b02 | 00:33:34 | PS112p040b02 | 00:16:26 | PS112p040a02 | not exist | not exist |
| 49 | PS112p041a01 | 05.04.2018 | 20:47:26 | -61, 44,96 | -59, 0 | nein | PS112p041a01 | 00:33:34 | PS112p041b01 | 00:33:34 | PS112p041b01 | 00:16:26 | PS112p041a01 | not exist | not exist |
| 50 | PS112p042a01 | 06.04.2018 | 04:38:43 | -61, 45,03 | -57, 30,08 | ja | PS112p042a01 | 00:33:34 | PS112p042b01 | 00:33:34 | PS112p042b01 | 00:16:26 | PS112p042a01 | not exist | not exist |
| 51 | PS112p043a01 | 06.04.2018 | 08:04:12 | -61, 30,02 | -57, 29,98 | ja | PS112p043a01 | 00:33:34 | PS112p043b01 | 00:33:34 | PS112p043b01 | 00:16:26 | PS112p043a01 | not exist | not exist |
| 52 | PS112p044a01 | 06.04.2018 | 12:21:15 | -60, 59,89 | -57, 29,96 | ja | PS112p044a01 | 00:33:34 | PS112p044b01 | 00:33:34 | PS112p044b01 | 00:16:26 | PS112p044a01 | not exist | not exist |
| 53 | PS112p045a01 | 06.04.2018 | 16:53:11 | -60, 29,98 | -57, 29,68 | ja | PS112p045a01 | 00:33:34 | PS112p045b01 | 00:33:34 | PS112p045b01 | 00:16:26 | PS112p045a01 | not exist | not exist |
| 54 | PS112p046a01 | 06.04.2018 | 19:37:55 | -60, 14,95 | -57, 29,86 | ja | PS112p046a01 | 00:33:34 | PS112p046b01 | 00:33:34 | PS112p046b01 | 00:16:26 | PS112p046a01 | not exist | not exist |
| 55 | PS112p047a01 | 06.04.2018 | 23:54:14 | -60, 15,11 | -56, 30,33 | nein | PS112p047a01 | 00:33:34 | PS112p047b01 | 00:33:34 | PS112p047b01 | 00:16:26 | PS112p047a01 | not exist | not exist |
| 56 | PS112p048a01 | 07.04.2018 | 03:48:19 | -60, 30,02 | -56, 30,72 | ja | PS112p048a01 | 00:33:34 | PS112p048b01 | 00:33:34 | PS112p048b01 | 00:16:26 | PS112p048a01 | not exist | not exist |
| 57 | PS112p049a01 | 07.04.2018 | 08:01:24 | -60, 30 | -55, 29,81 | ja | PS112p049a01 | 00:33:34 | PS112p049b01 | 00:33:34 | PS112p049b01 | 00:16:26 | PS112p049a01 | not exist | not exist |
| 58 | PS112p050a01 | 07.04.2018 | 12:42:56 | -61, 0,08 | -55, 0,26 | ja | PS112p050a01 | 00:33:34 | PS112p050b01 | 00:33:34 | PS112p050b01 | 00:16:26 | PS112p050a01 | not exist | not exist |
| 59 | PS112p050a05 | 07.04.2018 | 16:20:48 | -61, 4,67 | -54, 51,9 | nein | PS112p050a05 | | | | | | | | |

| Nr. | CTD_Station | Datum | Time(UTC) | Pos./Lat(°) | Pos./Long(°) | DOC_Video | filename_Video_I | Länge | filename_Video_II | Länge | filename_Video_III | Länge | filename_Video_IV | Länge | EK60_Data | EK60_Data |
|-----|--------------|------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|-------|-------------------|-------|--------------------------|-------------------------|
| 60 | PS112p052a01 | 08.04.2018 | 10:35:43 | -61 4,16 | -54 48,34 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180408-T102343 | |
| 61 | PS112p052a02 | 08.04.2018 | 11:30:23 | -61 4,12 | -54 48,45 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180408-T112827 | |
| 62 | PS112p053a01 | 08.04.2018 | 12:20:34 | -61 3,89 | -54 48,74 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180408-T120048 | |
| 63 | PS112p055a06 | 08.04.2018 | 19:16:27 | -61 1,34 | -54 47,18 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180408-T190112 | |
| 64 | PS112p055a21 | 08.04.2018 | 11:15:45 | -60 59,84 | -54 58,16 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180409-T111135 | |
| 65 | PS112p055a22 | 09.04.2018 | 12:23:53 | -61 0,48 | -54 58,25 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180409-T121615 | |
| 66 | PS112p056a01 | 09.04.2018 | 19:48:06 | -60 44,89 | -55 30,38 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180409-T191631 | PS112-D20180409-T194851 |
| 67 | PS112p057a01 | 09.04.2018 | 23:09:23 | -60 30,09 | -54 59,93 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180409-T230252 | |
| 68 | PS112p058a01 | 10.04.2018 | 03:29:56 | -60 30,29 | -54 0,29 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180410-T032145 | |
| 69 | PS112p059a01 | 10.04.2018 | 05:59:33 | -60 15,26 | -53 59,91 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180410-T053105 | PS112-D20180410-T060325 |
| 70 | PS112p060a02 | 10.04.2018 | 14:42:31 | -60 0,93 | -55 31,55 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180410-T133241 | |
| 71 | PS112p060a03 | 10.04.2018 | 15:40:33 | -60 1,03 | -55 30,84 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180410-T150751 | |
| 72 | PS112p061a01 | 11.04.2018 | 00:30:47 | -60 44,77 | -54 30,18 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180410-T233654 | |
| 73 | PS112p063a02 | 11.04.2018 | 16:28:02 | -60 58,54 | -55 8,08 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180411-T154725 | |
| 74 | PS112p064a02 | 11.04.2018 | 20:37:16 | -60 53,41 | -55 35,04 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180411-T193916 | |
| 75 | PS112p065a01 | 11.04.2018 | 23:58:32 | -60 59,75 | -56 29,61 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180411-T233053 | |
| 76 | PS112p066a01 | 12.04.2018 | 03:20:54 | -61 14,85 | -56 29,66 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180412-T012645 | PS112-D20180412-T032237 |
| 77 | PS112p067a01 | 12.04.2018 | 06:05:03 | -61 30,04 | -56 30,29 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180412-T054707 | |
| 78 | PS112p069a01 | 12.04.2018 | 16:55:58 | -61 15,11 | -55 44,63 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180412-T162426 | |
| 79 | PS112p070a01 | 12.04.2018 | 21:29:54 | -61 14,83 | -54 29,83 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180412-T212119 | |
| 80 | PS112p071a01 | 13.04.2018 | 01:26:23 | -61 30,19 | -54 59,95 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180413-T011649 | |
| 81 | PS112p072a01 | 13.04.2018 | 04:20:17 | -61 44,99 | -54 59,91 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180413-T035043 | |
| 82 | PS112p073a01 | 13.04.2018 | 07:06:19 | -61 45,06 | -54 30,04 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180413-T065921 | |
| 83 | PS112p074a01 | 13.04.2018 | 11:26:27 | -62 15,19 | -54 29,96 | nein | Defekt DOC | | | | | | | | PS112-D20180413-T112350 | |
| 84 | PS112p076a01 | 13.04.2018 | 17:41:29 | -62 45,05 | -54 30,18 | ja | PS112p076a01 | 00:14:23 | | | | | | | PS112-D20180413-T115550 | PS112-D20180413-T232329 |
| 85 | PS112p078a01 | 13.04.2018 | 23:04:59 | -63 15,38 | -53 58,35 | ja | PS112p077a01 | 00:00:47 | PS112p077a01 | 00:23:00 | | | | | PS112-D20180414-T034452 | |
| 86 | PS112p078a02 | 14.04.2018 | 04:28:46 | -63 14,65 | -54 30,02 | nein | | | | | | | | | PS112-D20180414-T034452 | |
| 87 | PS112p079a01 | 14.04.2018 | 09:41:02 | -63 45,03 | -53 30,03 | ja | PS112p079a01 | 00:24:19 | | | | | | | PS112-D20180414-T093013 | |
| 88 | PS112p080a02 | 14.04.2018 | 13:49:42 | -63 50,02 | -53 47,98 | ja | PS112p080a02 | 00:32:30 | | | | | | | PS112-D20180414-T134756 | |
| 89 | PS112p081a02 | 14.04.2018 | 17:00:30 | -63 57,81 | -54 8,4 | ja | PS112p081a02 | 00:33:10 | | | | | | | PS112-D20180414-T165652 | |
| 90 | PS112p082a02 | 14.04.2018 | 19:56:20 | -63 57,04 | -54 38,69 | ja | PS112p082a02 | 00:25:37 | | | | | | | PS112-D20180414-T193534 | |
| 91 | PS112p083a02 | 14.04.2018 | 22:47:43 | -63 53,69 | -54 55,82 | ja | PS112p083a02 | 00:37:19 | PS112p083b02 | 00:02:35 | | | | | PS112-D20180414-T224434 | |
| 92 | PS112p084a02 | 15.04.2018 | 02:00:25 | -63 43,65 | -54 36,79 | ja | PS112p084a02 | 00:20:07 | | | | | | | PS112-D20180415-T011604 | |
| 93 | PS112p085a02 | 15.04.2018 | 04:39:56 | -63 39,17 | -54 58,16 | ja | PS112p085a02 | 00:21:09 | | | | | | | PS112-D20180415-T0448034 | |
| 94 | PS112p086a02 | 15.04.2018 | 07:47:58 | -63 40,93 | -55 28,58 | ja | PS112p086a02 | 00:28:46 | | | | | | | PS112-D20180415-T074834 | |
| 95 | PS112p087a02 | 15.04.2018 | 11:19:33 | -63 43,37 | -55 24,62 | ja | PS112p087a02 | 00:20:48 | | | | | | | PS112-D20180415-T104740 | |
| 96 | PS112p088a01 | 15.04.2018 | 13:46:50 | -63 59,9 | -55 30,55 | ja | PS112p088a01 | 00:24:31 | | | | | | | PS112-D20180415-T133748 | |
| 97 | PS112p089a01 | 15.04.2018 | 16:59:58 | -63 53,03 | -55 53,04 | ja | PS112p089a01 | 00:30:46 | | | | | | | PS112-D20180415-T163704 | PS112-D20180415-T172816 |
| 98 | PS112p090a02 | 16.04.2018 | 12:52:30 | -63 43,71 | -56 50,38 | ja | PS112p090a02 | 00:36:16 | PS112p090b02 | 00:12:59 | | | | | PS112-D20180416-T121051 | PS112-D20180416-T131658 |
| 99 | PS112p091a02 | 16.04.2018 | 17:47:29 | -63 42,39 | -56 51,96 | ja | PS112p091a02 | 00:29:13 | | | | | | | PS112-D20180416-T172739 | |
| 100 | PS112p092a02 | 16.04.2018 | 21:57:30 | -63 43,5 | -56 58,94 | ja | PS112p092a02 | 00:37:30 | PS112p092b02 | 00:01:45 | | | | | PS112-D20180416-T215543 | |
| 101 | PS112p096a02 | 17.04.2018 | 09:34:55 | -63 44,86 | -56 44,61 | ja | PS112p096a02 | 00:37:21 | PS112p096b02 | 00:11:17 | | | | | PS112-D20180417-T092200 | PS112-D20180417-T125544 |
| 102 | PS112p097a02 | 17.04.2018 | 12:53:25 | -63 41,24 | -56 43,21 | ja | PS112p097a02 | 00:26:08 | | | | | | | PS112-D20180417-T114411 | |
| 103 | PS112p098a04 | 17.04.2018 | 18:10:32 | -63 38,77 | -56 29,57 | ja | PS112p098a04 | 00:30:41 | | | | | | | PS112-D20180417-T170942 | |
| 104 | PS112p099a01 | 18.04.2018 | 17:18:53 | -63 30,06 | -56 29,92 | ja | PS112p099a01 | 00:37:19 | PS112p099b01 | 00:09:04 | | | | | PS112-D20180418-T17401 | |
| 105 | PS112p101a01 | 18.04.2018 | 22:26:12 | -63 19,77 | -56 48,49 | ja | PS112p101a01 | 00:35:58 | | | | | | | PS112-D20180418-T220319 | |
| 106 | PS112p102a01 | 19.04.2018 | 02:13:21 | -63 6,37 | -56 58,89 | ja | PS112p102a01 | 00:35:15 | PS112p102b01 | 00:16:56 | | | | | PS112-D20180419-T011256 | PS112-D20180419-T024124 |
| 107 | PS112p103a01 | 19.04.2018 | 06:58:51 | -62 45,05 | -56 30,12 | ja | PS112p103a01 | 00:22:31 | | | | | | | PS112-D20180419-T055646 | |
| 108 | PS112p104a01 | 19.04.2018 | 11:05:51 | -62 44,94 | -55 30,1 | ja | PS112p104a01 | 00:17:25 | | | | | | | PS112-D20180419-T094409 | |
| 109 | PS112p105a01 | 19.04.2018 | 19:05:51 | -62 30,04 | -53 59,89 | ja | PS112p105a01 | 00:26:23 | | | | | | | PS112-D20180419-T182742 | PS112-D20180419-T193250 |
| 110 | PS112p106a05 | 20.04.2018 | 15:21:51 | -61 53,91 | -53 54,6 | nein | | | | | | | | | PS112-D20180420-T145210 | |
| 111 | PS112p106a15 | 21.04.2018 | 16:17:42 | -61 47,38 | -53 39,54 | ja | PS112p106a15 | 00:37:21 | PS112p106b15 | 00:06:34 | | | | | PS112-D20180421-T161301 | |
| 112 | PS112p107a01 | 21.04.2018 | 20:18:36 | -61 30,02 | -54 0,03 | ja | PS112p107a01 | 00:22:34 | | | | | | | PS112-D20180421-T194919 | |
| 113 | PS112p108a01 | 21.04.2018 | 23:31:35 | -61 14,95 | -53 54,01 | ja | PS112p108a01 | 00:19:12 | | | | | | | PS112-D20180421-T231129 | |
| 114 | PS112p109a01 | 22.04.2018 | 02:27:57 | -61 0,22 | -53 59,91 | ja | PS112p109a01 | 00:20:08 | | | | | | | PS112-D20180422-T021136 | |
| 115 | PS112p110a01 | 22.04.2018 | 11:01:40 | -61 18,42 | -54 54,38 | ja | PS112p110a01 | 00:33:57 | | | | | | | PS112-D20180422-T103321 | |
| 116 | PS112p110a08 | 23.04.2018 | 02:29:13 | -61 22,42 | -54 45,37 | nein | | | | | | | | | PS112-D20180423-T021549 | |
| 117 | PS112p111a05 | 23.04.2018 | 12:58:47 | -61 1,28 | -54 47,37 | ja | PS112p111a05 | 00:37:24 | PS112p111b05 | 00:17:47 | | | | | PS112-D20180423-T213413 | |
| 118 | PS112p111a28 | 24.04.2018 | 16:34:58 | -61 2,48 | -55 7,98 | nein | | | | | | | | | PS112-D20180424-T145334 | |
| 119 | PS112p111a29 | 24.04.2018 | 17:17:13 | -61 2,46 | -55 7,72 | nein | | | | | | | | | PS112-D20180424-T165648 | |

| Nr. | CTD_Station | Datum | Time(UTC) | Pos./Lat(°) | Pos./Long(°) | DOC_Video | filename_Video_I | Länge | filename_Video_II | Länge | filename_Video_III | Länge | filename_Video_IV | Länge | EK60_Data | EK60_Data |
|-----|--------------|------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|-------|-------------------|-------|--------------------------|--------------------------|
| 120 | PS112p111a30 | 24.04.2018 | 18:07:24 | -61 2,53 | -55 6,97 | nein | | | | | | | | | | |
| 121 | PS112p111a32 | 24.04.2018 | 19:02:37 | -61 2,14 | -55 5,63 | ja | PS112p111a32 | 00:17:47 | | | | | | | PS112-D20180424-T165648 | PS112-D20180424-T190058 |
| 122 | PS112p113a01 | 25.04.2018 | 01:54:09 | -61 19,6 | -55 34,24 | ja | PS112p113a01 | 00:16:39 | | | | | | | PS112-D20180425-T005620 | PS112-D20180425-T005620 |
| 123 | PS112p114a01 | 25.04.2018 | 04:28:38 | -61 14,32 | -55 54,19 | ja | PS112p114a01 | 00:14:11 | | | | | | | PS112-D20180425-T025718 | PS112-D20180425-T025718 |
| 124 | PS112p116a01 | 25.04.2018 | 10:06:02 | -61 3,53 | -55 45,33 | ja | PS112p116a01 | 00:13:52 | | | | | | | PS112-D20180425-T090030 | PS112-D20180425-T090030 |
| 125 | PS112p117a01 | 25.04.2018 | 13:52:56 | -60 54,44 | -55 45,52 | ja | PS112p117a01 | 00:20:08 | | | | | | | PS112-D20180425-T125613 | PS112-D20180425-T125613 |
| 126 | PS112p118a03 | 25.04.2018 | 21:35:26 | -60 58,57 | -54 58,92 | ja | PS112p118a03 | 00:37:20 | PS112p118b03 | 00:10:42 | | | | | PS112-D20180425-T1210958 | PS112-D20180425-T1210958 |
| 127 | PS112p118a10 | 26.04.2018 | 12:34:55 | -60 56,39 | -55 10,42 | nein | | | | | | | | | PS112-D20180426-T122824 | PS112-D20180426-T122824 |
| 128 | PS112p119a03 | 26.04.2018 | 16:46:21 | -60 59,99 | -54 35,68 | ja | PS112p119a03 | 00:35:26 | | | | | | | PS112-D20180426-T160448 | PS112-D20180426-T170922 |
| 129 | PS112p120a04 | 27.04.2018 | 15:30:30 | -60 57,67 | -54 44,71 | ja | PS112p120a04 | 00:37:19 | PS112p120b04 | 00:09:08 | | | | | PS112-D20180427-T143027 | PS112-D20180427-T153728 |
| 130 | PS112p121a02 | 28.04.2018 | 13:22:20 | -60 58,1 | -54 52,25 | ja | PS112p121a02 | 00:37:20 | PS112p121b02 | 00:07:11 | | | | | PS112-D20180428-T130238 | PS112-D20180428-T130238 |
| 131 | PS112p122a02 | 29.04.2018 | 13:27:40 | -60 58,96 | -54 55,71 | ja | PS112p122a02 | 00:37:20 | PS112p122b02 | 00:05:22 | | | | | PS112-D20180429-T125655 | PS112-D20180429-T140321 |
| 132 | PS112p122a14 | 30.04.2018 | 12:55:13 | -60 57,09 | -54 58,17 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180430-T120041 | PS112-D20180430-T130559 |
| 133 | PS112p124a01 | 30.04.2018 | 17:21:28 | -61 8,09 | -54 19,89 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180430-T162746 | PS112-D20180430-T162746 |
| 134 | PS112p125a01 | 30.04.2018 | 23:01:27 | -61 22,16 | -54 11,16 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180430-T230025 | PS112-D20180430-T230025 |
| 135 | PS112p126a01 | 01.05.2018 | 05:02:10 | -61 13,67 | -53 38,76 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180501-T035303 | PS112-D20180501-T035303 |
| 136 | PS112p127a01 | 01.05.2018 | 16:09:12 | -60 44,39 | -53 59,39 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180501-T155323 | PS112-D20180501-T155323 |
| 137 | PS112p128a01 | 01.05.2018 | 21:46:42 | -60 31,51 | -53 59,68 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180501-T200222 | PS112-D20180501-T200222 |
| 138 | PS112p129a01 | 02.05.2018 | 00:06:55 | -60 14,95 | -53 59,98 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180502-T001107 | PS112-D20180502-T001107 |
| 139 | PS112p130a01 | 02.05.2018 | 01:57:43 | -60 2,03 | -53 59,95 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180502-T062506 | PS112-D20180502-T062506 |
| 140 | PS112p131a02 | 02.05.2018 | 07:07:36 | -60 1,02 | -55 3,04 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180502-T062506 | PS112-D20180502-T062506 |
| 141 | PS112p132a02 | 02.05.2018 | 22:05:48 | -58 21,38 | -58 36,82 | nein | demontiert | | | | | | | | PS112-D20180502-T212121 | PS112-D20180502-T212121 |

Diagramme zur Auswertung bzgl. Korrelationen zw. den CTD-Parametern für Krill und Salpen





verwendete Formeln zur Berechnung der Regressionsgeraden

$$a = \frac{n * \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) * (\sum_{i=1}^n y_i)}{\Delta} \quad (9)$$

$$b = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2) * (\sum_{i=1}^n y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i) * (\sum_{i=1}^n x_i y_i)}{\Delta} \quad (10)$$

$$\Delta = n * (\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \quad (11)$$

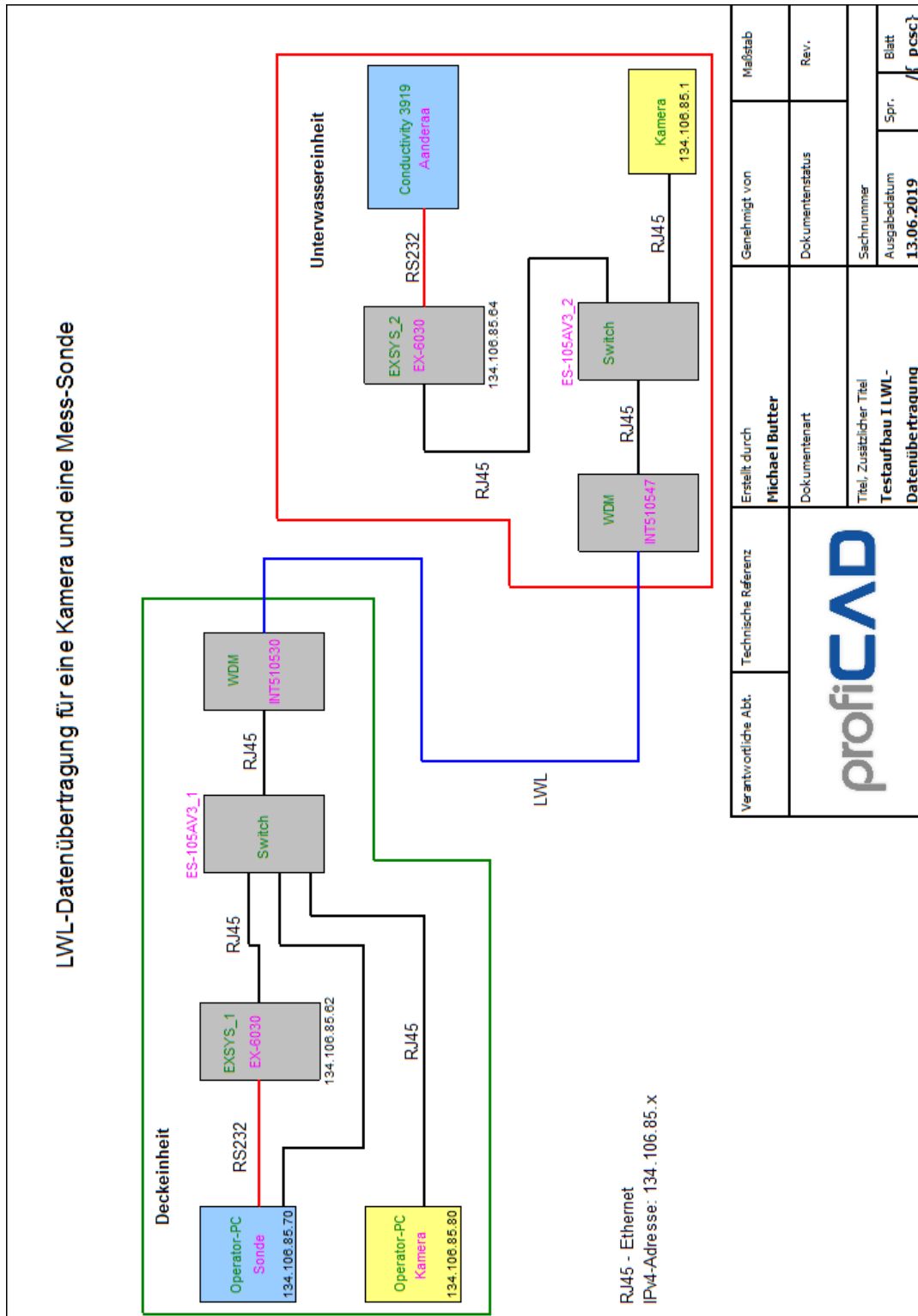
- a = Steigung bzw. Regressionskoeffizient
- b = Achsenabschnitt
- Δ = Messwerte-Bereich von x
- n = Anzahl der Messwerte
- x_i = Messwerte der x-Achse
- y_i = Messwerte der y-Achse

Formel zur Berechnung des Korrelationskoeffizient

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2) * (\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2)}}, \text{ für } -1 \leq r \leq 1 \quad (12)$$

- r = Korrelationskoeffizient
- n = Anzahl der Messwerte
- x_i = Messwerte der x-Achse
- y_i = Messwerte der y-Achse
- \bar{x} = Mittelwert der x-Koordinate
- \bar{y} = Mittelwert der y-Koordinate

Blockschaltplan Testaufbau "LWL-Datenübertragung für Kamera und Sensor"



Produkt-Recherche Unterwasserkameras

Recherchliste I für Unterwasserkamera zur Konzeptentwicklung Live-Bild-Kamerasystem


| Kamera | | Unterwasser-Kameras | |
|--------|---|-----------------------|---|
| Nr. | Name | Firma | Features |
| 1 | UW/VCAM | devologie GmbH | <p>Camera: Go Pro HD Hero3+ Black Edition</p> <p>R-3232 configuration port</p> <p>Pressure sensor: Programmable pressure level for recording start/stop</p> <p>Max. video resolution and frame rates: 4k (12.5fps) / 1080p (Full HD, 50fps)</p> <p>Max. still image resolution: 12MP / Time lapse possible</p> <p>Supports up to 2.UW/LDS LED lights</p> <p>External analog/digital trigger for light on/off</p> <p>Image rates between 1/30 and 1/2000</p> <p>F1.8 to F16</p> <p>External HDMI and composite video port optional</p> <p>Download via USB (available on underwater connector)</p> |
| 2 | Vertem™ SeaCam™ VSC-1080 | Deepsca Power & Light | <p>Full HD Resolution, 10k optical zoom</p> <p>Lens: 3.2 to 32mm, F1.8 to F13.4</p> <p>Focus: wide 10 mm, Tele: 25 mm</p> <p>FOV: Wide 85° D x 79° H x 49° V, Tele: TBD</p> <p>Image Sensor: 1/3" CMOS Progressive Scan</p> <p>Video output: HD-SDI, 36-SDI, 25/30/50/60 fps</p> <p>Control Interface: RS-232, RS-485, Trislate (zoom/focus, auto focus)</p> |
| 3 | IP Multi SeaCam™ IPMSC-3070 IPMSC-3105 | Deepsca Power & Light | <p>Lens: 2.7mm, F1.7, 9</p> <p>Focus: fixed / 100mm ~ infinity</p> <p>FOV: 72° H x 42° V (IPMSC-3070), 105° H x 60° V (IPMSC-3105)</p> <p>Image Sensor: 1/2.8" CMOS, 1920 x 1080</p> <p>Analog Video Output: CVBS, NTSC/PAL</p> <p>Video Compression: H.264, MJPEG</p> <p>Integrated Recording: HD MPEG Video, HD JPEG Stills</p> <p>Connector: Ethernet</p> |
| 4 | APDS™ SeaCam™ APDS-4070 | Deepsca Power & Light | <p>Lens: 3.5 ~ 46.8 mm, F1.8 to F17.0</p> <p>Focus: Wide 1.10 mm ~ infinity, Tele 850 mm ~ infinity</p> <p>FOV: Wide 72° H x 44° V x 80° D, Tele: 3.2° H x 1.8° V x 3.6° D</p> <p>Image Sensor: 1/2.3" 8 MP CMOS</p> <p>Control Interface: RS-232, RS-485</p> <p>HD Video Output and 4k UHD Video Output</p> <p>Connector: Fiber, Coax, Fieldlink</p> |
| 5 | IP APEX™ SeaCam™ IPMSC-4070 | Deepsca Power & Light | <p>Lens: 3.5 ~ 46.8 mm, F1.8 to F17.0</p> <p>Focus: Wide 1.10 mm ~ infinity, Tele 850 mm ~ infinity</p> <p>FOV: Wide 72° H x 44° V x 80° D, Tele: 3.2° H x 1.8° V x 3.6° D</p> <p>Image Sensor: 1/2.3" 8 MP CMOS</p> <p>Video Compression: H.264, H.265, MJPEG</p> <p>max frame Rate: 30 fps</p> <p>Control Interface: RS-232, RS-485, 4k UHD MPEG Video</p> <p>Connector: Ethernet</p> |
| 6 | HD Multi SeaCam™ HDMSC-3085 HDMSC-3145 | Deepsca Power & Light | <p>Lens: 2.5 mm, F2.8 (HDMSC-3085); 2.0 mm, F3.0 (HDMSC-3145)</p> <p>Focus: fixed</p> <p>FOV: 85° H x 50° V x 95° D (HDMSC-3085); 45° H x 48° V x 165° D (HDMSC-3145)</p> <p>Image Sensor: 1/3" 2.2 CMOS</p> <p>HD Video Output: HD-SDI 1.5Gb/s, 1080p/30</p> <p>Analog Video Output: CVBS, NTSC/PAL</p> |
| 7 | HD Zoom SeaCam™ HDZSC-045 | Deepsca Power & Light | <p>Lens: 4.3 mm ~ 129 mm, F1.6 to F17</p> <p>Focus: Wide 10mm ~ infinity, Tele: 1200 mm ~ infinity</p> <p>FOV: (Wide) 37° H x 27° V x 53° D, (Telephoto) 1.7° H x 1° V x 2° D</p> <p>Image Sensor: 1/3" 2.1 MP CMOS</p> <p>HD-SDI 1.5Gb/s</p> <p>1080p/60, 1080p/59.94, 1080p/50, 1080p/30, 1080p/29.97, 1080p/25, 1080p/60, 1080p/59.94, 1080p/50, 720p/60, 720p/59.94, 720p/50, 720p/30, 720p/29.97, 720p/25</p> <p>Connector: Fieldlink, Coax</p> |
| 8 | Miniatur HD Camera LSC-HD-Bowtech LSC-HDX-Bowtech | Teledyne Marine | <p>Focus: -</p> <p>FOV: 60° H x 37° V x 67° D</p> <p>Image Sensor: 1/3" 2.2 MP CMOS</p> <p>HD-SDI Outputs: 720p/50/60, 1080i/50/60, 1080p/50/60</p> <p>Connector: Coax</p> |
| 9 | Surveyor-HD-Pro-Bowtech | Teledyne Marine | <p>HS: Automatic, 11.6 to close</p> <p>Focus Control: 10mm to infinity (wide), 1500mm to infinity (zoom)</p> <p>Optical Zoom: 30x1, 4.6mm to 138.0mm focal length</p> <p>FOV: 100° D in water</p> <p>Window: Fused Quartz Hemisphere</p> <p>Image Sensor: 1/2.8" sensor CMOS</p> <p>HD Format: 720p/60, 1080i/50/60, 1080p/50/60</p> <p>Control Interface: RS-232, RS-485, Trislate (zoom/focus, auto focus)</p> <p>Control Interface: RS-232, RS-485, Bluetooth tablet control</p> |
| Kamera | | Unterwasser-Kameras | |
| Nr. | Name | Firma | Features |
| | | | <p>Recording Modus</p> <p>Pressure controlled mode</p> <p>Time controlled mode (real time clock)</p> <p>Interface / Trigger controlled mode</p> <p>Power supply</p> <p>11 V ~ 40 V</p> |
| | | | <p>Operating Depth</p> <p>6.000 m</p> |
| | | | <p>Dimension</p> <p>diameter 125mm</p> <p>length 160mm</p> |
| | | | <p>Preis (€)</p> <p>noch nicht auf den Markt</p> |
| | | | <p>Links</p> <p>http://www.devologie.de/product/underwater-camera-systems/uw/vcam/</p> <p>http://www.devologie.de/wp-content/uploads/2015/04/Underwater-VideoCamera-04-2015.pdf</p> |
| | | | <p>Recording Modus</p> <p>Pressure controlled mode</p> <p>Time controlled mode (real time clock)</p> <p>Interface / Trigger controlled mode</p> <p>Power supply</p> <p>10 ~ 36 VDC, Power Over Ethernet (IEEE802.3af)</p> <p>max 10W (Fiber Optic), max 7W (Fieldlink and Coax)</p> <p>Operational Temperature</p> <p>-5° C to 40° C</p> |
| | | | <p>Operating Depth</p> <p>6.000 or 11.000 m</p> |
| | | | <p>Dimension</p> <p>diameter 202,7 mm</p> <p>length 279,1 mm</p> |
| | | | <p>Preis (€)</p> <p>8.000,-</p> |
| | | | <p>Links</p> <p>http://www.deepsca.com/portfolio-items/ip-multi-seacam/</p> <p>http://www.deepsca.com/wp-content/uploads/IPMultiSeaCam_Specifications.pdf</p> |
| | | | <p>Recording Modus</p> <p>Pressure controlled mode</p> <p>Time controlled mode (real time clock)</p> <p>Interface / Trigger controlled mode</p> <p>Power supply</p> <p>10 ~ 36 VDC, Power Over Ethernet (IEEE802.3af)</p> <p>max 2 W</p> <p>Operational Temperature</p> <p>TBD</p> |
| | | | <p>Operating Depth</p> <p>6.000 m (9070)</p> <p>6.000 or 11.000 m (3105)</p> |
| | | | <p>Dimension</p> <p>IPMSC-3070</p> <p>diameter 56,4 mm</p> <p>length 102,8 mm</p> <p>IPMSC3105</p> <p>diameter 69,1 mm</p> <p>length 124 mm</p> |
| | | | <p>Preis (€)</p> <p>18.000,-</p> |
| | | | <p>Links</p> <p>http://www.deepsca.com/portfolio-items/apex-seacam/</p> <p>http://www.deepsca.com/wp-content/uploads/APeXSeaCam_Specifications.pdf</p> |
| | | | <p>Recording Modus</p> <p>Pressure controlled mode</p> <p>Time controlled mode (real time clock)</p> <p>Interface / Trigger controlled mode</p> <p>Power supply</p> <p>10 ~ 36 VDC</p> <p>max 2 W, max 200mA</p> <p>Operational Temperature</p> <p>-10° C to 40° C</p> |
| | | | <p>Operating Depth</p> <p>4.000 m (AI)</p> <p>6.000 m (TI)</p> |
| | | | <p>Dimension</p> <p>HDMSC-3085</p> <p>diameter 56,4 mm</p> <p>length 102,8 mm</p> <p>HDMSC-3145</p> <p>diameter 69,1 mm</p> <p>length 124 mm</p> |
| | | | <p>Preis (€)</p> <p>2.470,- (H)</p> <p>2.765,- (HO)</p> |
| | | | <p>Links</p> <p>http://www.deepsca.com/portfolio-items/hd-multi-seacam/</p> <p>http://www.deepsca.com/wp-content/uploads/HDMultiSeaCam_Specifications.pdf</p> |
| | | | <p>Recording Modus</p> <p>Pressure controlled mode</p> <p>Time controlled mode (real time clock)</p> <p>Interface / Trigger controlled mode</p> <p>Power supply</p> <p>10 ~ 36 VDC</p> <p>max 9 W</p> <p>Operational Temperature</p> <p>-5° C to 60° C</p> |
| | | | <p>Operating Depth</p> <p>2.000 m (AI)</p> <p>6.000 m (TI)</p> |
| | | | <p>Dimension</p> <p>Ø 56,5 mm x</p> <p>length 256,6 mm</p> |
| | | | <p>Preis (€)</p> <p>2.470,- (H)</p> <p>2.765,- (HO)</p> |
| | | | <p>Links</p> <p>http://www.deepsca.com/portfolio-items/hd-zoom-seacam/</p> <p>http://www.deepsca.com/wp-content/uploads/HDZoomSeaCam_Specifications.pdf</p> |
| | | | <p>Recording Modus</p> <p>Pressure controlled mode</p> <p>Time controlled mode (real time clock)</p> <p>Interface / Trigger controlled mode</p> <p>Power supply</p> <p>12 ~ 24 VDC</p> <p>max 2,4 W, max 200 mA</p> <p>Operational Temperature</p> <p>-10° C to 50° C</p> |
| | | | <p>Operating Depth</p> <p>1.000 m</p> <p>4.000 m</p> <p>6.000 m</p> |
| | | | <p>Dimension</p> <p>Ø 31 mm x</p> <p>138,0 mm (1.000m)</p> <p>139,5 mm (4.000m)</p> <p>142,5 mm (6.000m)</p> |
| | | | <p>Preis (€)</p> <p>21.235,-</p> |
| | | | <p>Links</p> <p>http://www.teledynemarine.com/surveyor-hd-pro/brandip-5</p> <p>http://www.teledynemarine.com/List/Downloads/Surveyor-HD-Pro-052016a16.pdf</p> |

| Nr. | Name | Firma | Features | other | Operating Depth | Dimension | Preis (€) | Links |
|-----|----------------------------------|-----------------|--|---|--------------------|-------------------------------|-----------|--|
| 10 | Surveyor-WAHD -40wecch- | Teledyne Marine | Resolution 800 TV lines horizontal, pixels 1520 Hx 1080 V iris: Automatic, f1.8 to close Focus: Control: 1.0 to infinity (w/iris), 1.500mm to infinity (zoom) Optical Zoom: 10x, 1.8mm to 1.8mm optical length Digital Zoom: 12x (120x with optical zoom) FOV: 74° Di in water Window: Sapphire glass Image Sensor: 1/2.8" Exmor CMOS HD Format: 720p/50/60, 1080p/50/60, 1080p/50/60 HD Video Output: Component, HD-SDI or HD-SDI over fibre output Control Interface: RS-232, RS-485, bluetooth tablet control | Power supply 11 - 36 VDC max 400 mA Operational Temperature -20° C to 60° C | 4,000 m 6,000 m | Ø 38,4 mm length 252,7 | 17.110,- | http://www.teledynemarine.com/surveyor-wahd/ProductInfoID-26 http://www.teledynemarine.com/Lists/Downloads/Surveyor-WAHD%20(Mar%6).pdf |
| 11 | HD Zoom IP -40wecch- | Teledyne Marine | lens: 3.8 - 38mm f1.8 - f3.4 iris: Automatic FOV: 68° Di in water, 75° Di Shutter Time: 1/10000 to 1 s Image Sensor: 1/2.8" CMOS Compression: Motion JPEG, H.264 Main and Baseline Profile (MPEG-4 Part 10/AVC) Resolution: HD: 1080p 25/30/50/60 fps Frame Rate: 50/60 fps in all resolutions | Power supply 12 - 36 VDC Operational Temperature 0° C to 50° C | 4,000 m | Ø 38,4 mm length 250,9 mm | 10.985,- | http://www.teledynemarine.com/hd-zoom-ip?ProductInfoID-114 |
| 12 | LUXUS HD Inspection Camera | MacArthey | Image Sensor: 1/2.8" CMOS, 2 Megapixel iris: Automatic Focus: fixed Zoom: digital FOV: 75° H Video output: HD-SDI 1080p - 30/25 fps Connector: SubCoax Coax | Power supply 9.5 - 36 VDC 2.5 W Operational Temperature -10° C to 50° C | 4,000 m | Ø 85 mm length 150 mm | | https://www.macarthey.com/what-we-offer/systems-and-products/cameras-and-light/luxus-cameras/luxus-hd-inspection-camera/ https://www.macarthey.com/media/6429/luxus-hd-inspection-camera.pdf |
| 13 | LUXUS HD Zoom Camera | MacArthey | Image Sensor: 1/2.8" CMOS, 2 Megapixel iris: Manual or Automatic Focus: Manual or Automatic Zoom: 30x optical, 12x digital FOV: 75° H Video output: HD-SDI 1080p - 30/25 fps Connector: SubCoax Coax | Power supply 9.5 - 36 VDC 5 W Operational Temperature -5° C to 60° C | 4,000 m | Ø 126 mm length 220 mm | | https://www.macarthey.com/what-we-offer/systems-and-products/cameras-and-light/luxus-cameras/luxus-hd-zoom-camera.pdf |
| 14 | LUXUS HD Ethernet Zoom Camera | MacArthey | Image Sensor: 1/2.8" CMOS, 2 Megapixel iris: Manual or Automatic Focus: Manual or Automatic FOV: 2.0° tele - 48.0° wide (H) Video output: Ethernet (HD output 2M/px) Connector: SubCoax Ethernet | Power supply 9.5 - 36 VDC 5 W Operational Temperature -5° C to 60° C | 4,000 m | Ø 126 mm length 220 mm | | https://www.macarthey.com/what-we-offer/systems-and-products/cameras-and-light/luxus-cameras/luxus-hd-zoom-camera.pdf |
| 15 | Spinner T Shark | Imenco AS | HD-SDI Camera Image Sensor: TRD Focus: TRD Zoom: 30x optical FOV: 72° D / 65° H Connector: Dual Season CSMS connectors or SeaNet & ST Fiber | Power supply 24 V 12-36V / 7W | 6,000 m | TRD | | https://seartronics-group.com/equipment-rental/video/digital-still-luxus-luxus-tiger-shark https://seartronics-group.com/files/5614/8812/5127/Imenco_Tiger_Shark_-_Database.pdf |
| 16 | Goblin Shark | Imenco AS | IP HD Camera Video Resolution: 1080p/30fps Pixel: 100°x122°; 142°x115°; 137° H Focus: Internal Zoom: 0.1x to 10x Control: RS 232 (RS 485 optional) | Power supply 24VDC / 5W | 6,000 m | Ø 79 mm length 74 x 123 mm | | https://seartronics-group.com/equipment-rental/video/digital-still-luxus-luxus-tiger-shark https://seartronics-group.com/files/5614/8812/5127/Imenco_Tiger_Shark_-_Database.pdf |

Produkt-Recherche Industriekameras


Recherchierliste III Industriekameras zur Konzeptentwicklung Live-Bild-Kamerasystem

Allied Vision Prosilica GT


| Modell | Auflösung (Megapixel) | Bildfrequenz (Hz) | Objektivanschluss | Horizontale Auflf. | Vertikale Auflf. | Sensormformat | Listenpreis | Ihre Preis | Abmessung B x H x T in mm | GIGE Vision | Aussehen der Kamera | Einteilung Videoqualität |
|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------------|-------------|-------------------|---------------------------|-------------|---|--------------------------|
| AV GT1600C | 2,00 | 25 | C-mount | 1620 | 1220 | 1/1,8" | 1390 € * | (-5%) 1321 € * | 53,3 x 33 x 83,2 | ja |  | Full HD (2k) |
| AV GT1910C | 2,10 | 57 | C-mount | 1920 | 1080 | 2/3" | 2150 € * | (-5%) 2043 € * | | ja | | |
| AV GT1920C | 2,80 | 40 | C-mount | 1936 | 1456 | 2/3" | 2500 € * | (-5%) 2375 € * | | ja | | |
| AV GT1930C | 2,40 | 50,7 | C-mount | 1936 | 1216 | 1/1,2" | 1490 € * | (-5%) 1416 € * | | ja | | |
| AV GT1930LC EF | 2,40 | 50,7 | EF-mount | 1936 | 1216 | 1/1,2" | 2270 € * | (-5%) 2157 € * | | ja | | |
| AV GT2000C | 2,20 | 53 | C-mount | 2048 | 1088 | 2/3" | 1450 € * | (-5%) 1378 € * | | ja | | |
| AV GT2050C | 4,20 | 28 | C-mount | 2048 | 2048 | 1" | 2190 € * | (-5%) 2081 € * | | ja | | |
| AV GT2300C | 4,10 | 29 | C-mount | 2336 | 1752 | 1" | 2650 € * | (-5%) 2518 € * | | ja | | |
| AV GT2450C | 5,00 | 15 | C-mount | 2448 | 2050 | 2/3" | 2370 € * | (-5%) 2252 € * | | ja | | |
| AV GT2460C | 5,10 | 23,7 | C-mount | 2464 | 2056 | 2/3" | 1840 € * | (-5%) 1748 € * | | ja | | |
| AV GT2750C | 6,10 | 19 | C-mount | 2750 | 2200 | 1" | 2990 € * | (-5%) 2841 € * | | ja | | |
| AV GT3300C | 8,10 | 14 | F-mount | 3296 | 2472 | 4/3" | 3990 € * | (-5%) 3791 € * | | ja | | etwa 4k - Ultra HD |
| AV GT3400C | 9,20 | 13 | C-mount | 3384 | 2704 | 1" | 3990 € * | (-5%) 3791 € * | 53,3 x 33 x 92 | ja | | |

Kamera aus den Laborexperimenten
* Irrtümer und Änderungen vorbehalten. Alle Preise verstehen sich freibleibend ab Lager Puchheim und zusätzlich der gesetzlichen Mehrwertsteuer. Ohne Optik


Allied Vision Manta

| Modell | Auflösung (Megapixel) | Bildfrequenz (Hz) | Objektivanschluss | Horizontale Auflf. | Vertikale Auflf. | Sensormformat | Listenpreis | Ihr Preis | Abmessung B x H x T in mm | GIGE Vision | Aussehen der Kamera | Einteilung Videoqualität |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------------|-------------|-------------------|---------------------------|-------------|---|--------------------------|
| AV MANTA G-201C | 2,00 | 14 | C-mount | 1624 | 1234 | 1/1,8" | 990 € * | (-8%) 911 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja |  | etwa Full HD (2k) |
| AV MANTA G-201C POE | 2,00 | 14 | C-mount | 1624 | 1234 | 1/1,8" | 1040 € * | (-8%) 957 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-201C-30FPS | 2,00 | 30 | C-mount | 1624 | 1234 | 1/1,8" | 990 € * | (-8%) 911 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-201C-30FPS POE | 2,00 | 30 | C-mount | 1624 | 1234 | 1/1,8" | 1040 € * | (-8%) 957 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-223C | 2,20 | 53 | C-mount | 2048 | 1088 | 2/3" | 1240 € * | (-8%) 1141 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-223C POE | 2,20 | 53 | C-mount | 2048 | 1088 | 2/3" | 1290 € * | (-8%) 1187 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-235C | 2,40 | 50 | C-mount | 1936 | 1216 | 1/1,2" | 990 € * | (-8%) 911 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-235C POE | 2,40 | 50 | C-mount | 1936 | 1216 | 1/1,2" | 1040 € * | (-8%) 957 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-282C | 2,80 | 30 | C-mount | 1936 | 1458 | 1/1,8" | 1250 € * | (-8%) 1150 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-282C POE | 2,80 | 30 | C-mount | 1936 | 1458 | 1/1,8" | 1300 € * | (-8%) 1196 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-283C | 2,80 | 30 | C-mount | 1936 | 1458 | 2/3" | 1790 € * | (-8%) 1647 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-283C POE | 2,80 | 30 | C-mount | 1936 | 1458 | 2/3" | 1840 € * | (-8%) 1693 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |


Allied Vision Manta

| Modell | Auflösung (Megapixel) | Bildfrequenz (Hz) | Objektivanschluss | Horizontale Auflf. | Vertikale Auflf. | Sensorformat | Listenpreis | Ihr Preis | Abmessung B x H x T in mm | GigE Vision | Aussehen der Kamera | Einteilung Videoqualität |
|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------|-------------|-----------|---------------------------|-------------|---|--------------------------|
| AV MANTA G-319C | 3,20 | 38 | C-mount | 2064 | 1544 | 1/1,8" | 850 € * | 782 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja |  | |
| AV MANTA G-319C POE | 3,20 | 38 | C-mount | 2064 | 1544 | 1/1,8" | 900 € * | 828 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-419C | 4,20 | 28 | C-mount | 2048 | 2048 | 1" | 1740 € * | 1601 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-419C POE | 4,20 | 28 | C-mount | 2048 | 2048 | 1" | 1790 € * | 1647 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-504C | 5,00 | 9 | C-mount | 2452 | 2056 | 2/3" | 2100 € * | 1932 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-504C POE | 5,00 | 9 | C-mount | 2452 | 2056 | 2/3" | 2150 € * | 1978 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-505C | 5,00 | 15 | C-mount | 2452 | 2056 | 2/3" | 2100 € * | 1932 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-505C POE | 5,00 | 15 | C-mount | 2452 | 2056 | 2/3" | 2150 € * | 1978 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-507C | 5,10 | 24 | C-mount | 2464 | 2056 | 2/3" | 1120 € * | 1030 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-507C POE | 5,10 | 24 | C-mount | 2464 | 2056 | 2/3" | 1170 € * | 1076 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-895C | 8,95 | 13 | C-mount | 4112 | 2176 | 1" | 1690 € * | 1555 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | etwa 4k - Ultra HD |
| AV MANTA G-895C POE | 8,95 | 13 | C-mount | 4112 | 2176 | 1" | 1740 € * | 1601 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-917C | 9,20 | 10 | C-mount | 3384 | 2710 | 1" | 3590 € * | 3303 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |
| AV MANTA G-917C POE | 9,20 | 10 | C-mount | 3384 | 2710 | 1" | 3640 € * | 3349 € * | 44 x 29 x 86,4 | ja | | |

Teledyne Dalsa Genie TS











| Modell | Auflösung (Megapixel) | Bildfrequenz (Hz) | Objektivanschluss | Horizontale Auflf. | Vertikale Auflf. | Sensorformat | Listenpreis | Ihr Preis | Abmessung B x H x T in mm | GigE Vision | Aussehen der Kamera | Einteilung Videoqualität |
|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------|-------------|-----------|---------------------------|-------------|---|--------------------------|
| DALSA GENIE TS-C1920 | 2,20 | 53 | C-mount | 2048 | 1088 | 2/3" | 1860 € * | 1711 € * | 49 x 49 x 54 | ja |  | etwa Full HD (2k) |
| DALSA GENIE TS-C2048 | 4,20 | 26 | C-mount | 2048 | 2048 | 1" | 2560 € * | 2355 € * | 49 x 49 x 54 | ja | | |
| DALSA GENIE TS-C2500 | 5,20 | 26 | C-mount | 2560 | 2048 | 1,2" | 3240 € * | 2981 € * | 49 x 49 x 54 | ja | | |

Teledyne Dalsa Genie Nano

| Modell | Auflösung (Megapixel) | Bildfrequenz (Hz) | Objektivanschluss | Horizontale Auflf. | Vertikale Auflf. | Sensorformat | Listenpreis | Ihr Preis | Abmessung B x H x T in mm | GigE Vision | Aussehen der Kamera | Einteilung Videoqualität |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------|-------------|-----------|---------------------------|-------------|---|--------------------------|
| DALSA GENIE NANO-C1920 IRC | 2,30 | 39 | C-mount | 1936 | 1216 | 1/1,2" | 477 € * | 467 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja |  | etwa Full HD (2k) |
| DALSA GENIE NANO-C1930 IRC | 2,30 | 107 | C-mount | 1984 | 1264 | 2/3" | 620 € * | 608 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C1940 IRC | 2,30 | 84 | C-mount | 1936 | 1216 | 1/1,2" | 836 € * | 819 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C2020 IRC | 3,20 | 53,3 | C-mount | 2064 | 1544 | 1/1,8" | 505 € * | 495 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C2050 IRC | 3,20 | 82 | C-mount | 2064 | 1544 | 1/1,8" | 881 € * | 863 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C2420 IRC | 5,10 | 34,4 | C-mount | 2464 | 2056 | 2/3" | 853 € * | 836 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C2450 IRC | 5,10 | 49 | C-mount | 2464 | 2056 | 2/3" | 1265 € * | 1240 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C2590 IRC | 5,30 | 42,7 | C-mount | 2592 | 2048 | 1" | 900 € * | 882 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |
| DALSA GENIE NANO-C4030 IRC | 8,90 | 29,6 | C-mount | 4112 | 2176 | 1" | 1830 € * | 1793 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | etwa 4k - Ultra HD |
| DALSA GENIE NANO-C4160 IRC | 8,90 | 28 | C-mount | 4112 | 2176 | 1" | 2220 € * | 2176 € * | 49 x 29 x 38,9 | ja | | |

Produkt-Recherche Unterwasserbeleuchtung

Recherche II für Unterwasserbeleuchtung zur Konzeptentwicklung Live-Bild-Kamerasystem

| Nr. | Name | Firma | Features | other | Operating Depth | Dimension | Preis | Links |
|-----|---|---|---|---|--------------------------------|--|--|--|
| 1 | LED Sealite® LSI-1000 LSI-2000 | DeepSea Power & Light  | Typical Lumens Output: 10000 lm Efficacy: 63 lm/w (LSI-1000), 94 lm/w (LSI-2000) LUX @ 1m: Wide 2300 lx, Flood 5600 lx, Spot 14000 lx Color: Day Light White 70, Warm White 80 Beam Angle to 50% points: Wide 115°, Flood 75°, Spot 35° Operational Temperature: -10°C to 40°C | Voltage: 90 - 140 VAC 50/60 Hz, 110 - 160 VDC (LSI-1000) 10 - 48 VDC (LSI-2000) Power: 160 W @ 120 VAC 60 Hz (LSI-1000) 105 W @ 24 VDC Dimming: RS232, RS485, 0-5V, 0-10V, 4-20mA (LSI-2000) | 4.000 m 6.000 m 11.000 m | Ø 63 mm length ca. 100 mm | 2.800,- € (LSI-2000) | http://www.deepsea.com/portfolios/items/led-sealite/ http://www.deepsea.com/wp-content/uploads/LEDSealite_Manual.pdf |
| 2 | Sealite® Sphere 200 Series SLS-3200 SLS-5200 SLS-6200 SLS-7200 SLS-8200 | DeepSea Power & Light  | Typical Lumens Output: 3800 - 10000 lm Efficacy: 53 - 97 lm/w LUX @ 1m: 2800 - 6100 lx CRI: Day Light White 70, Warm White 80 Beam Angle: Flood 75° - 80° - Spot 35° - 45° Operational Temperature: -10°C to 40°C | Voltage: 10 - 35 VDC 43 W @ 24 V, Dimming: 0 - 5 V 20 - 35 VDC 94 W @ 24 V, Dimming: 0 - 5 V 90 - 140 VAC 120 - 150 VDC, 169 W @ 120 VAC 60 Hz 90 - 250 VDC 80 - 350 VDC, 90 W @ 220 VAC 60 Hz 2.15 - 2.75 VAC 275 - 375 VDC, 130 W @ 275 VAC Dimming SLS-6200-7200-8200: AC phase control (TRIAC) | 6.000 m 11.000 m | Ø 82 mm length ca. 136,7 mm | http://www.deepsea.com/portfolios/items/sealite-sphere-200/ http://www.deepsea.com/wp-content/uploads/SealiteSphere200Series_Manual.pdf | |
| 3 | Multiray™ LED Sealite® LSI-2025 Configuration | DeepSea Power & Light  | Typical Lumens Output: 3700 - 10000 lm LUX @ 1m: 1100 - 13000 lx CRI: Day Light White 70, Warm White 80 Beam Angle to 50% points: Wide 115°, Flood 75°, Spot 40°, 28° Operational Temperature: -10°C to 40°C | Voltage: 10 - 48 VDC Power: 105 W @ 24 VDC Dimming: RS232, RS485, 0-5V, 0-10V, 4-20mA | 4.000 m 6.000 m 11.000 m | Ø 63 mm length ca. 100 mm | http://www.deepsea.com/portfolios/items/multiray-led-sealite/ http://www.deepsea.com/wp-content/uploads/MultirayLEDSealite2025_Specifications.pdf | |
| 4 | Multi Sealite® DML | DeepSea Power & Light  | Typical Lumens Output: 350 - 7800 lm Beam: Flood 60°, Medium 40°, Spot 15° | Voltage: 12 V a 20,50,100 W 24 V a 100,150,250,300 W 120 V a 100,150,250,325 W | 6.000 m | Ø 84 mm length ca. 106 mm | http://www.deepsea.com/portfolios/items/multi-sealite/ http://www.deepsea.com/wp-content/uploads/DeepMultiSealite_Manual.pdf | |
| 5 | LED-N-Series Bowtech | Teletyne Marine  | Typical Lumens Output: 2100, 3200, 4200, 5000 lm LUX @ 1m: 720 lx (2100), 1100 lx (3200), 1520 lx (4200), 1800 lx (5000) Typical Beam Angle: 80° - 50° power points Dimming: 0-5Vdc, 0-10Vdc, Bpolar, RS485 Operational Temperature: -10°C to 40°C | Voltage: 12-36Vdc Power: 1160mA 2100, 1900mA 3200, 2900mA 4200, 3500mA 5000 @ 12V nominal 610mA 2100, 960mA 3200, 1410mA 4200, 1680mA 5000 @ 24V nominal | 6.000 m | Ø 82 mm length ca. 101 mm | http://www.teletynemarine.com/led-n-series?ProductLineID=57 http://www.teletynemarine.com/Lists/Downloads/LED-N-Series%20(Jul18).pdf | |
| 6 | LED-S-Series Bowtech | Teletyne Marine  | Typical Lumens Output: up to 10000 lm LUX @ 1m: 720 lx (2100), 1100 lx (3200), 1520 lx (4200), 1800 lx (5000) Typical Beam Angle: 20° - 80° power points Dimming: 0-5Vdc, 0-10Vdc, 0-20 mA or 4-20 mA, RS485 Operational Temperature: -10°C to 35°C | Voltage: AC: 100 - 130 V, DC: 130 - 150 V Power: 110 VAC - 210VA 120 VAC - 231 VA 130 VAC - 254 VA | 6.000 m | 51 mm (rear connector) x 102 mm (W) x 112 mm (H) | http://www.teletynemarine.com/led-s-series?ProductLineID=57 http://www.teletynemarine.com/Lists/Downloads/LED-U-Series%20(Feb16).pdf | |
| 7 | LED-U-Series Bowtech | Teletyne Marine  | Typical Lumens Output: 4200 or 7300 lm LUX @ 1m: 820 lx (4200), 1305 lx (7300) Typical Beam Angle: 80° - 50° power points Operational Temperature: -10 °C to 32 °C or -10 °C to 20 °C (7300) | Voltage: 120 VAC Power: 600mA (4200) 1000mA (7300) * nicht mehr im Programm, Sonderanfertigung | 6.000 m | Ø 82 mm length ca. 149 mm | http://www.teletynemarine.com/led-u-series?ProductLineID=57 http://www.teletynemarine.com/Lists/Downloads/LED-U-Series%20(Feb16).pdf | |
| 8 | LED-V-Series Bowtech | Teletyne Marine  | Typical Lumens Output: up to 20000 lm Typical Beam Angle: 20° - 80° power points Dimming: 0-5Vdc, 0-10Vdc, 0-20 mA or 4-20 mA, RS485 Operational Temperature: -10°C to 35°C | Voltage: AC: 100 - 130 V or 210 to 250 V DC: 130 - 150 V or 240 to 300 V Power: 110 VAC - 381 VA, 210 VAC - 490 VA 120 VAC - 425 VA, 230 VAC - 534 VA 130 VAC - 452 VA, 245 VAC - 550 VA | 6.000 m | 51 mm (rear connector) x 102 mm (W) x 112 mm (H) | http://www.teletynemarine.com/led-v-series?ProductLineID=57 http://www.teletynemarine.com/Lists/Downloads/LED-N-Series%20(Jul18).pdf | |
| 9 | Underwater LED Light UWL75 | develegic GmbH  | Typical Beam Angle: 170° Dimmable, non-flickering Light 30x LED Cree XP-G2 | Voltage: 11 - 40 V Power: max. 75 W | 6.000 m | Ø 78 mm length ca. 100 mm | http://www.develegic.de/products/under-water-camera-systems/uwl-75/ http://www.develegic.de/wp-content/uploads/2015/04/LED-light-04-2015.pdf | |
| 10 | SeaLED 300/300 L | Immero smart solutions  | Light output: 15000 Lumen Light temperature: 3200 K Light beam angle: 40° / 80° - or optional Light regulation area: 0 - 100 % | Power: 110 V AC / DC - 176 W Regulation: Triac, 0 - 10 V DC, RS232 and RS485 | 6.000 m | 108x196x61 mm | https://merco.no/product/sea-led-300/ https://merco.no/wp-content/uploads/2013/09/PS-SeaLED-300-V15-1.pdf | |