

**Abschlussbericht**  
über das  
FuE Verbundvorhaben

**Bionic Observation and Survey System**

Teilprojekt:  
**Entwicklung und Integration von schnellen, hochfrequenten  
Messsystemen in den Bionischen Manta**

Kurzbezeichnung:  
**“TIMM-BOSS”**

Förderkennzeichen: 03SX361B

Berichtszeitraum: 01. April 2013 - 31. März 2017



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03SX361B gefördert**

**Projektleiter:**

Gerd Seidel

**Sea & Sun Technology GmbH**  
Arndtstrasse 9-13  
24610 Trappenkamp

**Tel.: 04323/80203250**  
Email: [seidel@sea-sun-tech.com](mailto:seidel@sea-sun-tech.com)  
[www.sea-sun-tech.com](http://www.sea-sun-tech.com)

## Inhaltsverzeichnis

1	Projektdarstellung .....	4
1.1	Aufgabenstellung.....	4
1.1.1	Von der Sea & Sun Technology GmbH zu entwickelnde Komponenten .....	5
1.1.1.1	Multiparametersonde .....	5
1.1.1.2	LED-Beleuchtung .....	5
1.1.1.3	Kamera .....	5
1.1.1.4	Video-Server .....	5
1.1.1.5	Micro Struktur Sonde .....	5
1.1.1.6	Telemetrie .....	5
1.1.2	Platzierung der Komponenten .....	6
1.1.3	Komponenten im eingebauten Zustand.....	6
1.1.4	Anforderungen für die einzelnen Komponenten des Projektes.....	7
1.2	Voraussetzungen der Projektdurchführung.....	7
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	8
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik .....	9
1.4.1	Quellennachweis .....	9
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	10
2	Eingehende Darstellung der durchgeführten Entwicklungen .....	10
2.1	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse .....	10
2.1.1	Konzept- und Entwurfsphase .....	10
2.1.2	Innovative Grundlagenforschung .....	10
2.1.3	Entwickelte Komponenten .....	10
2.1.3.1	Multiparameter Sonde .....	10
2.1.3.1.1	Anschluss-Stecker.....	11
2.1.3.1.2	Beschreibung der Hardware.....	11
2.1.3.1.3	Digital-Board .....	12
2.1.3.1.4	Analog-Board.....	12
2.1.3.1.5	Ethernet-Board.....	12
2.1.3.1.6	Drucksensor .....	12
2.1.3.1.7	Temperatursensor.....	12
2.1.3.1.8	Leitfähigkeitssensor .....	13
2.1.3.2	Optionale Sensoren .....	15
2.1.3.2.1	Sauerstoffsensoren .....	16
2.1.3.2.2	Fluorometer .....	18
2.1.3.2.3	Linearität .....	18
2.1.3.3	Video-Systeme.....	20
2.1.3.3.1	Beleuchtung .....	20
2.1.3.3.2	Video-Server.....	22
2.1.3.3.3	LED-Kontroller-Modul (4) .....	24
2.1.3.3.4	Ethernet Switch (2).....	24
2.1.3.3.5	Videoserver (1).....	25

## Bionic Observation and Survey System

2.1.3.3.6	Trilevelsync Offsetgenerator (11) .....	25
2.1.3.3.7	Leistungsschalter I (5) .....	25
2.1.3.3.8	Leistungsschalter II (6) .....	25
2.1.3.3.9	Trilevelsync-Umschalter (7).....	26
2.1.3.4	Kamera .....	27
2.1.3.4.1	Auswahl:.....	27
2.1.3.4.2	Beschreibung der Kamera .....	27
2.1.3.4.3	Synchronisierung der Kameras.....	30
2.1.3.5	Micro Struktur Sonde .....	32
2.1.3.5.1	Entwicklung eines Moduls zur Steuerung und Speicherung der Sondendaten .....	32
2.1.3.5.2	Sensorik der Mikrostruktursonde .....	34
2.1.3.6	Telemetrie .....	36
2.1.3.6.1	Vorgaben .....	36
2.1.3.6.2	Kabel für Daten und Stromversorgung .....	36
2.1.3.6.3	Übersicht der möglichen Übertragungstechniken .....	36
2.1.3.6.4	Ergebnis:.....	38
2.1.3.6.5	Powerline Modem.....	38
2.1.3.7	Deckseinheit .....	39
2.1.3.7.1	Versorgung.....	40
2.1.3.7.2	Auswahl von Kabel, Netzteil und Wandler .....	40
2.1.3.7.2.1	Kabel:.....	40
2.1.3.8	Unterwassereinheit .....	42
2.1.3.8.1	Ethernet-Switch.....	42
2.1.3.9	Kamera und Lampe.....	44
2.2	Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	46
2.3	Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	46
2.4	Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplan .....	46
2.5	Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	47
2.6	Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses .....	47
3	Abbildungsverzeichnis .....	48
4	Anlagen.....	49

## 1 Projektdarstellung

### 1.1 Aufgabenstellung

In dem FuE Verbundprojekt "Bionic Observation and Survey System", kurz BOSS wurde ein bionisches Unterwasserfahrzeug in Form eines Manta-Rochens entwickelt, das über neuartige Gebrauchseigenschaften verfügt und die robuste und effiziente Bewältigung vielschichtiger Inspektions- und Monitoring-Aufgaben, insbesondere auch in bisher noch nicht oder nur schwer zugänglichen Meeresbereichen, ermöglichen soll. Dieses Fahrzeug ist in der Lage, mit mehreren gleichartigen Fahrzeugen im Schwarm-Verbund zu agieren. Dadurch sind folgende Einsatz-Szenarien möglich:

- Kostengünstiger Ersatz für Forschungsschiffe (kann während der Einsätze Parallelmessungen vornehmen)
- Autonomes Datenaufnahmegerät zur Messung verschiedenster Wasserparameter
- Erkundung von Bodenformationen
- Ist in geringen Wassertiefen einsetzbar (klarer Vorteil zu anderen Geräten)
- Durch die Integration von Umweltparametern können autonome Messkampagnen durchgeführt werden

#### Limnologie

- Überwachung von Talsperren (optisch), Fließgewässern, Seen
- Kostengünstige Messung von Parametern zur Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

#### Offshore-Industrie

- Überwachung von Pipelines
- Überwachung von Trägersystemen und Tragkonstruktionen (Windkraft)
- Keine Schäden an dem zu untersuchenden Objekt möglich, da das Fahrzeug aus weichen Materialien besteht.

#### Marine

- Durch seine Form (Manta) nicht oder sehr schwer detektierbar
- Durch die Schwarmbildung ist die Absicherung eines Verbandes möglich

Die Entwicklung wurde von drei Projektpartnern durchgeführt:

- Die Evologics GmbH mit Sitz in Berlin hat das eigentliche Fahrzeug entwickelt.
- Für die Unterwasserkommunikation hat die Fachhochschule Lübeck ein dynamisches mobiles Unterwasser-Intranet auf Basis von heterogener flexibler Ad-Hoc-Vernetzung entwickelt.
- Die Sea & Sun Technology GmbH war für die Entwicklung der "Sinnesorgane" d.h. Sensorik und Kamera-Systeme inkl. Beleuchtung, Speicherung der aufgenommenen Daten und Videos sowie die synchronisierter Ansteuerung der Systeme zuständig.

Die Sea & Sun Technology entwickelte zudem noch eine Telemetrie, mit der die Akkus der Fahrzeuge unter Wasser aufgeladen und zugleich die gesammelten Daten ausgelesen und an

die Wasseroberfläche transportiert werden können. Zugleich kann über eine mitgelieferte Kamera inkl. Beleuchtung der Andockvorgang des Manta-Rochens überwacht bzw. gesteuert werden.

### 1.1.1 Von der Sea & Sun Technology GmbH zu entwickelnde Komponenten

#### 1.1.1.1 Multiparametersonde

Weiterentwicklung der CTD48 mit verrechneten Daten (physikalische Werte) und erweiterter Schnittstelle (LAN).

Ausstattung : 1 x Sonde pro Fahrzeug (insgesamt 4 Sonden)  
1 x Sonde optional mit Fluorometer und Sauerstoffsensor  
(insgesamt 2 Sonden)

Hinweis: wenn das Fahrzeug nicht mit einer optionalen Sonde bestückt wird, wird eine „Dummy-Sonde“ zur Austarierung des Fahrzeugs installiert  
(insgesamt 2 Sonden)

#### 1.1.1.2 LED-Beleuchtung

mit analoger Standard-Schnittstelle (0-5V und 0-10V) und zusätzlicher digitaler Schnittstelle (RS485).

Ausstattung pro Fahrzeug: 2 x LED-Lampen (Regelung befindet sich in den Gehäusen der Video-Server, insgesamt 8 Lampen)

Ausstattung Docking-Station: 1 x LED-Lampe mit integrierter Steuerung

#### 1.1.1.3 Kamera

Kleine leistungsfähige digitale Kamera, die für Stereo-Aufnahmen (Synchronisation) geeignet ist.

Ausstattung pro Fahrzeug: 2 x synchronisierbare Kameras (insgesamt 8 Kameras)

Ausstattung Docking-Station: 1 x IP-Kamera (insgesamt 1 Kamera)

#### 1.1.1.4 Video-Server

Der Video-Server dient zur:

- Speicherung von Video-Sequenzen in HD-Qualität
- Steuerung von Kameras und Lampen
- Schnittstelle zum Zentralrechner des Fahrzeugs
- Datenreduktion der Video-Signale auf SD-Qualität zur Weiterleitung an den Zentralrechner
- Ausstattung pro Fahrzeug: 2 x (für jede Kamera bzw. Beleuchtungseinheit, insgesamt 8 Video-Server)

#### 1.1.1.5 Micro Struktur Sonde

Erweiterung der bestehenden MSS mit Umrechnung in verrechnete Daten, Speicherung der Daten und digitaler Schnittstelle für das Auslesen der Daten (LAN)

Lieferung: 1 x Sonde zur optionalen Bestückung eines Fahrzeugs

#### 1.1.1.6 Telemetrie

Telemetrie für relativ kurze Entfernungen (50m Wassertief). Die bestehende Telemetrie kann durch Einsatz eines kostengünstigeren Modems eingesetzt werden.

Ausstattung Docking-Station: 1 x

1.1.2 Platzierung der Komponenten

1.1.3 Komponenten im eingebauten Zustand.

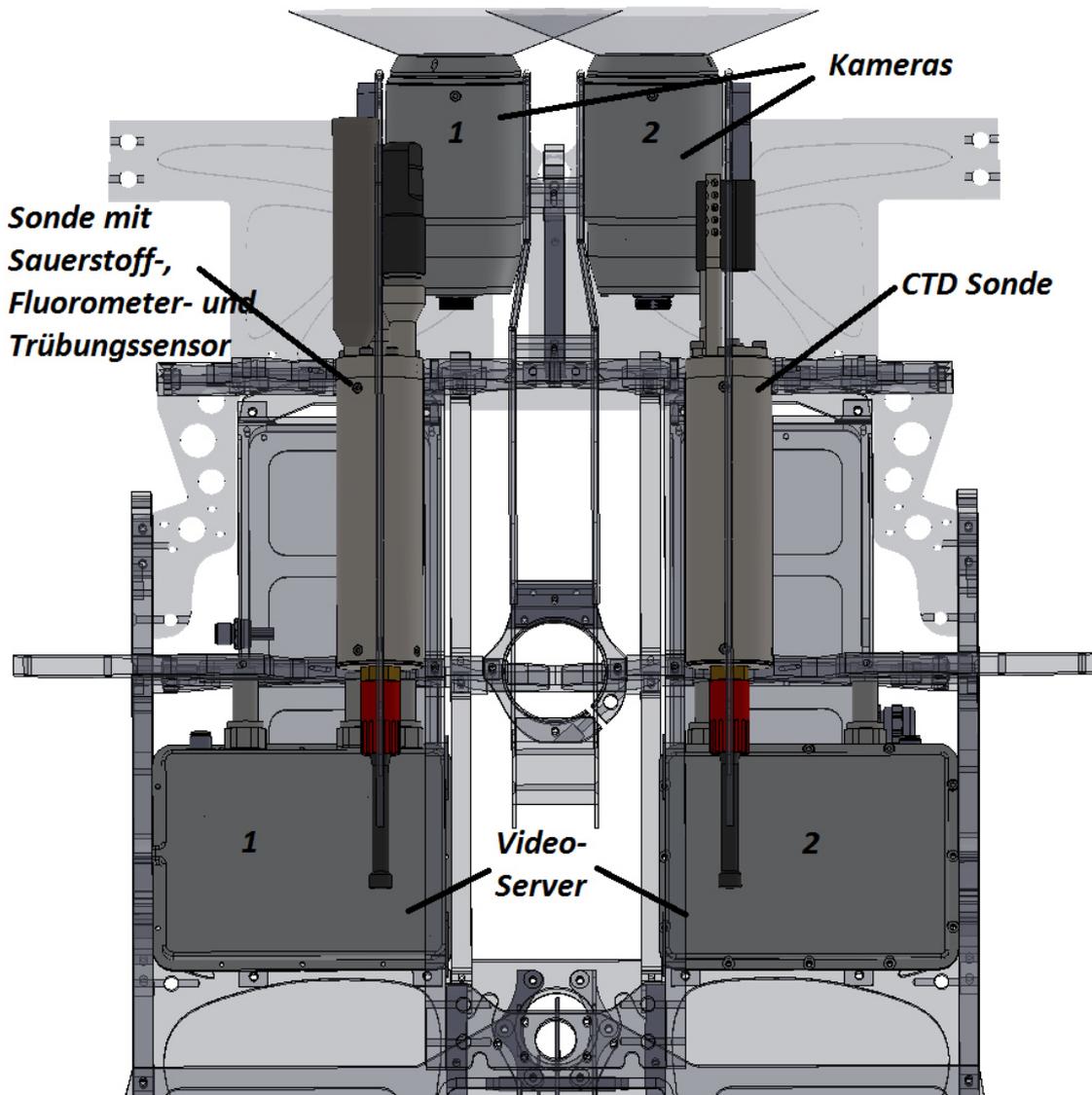


Abbildung 1 - Platzierung der SST-Komponenten

Die CTD Sonde ist als feste Komponente im Fahrzeug eingebaut. Sie liefert den Druck zur Bestimmung der Tiefe, misst die Leitfähigkeit und Temperatur und berechnet daraus die Dichte, den Salzgehalt und die Schallgeschwindigkeit. Die zweite Sonde kann je nach Mission mit zusätzlichen Sensoren bestückt werden. Eine mögliche Kombination wäre die Bestückung mit einem optischen Sauerstoffsensor, einem Fluorometer. Wenn keine optionale Sonde benötigt wird, muss der Platz durch eine Dummy-Sonde zur Austarierung des Fahrzeugs bestückt werden.

Die zwei Kamerasysteme bestehend aus jeweils einer Kamera, einer LED-Beleuchtung und einer Steuer- und Speichereinheit (Video-Server) sind miteinander gekoppelt bzw. synchronisiert.

### 1.1.4 Anforderungen für die einzelnen Komponenten des Projektes

- Wassertiefer 50m +20% Sicherheit (Tiefseetauglichkeit wird langfristig angestrebt)
- Möglichst geringes Gewicht im Wasser (muss ansonsten durch Auftriebskörper ausgeglichen werden)
- Kleine mechanische Abmessungen
- Geringer Energieverbrauch (evtl. einzelne Komponenten abschaltbar)
- Speisung aus zentralem Akku
- *Leichte Handhabung (Montage – Demontage), keine fest vergossenen Leitungen*

### 1.2 Voraussetzungen der Projektdurchführung

Die Firma Sea & Sun Technology GmbH konnte mit Hilfe des Projektes und der damit verbundenen Förderung seine Produkte weiterentwickeln und das Portfolio deutlich erweitern. Aufgrund des Projektes wurden neue Mitarbeiter eingestellt. Leider wurde das Unternehmen durch den Tod eines Investors stark finanziell geschwächt. Dies hatte einen Personalabbau zufolge, der aber aufgrund des geförderten Projektes zumindest im Bereich der Entwicklungsabteilung zu keiner erheblichen Reduzierung des Personals führte.





- Konstruktionszeichnungen Evologics GmbH
- Mestech – Datenblatt Power Line Technik
- ISW – Dr. Prandke / Mikrostruktursensorik
- Datenblatt – XPICO (KSZ8895MQX)

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Außer dem Einkauf von Teilkomponenten bestand während des Vorhabens keine Zusammenarbeit mit Dritten außerhalb des Projektverbunds.

## 2 Eingehende Darstellung der durchgeführten Entwicklungen

### 2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

#### 2.1.1 Konzept- und Entwurfsphase

Das Arbeitspaket 1 diente der Erarbeitung von Lösungswegen und Konzepten für BOSS sowie der Präzisierung der Meilensteinplanung, zusammen mit den Projektpartnern EvoLogics und Fachhochschule Lübeck. Hierzu wurden mehrere Treffen veranstaltet, bei denen sich die Projektpartner gemeinsam austauschten und die Basisentwürfe der Teilsysteme und des Gesamtsystems ausarbeiteten.

Bei diesen Treffen wurde im Vorwege eine Basisausstattung für die BOSS-Trägerfahrzeuge hinsichtlich Mechanik, Eigensensorik, CPU und Steuerungselektronik erstellt, inklusive Dimensionierung und abgeschätztem Stromverbrauch. Es wurden die wichtigsten bautechnischen und funktionellen Design-Aspekte vorabgestimmt, so dass die anzustrebenden Fahrzeugdimensionen und mechanischen Spezialanforderungen festgelegt und mit der Ausarbeitung der Konstruktionen der verschiedenen Teilsysteme begonnen werden konnte.

#### 2.1.2 Innovative Grundlagenforschung

Das Arbeitspaket 2 wurde als Querschnitts-AP über die gesamte Projektlaufzeit zur kontinuierlichen Verbesserung der Einzelaufgaben in Abhängigkeit des Projektfortschritts verfolgt. Jeder Projektpartner konnte hier die spezifischen Einzelaufgaben validieren und optimieren. Fokus der Sea & Sun Technology GmbH lag auf der Ausstattung der Sensorik und der kabelgebundenen Kommunikation mit den Fahrzeugen.

#### 2.1.3 Entwickelte Komponenten

##### 2.1.3.1 Multiparameter Sonde

Eines der wichtigsten Messgeräte in der Meeresmesstechnik ist die CTD-Sonde. Aus den Werten für Leitfähigkeit „C“ (Conductivity) für Leitfähigkeit, „T“ für Temperatur und „D“ für Druck lassen sich weitere Parameter wie Salzgehalt, Dichte, Wassertiefe und Schallgeschwindigkeit errechnen. Einige dieser Parameter werden zur Steuerung des Fahrzeuges benötigt. Die Berechnung der Schallgeschwindigkeit ist ein wichtiger Parameter bei dem Einsatz von akustischen Modems, wie es in diesem Projekt der Fall ist.

Die bisherigen Multiparameter-Sonden von Sea & Sun Technology GmbH liefern lediglich Rohdaten. Diese müssen dann mittels zusätzlicher Dateien, in denen die Konfiguration und die Kalibrierkoeffi-

zienten abgelegt sind, mit Hilfe eines auf einem PC laufenden Programmes in physikalische Daten umgerechnet werden. Die Sonden verfügen zwar über diverse Schnittstellen, die aber speziell zur Übertragung für längere Strecken ausgelegt sind.

Diese Sonden sind nicht für den Einsatz in Unterwasserfahrzeugen ausgelegt.

Durch das BOSS-Projekt ergab sich die Möglichkeit, eine neue Sonden-Generation zu entwickeln. Herz der neuen Generation ist ein moderner, leistungsstarker Mikrocontroller mit integriertem 20 Bit Analog- zu Digital-Wandler. Da die Sonden mit Batterien bzw. in diesem Fall aus den Akkus des Fahrzeugs gespeist werden, wurde bei der Entwicklung ein besonderes Augenmerk auf den Stromverbrauch gelegt. Auch Größe und Gewicht wurden auf ein Minimum reduziert. Das kompakte Sondengehäuse ist aus Titan gefertigt. Titan ist für den Langzeiteinsatz im Meerwasser gut geeignet und ist zudem sehr leicht.

Ethernet wurde im Fahrzeug als Standard-Schnittstelle festgelegt. Durch eine zusätzliche Hardware wurde die Schnittstelle in die Sonden implementiert.



**Abbildung 4 - CTD-Sonde**

### 2.1.3.1.1 Anschluss-Stecker

Als Anschluss-Stecker wurde ein Stecker von der Firma Subconn gewählt. Dieses System wird bereits seit Jahren erfolgreich in der Meeresmesstechnik eingesetzt. Es handelt sich um einen Steckverbinder, der auch in nasser Umgebung gesteckt werden kann. Der Steckverbinder ist für einen Wasserdruck von bis zu 600 bar (entspricht ca. 6000 m Wassertiefe) ausgelegt.

### 2.1.3.1.2 Beschreibung der Hardware

Die Hardware ist auf drei Platinen aufgeteilt:

1. Digital-Board
2. Analog-Board
3. Ethernet-Board

### 2.1.3.1.3 Digital-Board

Herzstück des Digital-Boards ist der Mikrokontroller.

Der Mikrokontroller liest Daten aus einem Konfigurationsspeicher. Im Konfigurationsspeicher befinden sich benutzerdefinierbare Vorgaben für die Steuerung der Sonde.

Im aktiven Zustand führt der Mikrokontroller alle 200 Millisekunden eine Analog-Digital-Wandlung seiner bis zu 7 Analogkanäle durch. Die Wandlungen der einzelnen Analogkanäle erfolgen jeweils nacheinander. Die Wandlungsdauer für einen Analogkanal beträgt 20 Millisekunden. Welche Analogkanäle jeweils gewandelt werden, hängt von den Konfigurationsdaten und der jeweiligen Betriebsart und dem Betriebszustand der Sonde ab.

### 2.1.3.1.4 Analog-Board

Die Leiterplatte stellt die folgenden Funktionen bereit:

- Spannungsversorgung der Sensoren
- Signalaufbereitung der Sensorsignale für die Analogkanäle des Analog-Digital-Wandlers

### 2.1.3.1.5 Ethernet-Board

Das Ethernet-Board wandelt die Serielle-Schnittstelle in eine Ethernet-Schnittstelle um. Die Sonde kann somit an das Bordnetz angeschlossen werden und ist über eine IP-Adresse ansprechbar.

**Die Sonde ist mit folgenden Sensoren bestückt:**

### 2.1.3.1.6 Drucksensor

Der Drucksensor von der Firma Keller besteht im Prinzip aus einer Druckmembran, auf die ein dehnungsabhängiger Widerstand aufgeklebt ist. Er verfügt bereits über eine digitale I<sup>2</sup>C-Schnittstelle. Der Druckbereich wurde auf 100dbar ausgelegt. Der Sensor ist mit einer chemisch resistenten Hastelloy-Membran ausgestattet.

Der Sensor zeichnet sich durch die folgenden Eigenschaften aus:

- Extrem niedriger Stromverbrauch, optimiert für batteriebetriebene Anwendungen
- Hermetisch geschützte Sensor-Elektronik; extrem robust gegen Umwelteinflüsse
- Ultrakompaktes und robustes Gehäuse aus rostfreiem Stahl (optional Hastelloy C-276)
- Keine externe Elektronik zur Kompensation oder Signalaufbereitung
- Hohe Genauigkeit, herausragende Langzeitstabilität, keine Hysterese
- Druckbereiche von 1 bar bis 1000 bar
- Einfache Integration in mikrokontroller-basierte Systeme

### 2.1.3.1.7 Temperatursensor

Der Temperatursensor besteht aus einem PT100-Widerstand mit 0,9mm Durchmesser. Um Verfälschungen durch die Zuleitung zu minimieren, ist der Widerstand über vier Leitungen (2x Versorgung + 2x Messleitung) elektrisch angebunden. Durch eine gute thermische Anbindung an das Gehäuse sowie die geringe Masse des Gehäuses besitzt der Sensor eine schnelle Ansprechgeschwindigkeit von ca. 150 Millisekunden.

### 2.1.3.1.8 Leitfähigkeitssensor

Die Messzelle besteht aus einem hohlen Quarzglaszylinder mit 7 platin-beschichteten Ringelectroden. Wegen des kleinen Innendurchmessers von 8 mm muss das zu messende Medium mit einer gewissen Geschwindigkeit durch den Hohlzylinder strömen, damit die volle Messgenauigkeit erreicht werden kann.



Abbildung 5 - Leitfähigkeitszelle

### Messprinzip der Leitfähigkeits-Messzelle

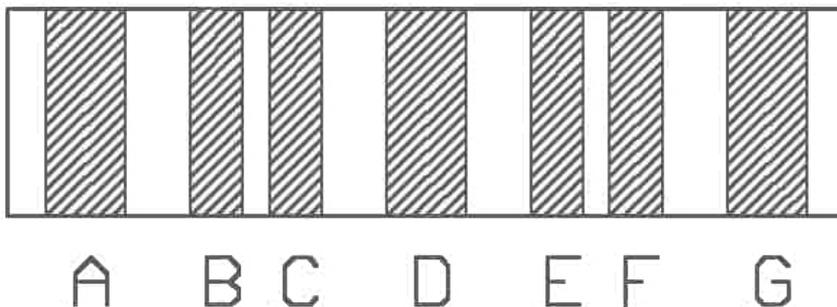


Abbildung 6 - Querschnitt der Leitfähigkeitszelle

Die Leitfähigkeits-Messzelle hat 7 platin-beschichtete Elektroden in der Innenseite ihres hohlen Quarzglaszylinders. Die Zelle ist symmetrisch um die Mittelelektrode D aufgebaut. Die einzelnen Elektroden sind durch die Kennbuchstaben A bis G gekennzeichnet. Über die Mittelelektrode D wird ein Wechselstrom von 500 Hz bis 1 kHz Frequenz (Rechtecksignal) in die Wassersäule innerhalb des Hohlzylinders eingespeist. Die Außenelektroden A und G werden auf konstantem Potential gehalten. Über die Außenelektroden A und G wird der Strom zurückgeführt. Es gibt zwei Paare von Spannungsmessungs-Elektroden. Diese sind das Paar B-C und Paar E-F mit kleineren Flächen, über die jeweils der durch den Stromfluss im Medium verursachte Spannungsabfall gemessen wird. In einem homogenen Medium bildet sich das elektrische Feld symmetrisch in beiden Räumen links und rechts der Mittelelektrode D aus. Das konstante Potential an den äußeren Elektroden begrenzt das elektrische Feld auf die Innenseite des Zylinders und verhindert, dass sich elektrische Felder außerhalb des Hohlzylinders auf das elektrische Feld innerhalb des Hohlzylinders auswirken können. Die Elektronik

der Messzelle ist im Wesentlichen eine geschlossene Regelschleife, die den eingespeisten Wechselstrom so einstellt, dass der Spannungsabfall über den Spannungsmessungs-Elektroden einen konstanten Wert einnimmt. Der eingestellte Wechselstrom ist somit proportional zur Leitfähigkeit des Messmediums.

### 2.1.3.2 Optionale Sensoren

Das Fahrzeug soll optional mit einer zweiten Sonde, die über die Standardparameter Druck, Temperatur und Leitfähigkeit hinaus, mit weiteren Parametern ausgestattet werden kann. Die Sonde ist auf Basis der oben beschriebenen CTD-Sonde entwickelt worden. Zur elektrischen Anbindung werden zusätzliche Komponenten auf der analogen Platine bestückt.

Bild Sonde:



Abbildung 7 - Optionale Sonde mit Fluorometer und Sauerstoffsensor

Im ersten Ansatz sollen gebundener **Sauerstoff (DO)** und **Chlorophyll A** gemessen werden.

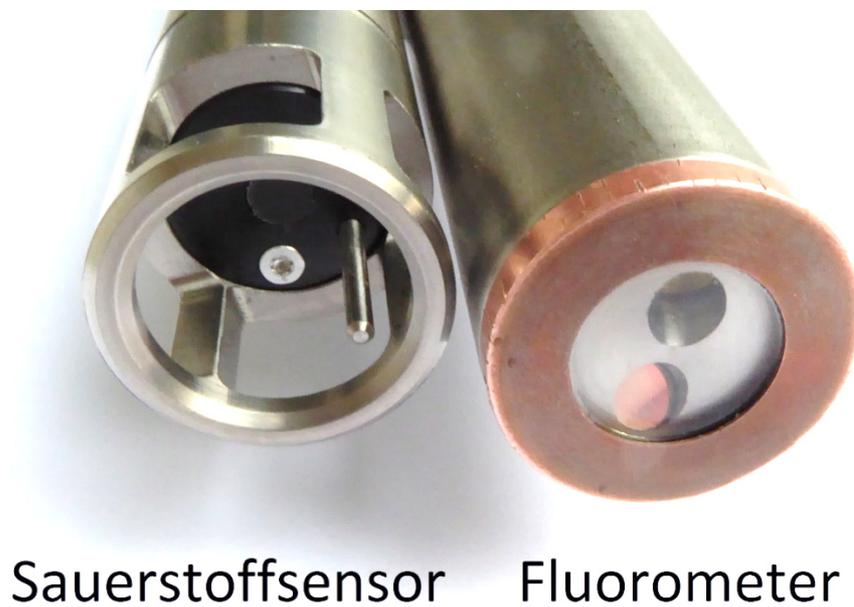


Abbildung 8 - Sauerstoff- und Chlorophyllsensor

2.1.3.2.1 Sauerstoffsensor

Ein Sauerstoffsensor wurde bereits von Sea & Sun Technolgy entwickelt.



Abbildung 10 - Sauerstoffsensor



Abbildung 9 - Sauerstoffsensor / Sensorfeld

Der optische Sensor (dissolved Oxygen-DO) misst den Partialdruck des gelösten Sauerstoffs (dissolved Oxygen-DO) in Flüssigkeiten und Gasen. Er verwendet ein Messprinzip basierend auf rotem Licht. Die Sauerstoffmessung ist im Allgemeinen temperaturabhängig. Zur Kompensation wird ein zusätzlicher Temperatursensor integriert.

2.1.3.2.1.1 Ansprechzeit des Sauerstoffsensors

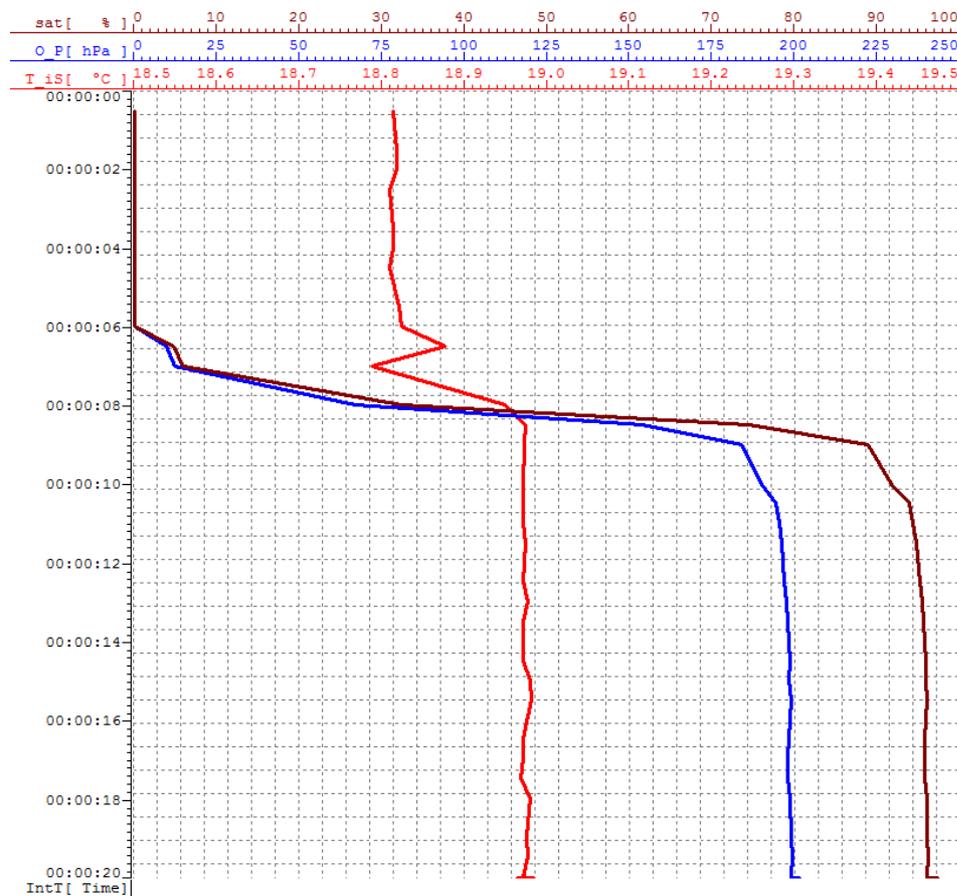


Abbildung 11 - Ansprechzeit Sauerstoffsensor

Der Sensor verfügt über eine vergleichsweise schnelle Detektion. Die Ansprechgeschwindigkeit (90%-Wert) beträgt weniger als 3 Sekunden.

#### 2.1.3.2.1.2 Messprinzip

Der Sauerstoffsensor besteht aus:

- Einer Lichtquelle mit einer bestimmten Wellenlänge (LED)
- Einer druckfesten Trägerplatte auf der eine lichtempfindliche Schicht (PAD), die mit einer optischen Isolierschicht bedeckt ist, geklebt ist
- Einem optischen Filter
- Einer Fotodiode zur Messung des emittierten Lichtes

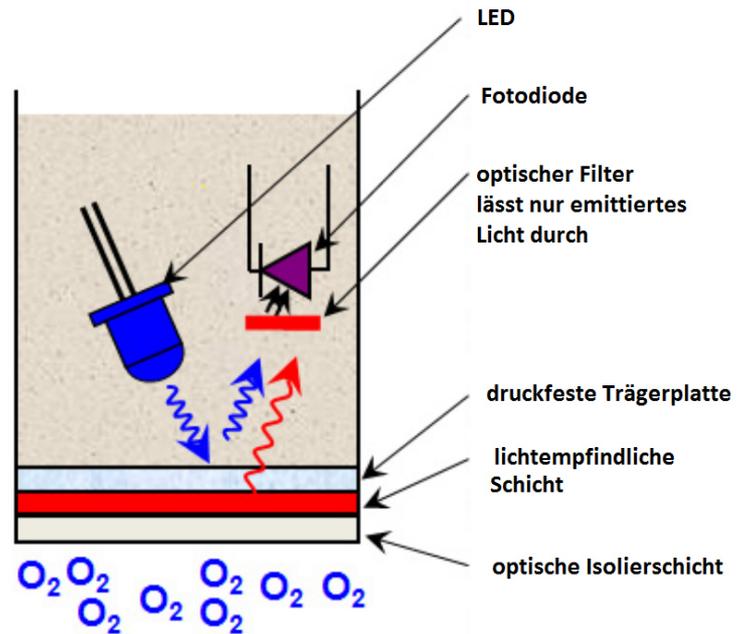


Abbildung 12 - Messprinzip

Wenn kein gebundener Sauerstoff (O<sub>2</sub>) in der Probe vorhanden ist, absorbiert die lichtempfindliche Schicht das Anregungslicht der LED, steigt auf ein höheres Energieniveau und emittiert beim Absinken auf das ursprüngliche Niveau zeitverzögert Licht einer anderen Wellenlänge. Der Filter vor der Fotodiode erfasst nur das emittierte Licht.

Ist gelöster Sauerstoff in der Probe vorhanden, so absorbiert zwar der Farbstoff das Anregungslicht, gibt jedoch im angeregten Zustand die Energie an O<sub>2</sub>-Moleküle ab. Somit ist weniger Emissionslicht verfügbar. Je mehr gelöster Sauerstoff in der Probe, desto weniger Licht gelangt zur Fotodiode

### 2.1.3.2.2 Fluorometer

Chlorophyll A ist eine spezifische Form von Chlorophyll. Es absorbiert die meiste Energie aus Wellenlängen von violetter/blauem und orangen/rotem Licht. Es reflektiert grün/gelbes Licht und trägt somit zu der grünen Farbe der meisten Pflanzen bei.

Wenn Photonen auf Materialien treffen, werden Elektronen kurzfristig auf ein höheres Energieniveau verlagert. Sie fallen aber innerhalb von wenigen Nanosekunden auf das niedrigere Energieniveau zurück. Ein Teil der aufgenommenen Energie wird mit längeren Wellenlängen in Form von Licht emittiert. Jedes Material hat seine einzigartige Kombination aus absorbiert und emittiert Licht. Dieser Effekt wird zur Detektion verwendet, um den Gehalt an Chlorophyll in Wasser zu quantifizieren. Die folgende Grafik zeigt die vereinfachten Spektren der Absorption ( 465 nm ) und Emittierung (695 nm) von Chlorophyll.

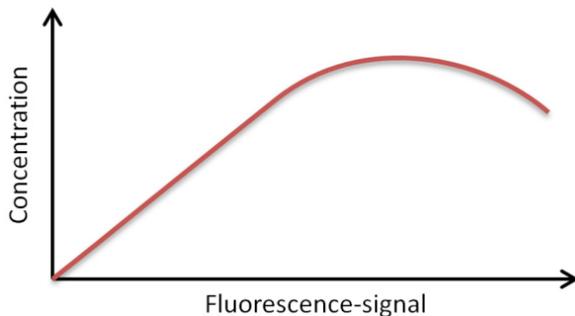


Abbildung 14 - Darstellung der Linearität

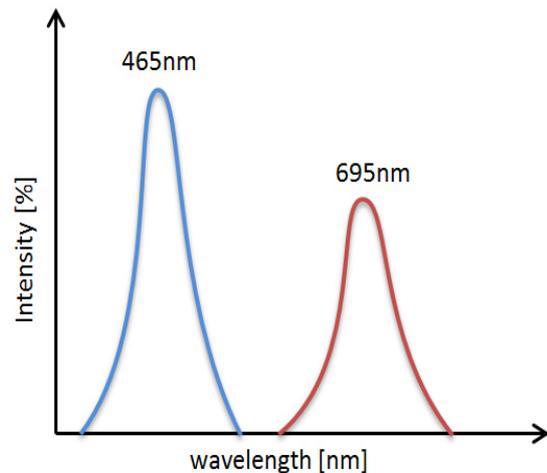


Abbildung 13 - Spektren der Absorption bzw. Emittierung

### 2.1.3.2.3 Linearität

Wenn die Konzentration von Chlorophyll einen kritischen Wert überschreitet, wird das Signal nicht linear und kann bei höheren Konzentration sogar kleiner werden. Auch Trübung und Blasen können durch Absorption oder Streuung von Licht das Signal beeinflussen.

#### 2.1.3.2.3.1 Basisausführung

Die Grundkomponenten des Fluorometers sind eine blaue LED, zwei optische Bandpassfilter und ein Photodetektor. Zu Referenzzwecken detektiert eine Fotodiode die Intensität der LED. Auswertung und Berechnung werden durch einen Mikrocontroller mit einem 16- Bit Analog-Digital-Wandler durchgeführt.

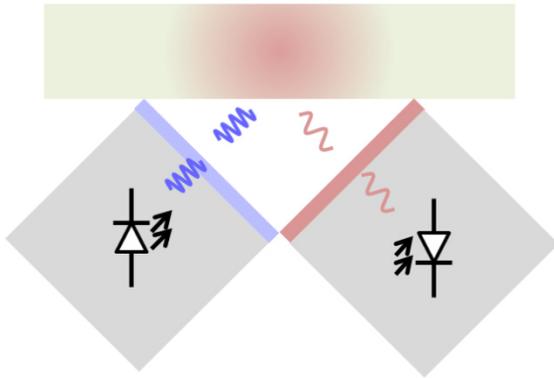


Abbildung 15 - Prinzip der Ein- bzw. Auskopplung

#### 2.1.3.2.3.2 Aufbau der Optik

Um den Dynamikbereich zu vergrößern, besitzt der Sensor eine einstellbare Verstärkerstufe. So kann der Sensor auf die jeweilige Chlorophyll-a Konzentration optimal eingestellt werden.

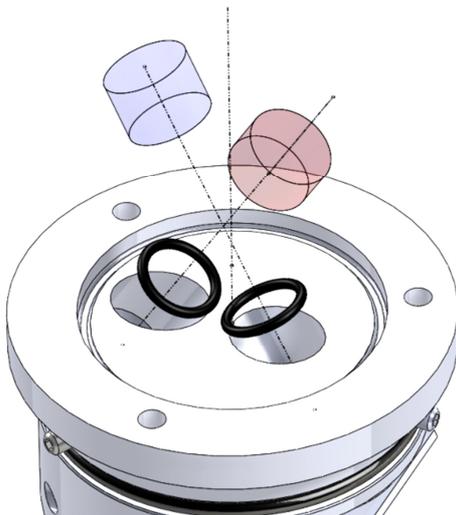


Abbildung 17 - Filter für die Aus- bzw. Einkopplung

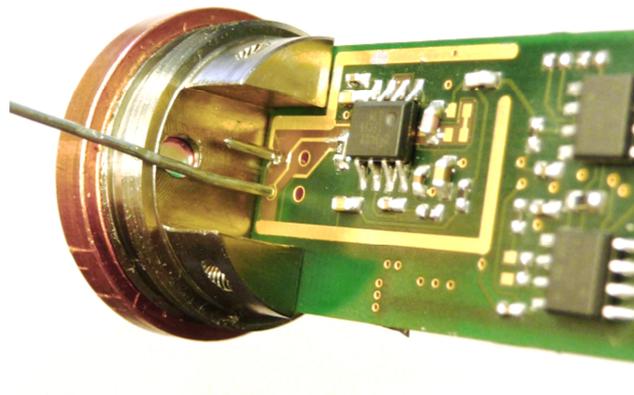


Abbildung 16 - interner Aufbau

Maßgebend für die Qualität des Messergebnisses sind die jeweiligen optischen Filter. Ein schmalbandiger Filter verringert die Störeinflüsse durch andere Lichtquellen wie z.B. durch die Sonne.

### 2.1.3.2.3.3 Protokoll

Die Steuerung und das Auslesen der Daten aus den Sonden soll mit einem Protokoll in Anlehnung an das NMEA 0183 (**N**antional **M**arine **E**lectronics **A**ssociation) Protokoll durchgeführt werden.

Hierbei werden die Daten im ASCII-Format (**A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange, Amerikanischer Standard Code für Informationsaustausch) übertragen. Dabei sind alle druckbaren Zeichen sowie Carriage-Return (CR, Waagenrücklauf) und Line-Feed (LF, Neue Zeile) erlaubt und die Daten werden in der Form von Sätzen übertragen. Jeder dieser Sätze beginnt mit dem Zeichen "\$", einer zwei Zeichen langen Senderkennung, einer drei Zeichen langen Satzkehlung und dann folgt eine Reihe von Datensätzen, die mit Kommata unterteilt werden. Schließlich wird der Satz mit einer optionalen Prüfsumme und einer CR/LF abgeschlossen. Jeder Satz kann inklusive des führenden "\$" und den beiden CR/LF bis zu 82 Zeichen enthalten. Ist ein Datenfeld in einem Satz zwar vorgesehen, aber nicht verfügbar, so wird er einfach weggelassen, das dazugehörige Komma zur Trennung der Datensätze wird ohne Leerzeichen beibehalten. Durch Zählen der Kommata kann ein Empfänger dann aus jedem Satz die entsprechenden Informationen richtig zuordnen.

Die meist optionale Prüfsumme besteht aus einem "\*" und eine Hexadezimalzahl, die sich durch ein (bitweise) Exklusiv-Oder ( $1+1=0$ ,  $1+0=1$ ,  $0+0=0$ ) aller Zeichen zwischen dem "\$" und dem "\*" berechnet.

### 2.1.3.3 Video-Systeme

Im Rahmen des Projektes sollten stereoskopische Videoaufnahmen gemacht werden. Prinzipbedingt ist durch das autonome Agieren des Rochens von stark schwankenden Rahmenbedingungen auch bezüglich der Licht- und Sichtverhältnisse auszugehen. Das erfordert adaptive Beleuchtung und flexible Bilderfassung.

Das ursprüngliche Konzept bestand aus 4 Kameras und 4 Lampen, von denen jeweils 2 nach vorn und 2 nach unten ausgerichtet werden sollten. Aufgrund der Platz- und Gewichtsverhältnisse im Fahrzeug wurde das Konzept dahingehend verändert, dass nur noch 2 Kameras und 2 Lampen zum Einsatz kommen, die jedoch so positioniert werden, dass sowohl der vordere untere Bereich als auch der Frontbereich durch den Einsatz von hochwertigeren, weitwinkligen Systemen gut sichtbar sind.

#### 2.1.3.3.1 Beleuchtung

Um bei minimalen Platzbedarf eine ausreichende Ausleuchtung für die Kamerasysteme zu erzielen, wurde ein LED-Array mit ausreichender Helligkeit ausgewählt. Das Array ist von mehreren Herstellern in verschiedenen Farbtemperaturen (von 2700K bis 6000K) und Leistungen erhältlich.

Das LED-Array hat eine Effektivität von mehr als 100 Lumen pro Watt. Somit kann eine Lichtstärke von bis zu 9000 Lumen erreicht werden. Zum Vergleich hat eine 40 Watt Glühlampe eine Lichtstärke von ca. 470 Lumen. Das LED-Array liefert bei der gleichen Leistung fast das Zehnfache an Lichtstärke.



Abbildung 18 - LED-Array

Die Helligkeit der LED-Lampen zur Ausleuchtung der Kameras wird über eine im Video-Server integrierte Regelschaltung gesteuert. Diese sorgt selbst bei schwankender Eingangsspannung für ein gleichmäßiges, flackerfreies Licht. Auch hier wird auf kompakte Bauweise, aber auch insbesondere auf eine große Energieeffizienz geachtet.

Eine interne Temperaturmessung am LED-Array verhindert eine Überhitzung.

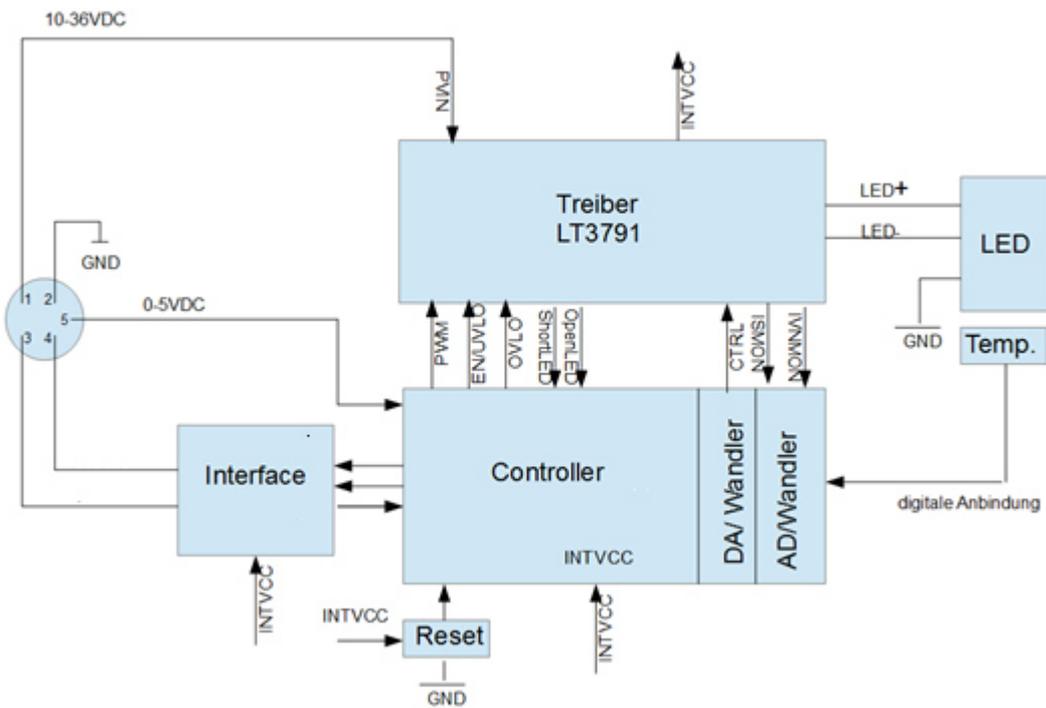


Abbildung 19 - Blockschaltbild LED-Lampe

Kern des LED-Treibers ist ein Baustein der Firma Linear Technology.

### 2.1.3.3.2 Video-Server

Jedes Kamerasystem wird durch einen eigenen Video-Server gesteuert. Der Video-Server verwaltet die jeweils angeschlossene Kamera und die dazugehörige LED-Beleuchtung. Zudem speichert er die Videodaten der jeweiligen Kamera.

Um die beiden gewonnenen Aufnahmen im Postprocessing zu einem 3D-Video zusammenführen zu können, müssen die beiden Systeme synchronisiert werden. Dies betrifft die bildgenaue Synchronisation der Kameras, die störende Positionssprünge bewegter Objekte im Bildinhalt verhindern sollen, aber auch die im Video-Server gespeicherten Streams zeitgenau zu starten. Voraussetzung hierfür ist die Kopplung der beiden Systeme. Hierbei übernimmt ein Video-Server die Koordinierung (Master). Dieser Server ist mit dem Fahrzeugrechner über eine Ethernetverbindung (LAN) verbunden und empfängt die Befehle zur Aktivierung der Kameras bzw. zur Speicherung der Videodaten. Er gibt die Signale zur Synchronisierung an beide Kameras und sendet den Befehl zur Speicherung an den zweiten Video-Server (Slave) weiter.

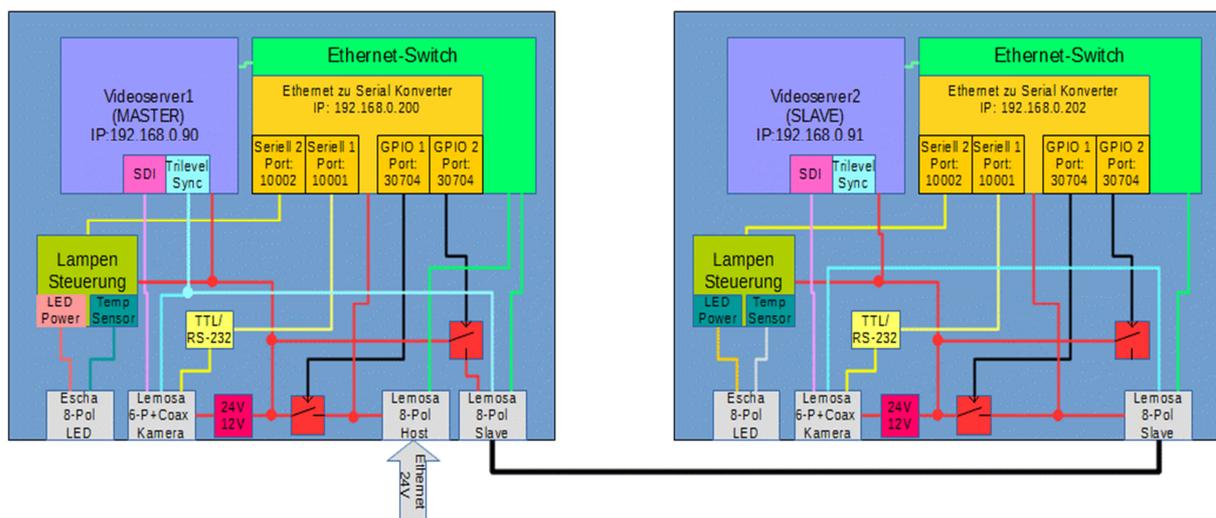


Abbildung 20 - Blockschaftbild der Video-Server

Neben den eigentlichen Video-Servern sind weitere Komponenten wie die Ansteuerung und Regelung der Lampen, die Wandlung in serielle Schnittstelle zur Steuerung der Lampen und der Kameras sowie jeweils ein Ethernet-Switch zur Aufspaltung in die entsprechenden Kommunikationskanäle.

Funktionen:

- Video-Daten in andere Formate zu konvertieren / skalieren
- Video-Daten in HD-Qualität mit Zeitstempel zur Synchronisation speichern
- Synchronisierung von 2 Video-Kameras
- Steuerung der Beleuchtung
- Reduktion der Video-Daten zur Versendung via Ethernet (SD-Qualität)
- Komprimierung (H.264)
- Anschluss von HDMI und SDI- Kameras möglich

### 2.1.3.3.2.1 Aufbau des Video-servers

Um höchste Flexibilität und Sicherheit bei gleichzeitiger Wartungs- und Upgradefreundlichkeit zu gewährleisten, wurde ein Trägerboard erstellt und die einzeln abgrenzbare Systemaufgaben in Modulen ausgeführt. Dadurch konnten die einzelnen Aufgaben unter den Projektteilnehmern aufgeteilt und parallelisiert werden. Der größte Nutzen dieser modularen Bauweise besteht aus technischer Sicht in der einfachen Wartung, Inbetriebnahme und thermischen wie elektromagnetischen Umgebung von potentiellen Problemen.

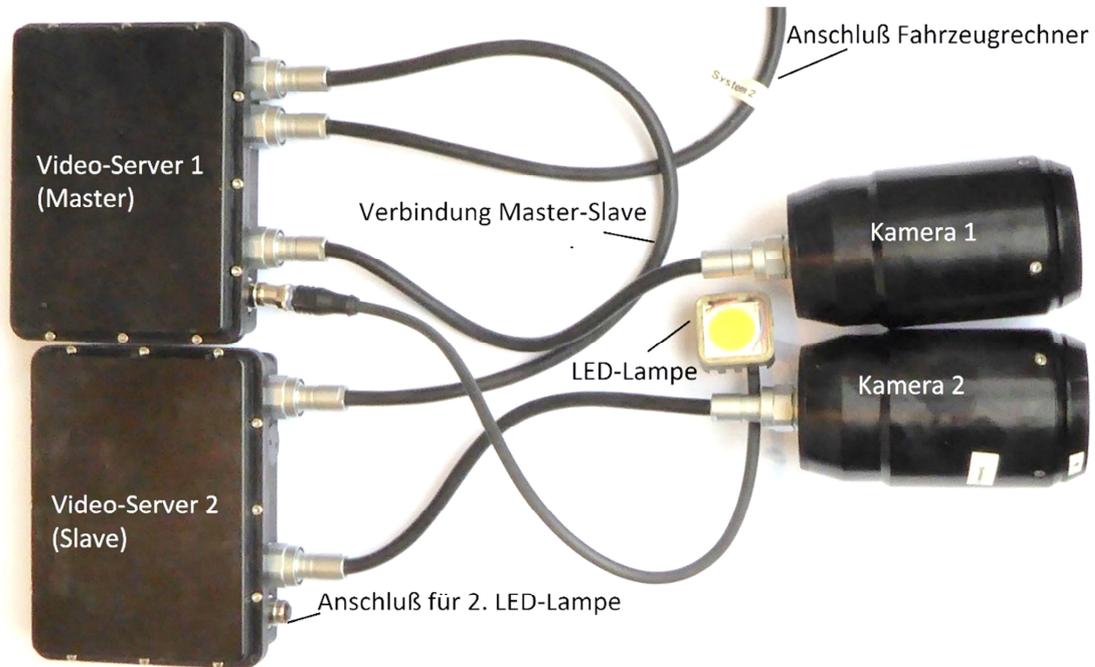


Abbildung 21 - Video-Gesamtsystem eines Fahrzeuges

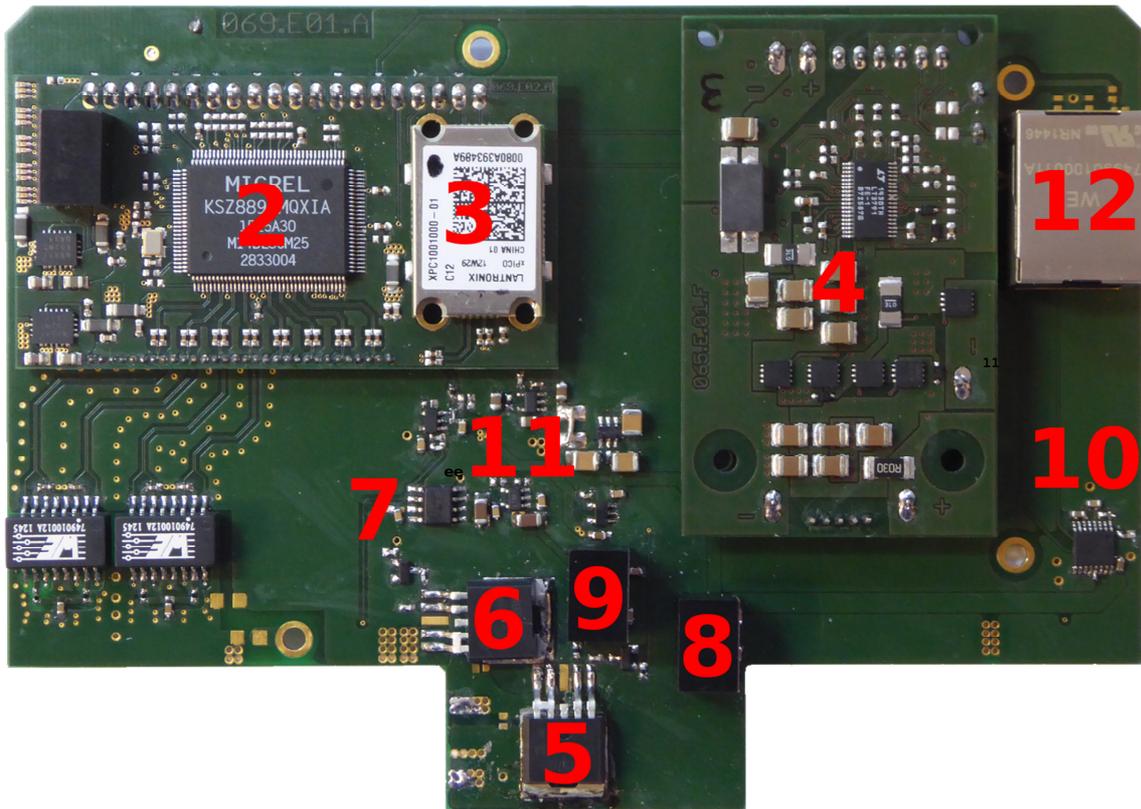


Abbildung 22 - Aufbau der Trägerplatte mit Ethernet-Switch und Beleuchtungssteuerung

#### 2.1.3.3.3 LED-Kontroller-Modul (4)

Um verwertbare Bilder bzw. Videoaufnahmen zu erhalten ist es notwendig, die Beleuchtung und diverse andere Parameter permanent zu adaptieren. Zu diesem Zweck wurde eine Schaltung zur Ansteuerung der Beleuchtungshelligkeit in das System integriert. Um ggf. auftretende thermische, elektromagnetische und Integrationsprobleme zu umgehen und das System flexibler zu machen, wurde ein LED-Controller-Modul entwickelt und auf der Trägerplatte aufgelötet. Angeschlossen wird an dieses Modul ein bis zu 80Watt LED-Array, das einen Lichtstrom von max. 9000 Lumen liefert. Um einem thermischen Defekt durch Überhitzung vorzubeugen (z.B. außerhalb des Wassers), wurde zusätzlich an das LED-Array ein Temperaturfühler angebracht, der permanent die Temperatur an das LED-Controller-Modul übermittelt, damit dieses ggf. die Ausgangsleistung automatisch reduziert. Die Ansteuerung erfolgt über eine serielle Schnittstelle mit TTL-Pegel, die direkt an einen Ethernet zu Seriell Konverter angeschlossen ist (2). Dadurch können Steuerbefehle per Ethernet an das LED-Controller-Modul transferiert werden.

Der auf dem Modul befindliche Kontroller setzt die Befehle entsprechend um und steuert den Leistungs-LED-Treiber des Moduls entsprechend. Der Befehlssatz beinhaltet neben den notwendigen Grundbefehlen (Helligkeit, An - Aus) weitere Befehle, um einen optimalen und komfortablen Betrieb gewährleisten zu können. Diverse Parameter können so eingestellt werden wie z.B. Offset, max. Temperatur, Baudrate, Protokollart usw..

#### 2.1.3.3.4 Ethernet Switch (2)

Die Anbindung der Komponenten an den Zentralrechner (Host) erfolgt per Ethernet-Interface. Hierüber wird zur Auswertung der Video-Stream des Videoservers an den Host übertragen, sowie in die andere Richtung Steuerbefehle übermittelt und mittels Webinterface Einstellungen getätigt. Um ein

Netzwerk aufzubauen zu können, wird ein sog. "Ethernet Switch" verwendet. Er kontrolliert die eingehenden Datenpakete jedes angeschlossenen Teilnehmers und leitet diese an den entsprechenden Teilnehmer weiter.

Für stereoskopische Aufnahmen sind 2 Video-Streams aus unterschiedlichen Perspektiven notwendig. Entsprechend müssen 2 Videokameras und 2 Videoserver verwendet werden. Die Verbindung zwischen dem 1. und dem 2. Videoserver sowie zum Host wird per Ethernet hergestellt. Dadurch können bei Bedarf die Video-Streams beider Server parallel ausgelesen sowie sämtliche Einstellungen über einen Ethernet-Anschluss bedient werden. Zusätzlich werden 2 serielle Schnittstellen mittels eines Ethernet zu Seriell Modul (2) bidirektional umgesetzt, weshalb trotz zweier zusätzlicher serieller Ports keine zusätzlichen Leitungen zum Hostrechner notwendig sind.

Auf dem entwickeltem Ethernet-Switch-Modul wurde ein Ethernet-zu-Seriell Modul integriert. Für das Modul wurde ein Micrel 5-Port Ethernet-Switch verwendet. Jeweils ein Port wurde für die Videoserver sowie zum Hostrechner und dem integrierten Seriell-Modul verwendet. Der 5. Port wird für einen RJ-45 Standard-Ethernet-Anschluss verwendet,(4) über dem alle angeschlossenen Komponenten ohne Aufwand bei Inbetriebnahme und Test sicher aktiviert werden können.

### 2.1.3.3.5 Videoserver (1)

Über den SDI-Videoeingang des Servers wird das unkomprimierte Videobild der angeschlossenen Kamera eingespeist. Da die Datenrate für eine Übertragung und Speicherung zu groß ist, wird das Video in Echtzeit komprimiert und lokal gespeichert bzw. per Ethernet an den Hostrechner übertragen. Für stereoskopische Aufnahmen ist es zwingend notwendig, die beiden Video-Streams bzw. die Kameras zu synchronisieren. Dafür generiert einer der beiden Videoserver (Master) aus dem Kamerasingnal einen sog. "Trilevel-Sync-Implus", der auf den Eingang der zweiten Kamera (Slave) geleitet wird. So wird gewährleistet, dass die Bilder der beiden Kameras synchron aufgenommen werden.

### 2.1.3.3.6 Trilevelsync Offsetgenerator (11)

Durch Unklarheiten bezüglich des Sync-Signals, die bis Fertigstellung der Platine nicht geklärt werden konnten, war es notwendig, eine Schaltung zum Einstellen des Trilevelsync-Signals zu erstellen, um alle Eventualitäten bezüglich des Signalpegels/Form abdecken zu können.

### 2.1.3.3.7 Leistungsschalter I (5)

Um Energie zu sparen, wurde ein 2-stufiges Abschalten von Komponenten ermöglicht. Ist die verwendete Einheit als Master eingesetzt, wird die Versorgungsspannung über den Hostanschluss eingespeist. Der auf dem Ethernet-Switch integrierte Seriell-zu-Ethernet Konverter beinhaltet auch diverse GPIO's (*general purpose input/output*), die zum Schalten der Leistungsschalter genutzt werden.

Um einen sog. "Deadlock" durch versehentliches Schalten der Leistungsschalter zu vermeiden, wird der Switch im "Masterbetrieb" deshalb direkt an der Versorgungsspannung betrieben. Mittels Leistungsschalter „I“ können sämtliche Komponenten außer der Switch abgeschaltet werden, um Energie zu sparen.

### 2.1.3.3.8 Leistungsschalter II (6)

Hierüber kann die Spannungsversorgung des angeschlossenen "Slave" Systems abgeschaltet werden.

2.1.3.3.9 Trilevelsync-Umschalter (7)

Als Master eingesetzt generiert der Videosever aus dem Kamerabild einen Synchronisationsimpuls für die Kamera des Slave Systems. Durch diesen Schalter wird, als Slave betrieben, die Kamera extern durch den Master synchronisiert oder als Master die Synchronisation abgeschaltet.



Abbildung 23 -Video-Server-Gehäuse

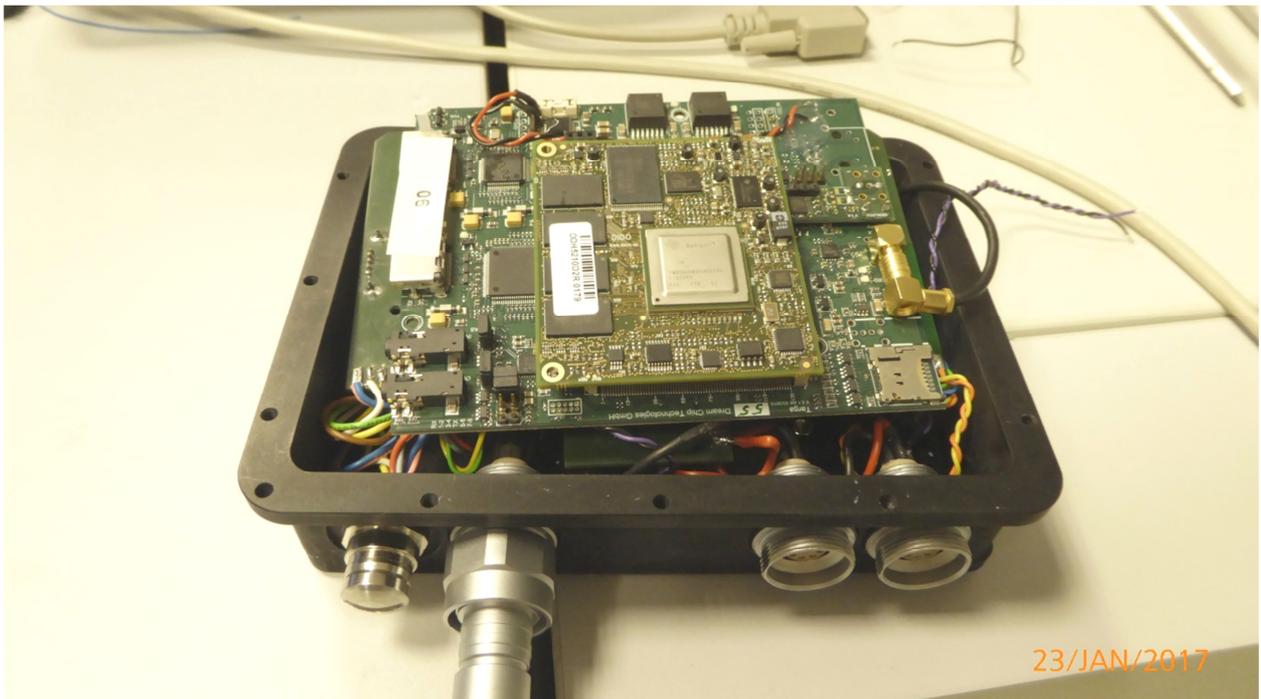


Abbildung 24 - Innenaufbau Video-Server

### 2.1.3.4 Kamera

#### 2.1.3.4.1 Auswahl:

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Kameras, die sich insbesondere in Bildqualität und Schnittstelle und damit auch im Preis unterscheiden.

Allgemein lassen sich Kameras in zwei Varianten unterteilen: analoge und digitale Kameras.

Analogkameras übertragen in Echtzeit ein kontinuierliches, veränderliches elektronisches Signal. Frequenz und Amplitude dieses Signals werden dann durch ein analoges Ausgabegerät als Videoinformation interpretiert. Sowohl die Qualität des analogen Videosignals als auch die Art seiner Interpretation beeinflussen die entstehenden Videobilder. Diese Methode der Datenübertragung hat Vor- und Nachteile. Analogkameras haben jedoch sowohl bei der Auflösung (Anzahl der Bildzeilenzahl) als auch bei der Einzelbildfrequenz eine Obergrenze. Auch die Störbeeinflussung des analogen Signals ist speziell in diesem Anwendungsfall zu berücksichtigen.

Moderne digitale Kameras haben im Vergleich mit Analogkameras deutliche Vorteile in Störbeeinflussung, Auflösung, Bildwiederholfrequenzen und kürzeren Belichtungszeiten. Die Begrenzung liegt hauptsächlich in der Bandbreite der jeweiligen Schnittstelle.

Es gibt eine Vielzahl von gängigen digitalen Schnittstellen, die Ihre Vor- und Nachteile haben.

Übliche Schnittstellen sind:

- USB (2.0 bzw. 3.0)
- Firewire (1394 a/b)
- Gigabit Ethernet (GigE)
- Camera-Link
- HDMI (High Definition Serial Digital Interface)
- HD-SDI (High Definition Serial Digital Interface)

Nach der Untersuchung der genannten Schnittstellen hat sich herausgestellt, dass die SDI-Schnittstelle für dieses Projekt zwar keine preisgünstige Lösung ist, jedoch die oben genannten Anforderungen am ehesten abdeckt.

Die HD-SDI mit einer Datentransferrate von 1,485 Gbps bzw. die erweiterte 3G-SDI mit 3 Gbps wurde ursprünglich für den professionellen Einsatz im Fernsehbereich (Broadcast) entwickelt. Full-HD (1080p) Aufnahmen mit bis zu 60 fps sind hiermit möglich. Somit können auch schnelle Bewegungen noch scharf dargestellt werden. Die Daten werden in Echtzeit ohne nennenswerte Latenzen unkomprimiert übertragen. Kameras sind mit der GenLock-Funktion, eine Synchronisierung von Kameras die zur späteren 3D-Darstellung notwendig ist, erhältlich.

#### 2.1.3.4.2 Beschreibung der Kamera

Bei der ausgewählten Kamera handelt es sich um eine hochauflösende (Full HD) schnelle (60 Bilder pro Sekunde) Kamera, die mit einem leistungsstarken Controller ausgestattet ist.

Die Kamera ist als OEM-Modul erhältlich und besteht aus 3 Baugruppen. Dadurch ist sie platzsparend zu integrieren.



Abbildung 25 - Aufbau der SDI-Kamera

Weitere Merkmale der Kamera sind:

- Auflösung bis zu 1920 x 1080 Pixel bei einer Frequenz von bis zu 60 Bildern pro Sekunde
- CMOS Sensor (1/3)
- Eingang zur Synchronisierung (Gen Lock Funktion)
- Automatischer Weißabgleich
- Kamera ist über eine serielle Schnittstelle steuerbar
- Ausgang zur Ansteuerung eines Objektivs mit automatischer Blendenwahl

Der Preis eines leistungsstarken Controllers ist die Wärmeerzeugung, die aus dem Gehäuse gebracht werden muss. Aluminium-Kühlkörper sollen die Wärme an die Gehäuse-Außenwand transportieren, damit sie an die Umgebung abgeführt werden kann.

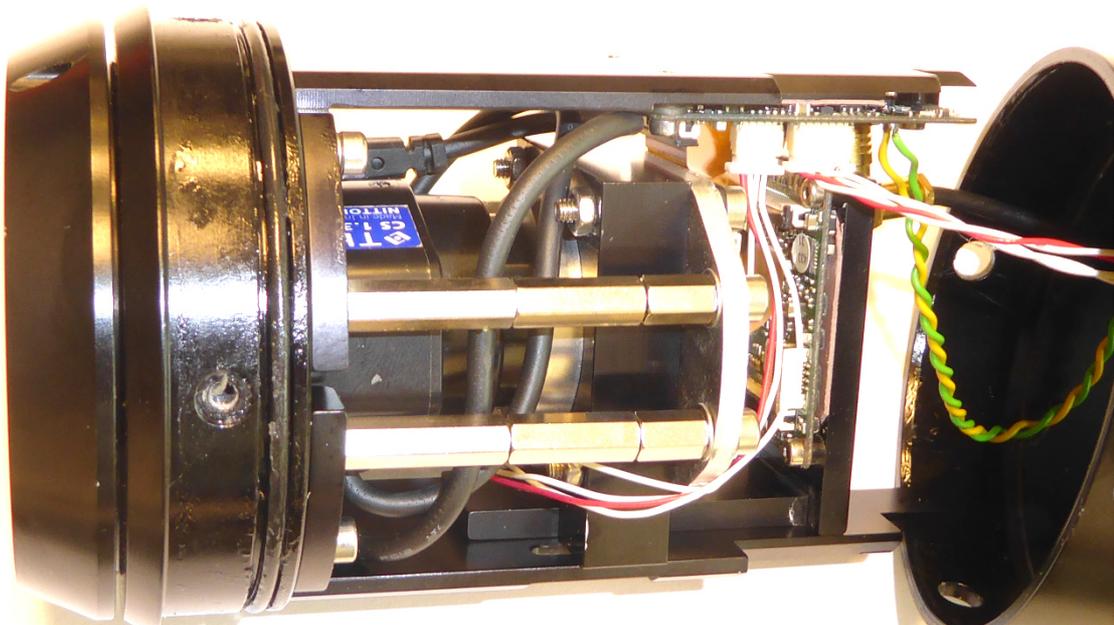


Abbildung 26 - SDI Kameragehäuse

Bedingt durch die geringen Platzverhältnisse im Fahrzeug und die für eine 3D-Aufnahme erforderliche Platzierung der Kameras muss das Gehäuse entsprechend kurz und kompakt sein. Der dreiteilige Aufbau der Elektronik ist hierfür Grundvoraussetzung.

Die Kameras werden mit einem verzerrungsarmen Weitwinkelobjektiv von der Firma Theia mit einem horizontalen Öffnungswinkel von 137° bestückt.



Abbildung 27 - Objektiv

Während herkömmliche Weitwinkelobjektive bei einem Betrachtungswinkel von mehr als 80 Grad starke Bildfehler im Randbereich erzeugen, bieten dieses Ultra-Weitwinkelobjektive den großen Vorteil, Bildverzerrungen auf ein absolutes Minimum zu reduzieren. Das Objektiv hat ein praktisch verzerrungsfreies Blickwinkel von bis zu 137° woraus sich ein Sichtfeld ergibt, das deutlich über dem normaler Objektive hinaus geht. Die Verzeichnungskorrektur findet bereits im Objektiv statt. Im Einsatz mit der verwendeten Megapixelkamera lassen sich auch große Flächen optimal überwachen.

Das Objektiv besitzt eine automatische Blendensteuerung, die sich an die gegebenen Lichtverhältnisse anpassen kann.

Durch die Lichtbrechung von Luft (Kameragehäuse) zum Glas (Planarglas) und zum Wasser ist der effektive Öffnungswinkel:

#### 1. Übergang Luft / Glas

$$\sin \alpha = (\eta_{\text{Luft}} / \eta_{\text{Glas}}) \times \sin \beta \quad \eta_{\text{Glas}} = 1,51 \quad \eta_{\text{Luft}} = 1 \quad \beta = 68,5^\circ (137^\circ/2)$$

$$\sin \alpha = (1 / 1,51) \times 0,93 = 0,6159 \quad \alpha = 38,02^\circ$$

#### 2. Übergang Glas / Wasser

$$\sin \alpha = (\eta_{\text{Glas}} / \eta_{\text{Wasser}}) \times \sin \beta \quad \eta_{\text{Glas}} = 1,51 \quad \eta_{\text{Wasser}} = 1,33 \quad \alpha = 38,02^\circ$$

$$\sin \alpha = (1,51 / 1,33) \times 0,6159 = 0,699 \quad \alpha = 44,366^\circ$$

Der effektive Öffnungswinkel beträgt ca. 88,7°.

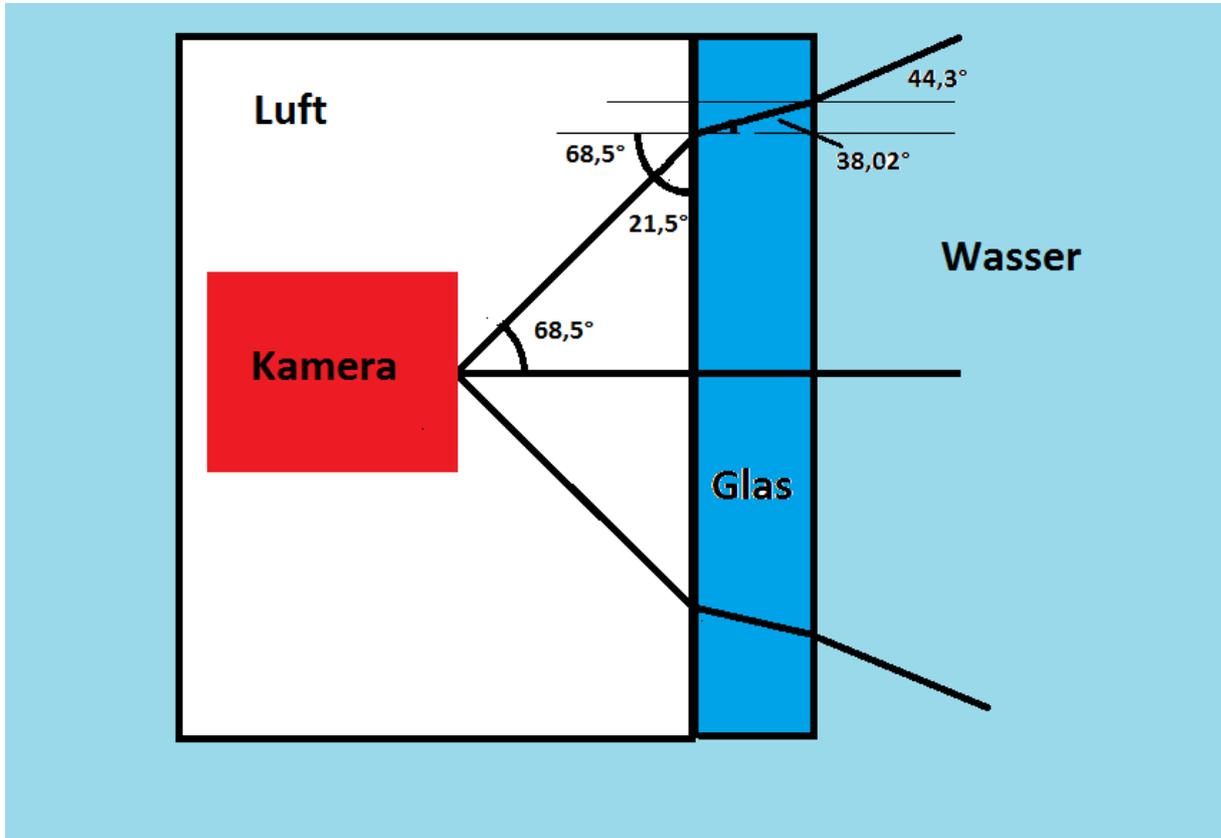


Abbildung 28 - Berechnung des effektiven Öffnungswinkels

#### 2.1.3.4.3 Synchronisierung der Kameras

Die Synchronisation der beiden Kameras wird durch das an beide Kameras gleichzeitig gesendete Analogsignal (Tri Level Sync) erreicht. Die horizontale Komponente besteht aus einem negativen und einem direkt darauf folgenden positiven Impuls mit Amplituden von jeweils 300 mV. Der Übergang zwischen den beiden Pulsen beschreibt exakt den Beginn einer Zeile.

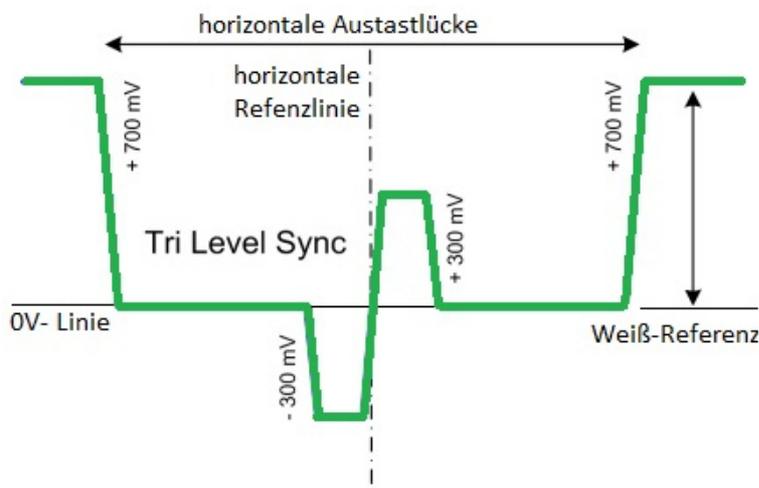


Abbildung 29 - Tri-Level-Sync

Das gleichzeitige Starten der Aufnahme in beiden Servern stellte sich jedoch als ein größeres Problem heraus. Dieses ist durch die prinzipiellen Eigenschaften eines Betriebssystems (LINUX), des digitalen Signalprozessors und der Videopufferung bedingt.

Soll der Aufnahmeprozess gestartet werden, müssen zuerst andere Prozesse des Betriebssystems abgearbeitet und beendet werden, bevor der Aufnahmeprozess einen sog. „Timeslot“ bekommt und ausgeführt wird.

Der digitale Signalprozessor (DSP) nimmt die deserialisierten und farbraumkonvertierten Videodaten des SDI-Videosignals entgegen und übernimmt das Resizing / Encoding. Die verarbeiteten Videodaten werden dem angebotenen Prozessor (CPU) bereitgestellt. Die Verarbeitung im DSP unterliegt ähnlichen Timing-Bedingungen wie denen der CPU, wenn auch weniger kritisch.

Die genannten Faktoren sind nicht vorhersehbar und somit ist der Zeitraum zwischen gewünschter Aufnahme und tatsächlicher Aufnahme teilweise immens. Die Differenz der Aufnahme zwischen Stream 1 und Stream 2 beträgt zeitweise bis zu 1s; im Regelfall ca. 0,5s.

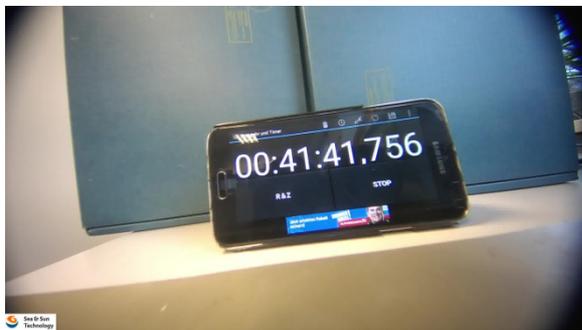


Abbildung 31 - rechte Kamera

In



Abbildung 30 - linke Kamera

Abb. 30 und 31 ist jeweils ein Standbild der für das linke und rechte Auge vorgesehenen Kamera im gleichen Moment angezeigt. Anhand der abgebildeten Stoppuhr ist die genaue Synchronisation beider Bilder zu erkennen. Die Bilder wurden manuell aus dem jeweiligen Video-Stream herausgesucht.

Um das synchrone Zusammenfügen der beiden Aufnahmen zu erleichtern, steuert der erste Video-Server (Master) nach dem Erhalt des Aufnahmebefehls die angeschlossene LED-Lampe in einer genau definierten Sequenz (drei kurz aufeinanderfolgende Blitze) an. Mithilfe dieser „Markierungen“ ist eine bildgenaue Synchronisierung leicht durchführbar.

### 2.1.3.5 *Micro Struktur Sonde*

Ein Mikrostruktur Messsystem ist ein Instrument zur simultanen Messung von Mikrostrukturen und physikalischen Parametern in Seewasser. Die Sonde arbeitet mit einer sehr hohen Übertragungsrate (1024 Hz), um die vertikalen Skalen der turbulenten Dissipation im Ozean hochgenau auflösen zu können.

Das System wird mit zwei Scherungssensoren (Airfoil), einem hochauflösenden Temperatursensor (Microthermistor), einem Beschleunigungssensor sowie mit Standard CTD Sensoren für präzise Messungen von Temperatur, Leitfähigkeit und Druck ausgerüstet.

Damit die Bugwelle des Fahrzeuges diese Strukturen nicht vor der Messung zerstört, müssen die Sensoren entsprechend weit vor dem Fahrzeug platziert werden.

Eine Digitalisierung der Messdaten ist durch die größere Entfernung zwischen Sensorik und Sonde von Vorteil. Durch die hohe Abtastrate werden große Datenmengen erzeugt, die in der Sonde gespeichert werden müssen. Deshalb muss die Sonde mit einem hinreichend großen und schnellen Speicher ausgestattet werden. Das Auslesen des Speichers findet entweder über die zum Zentralrechner des Fahrzeuges bestehende Ethernet-Schnittstelle oder separat über eine an der Sonde befindliche USB-Schnittstelle statt. Eine reduzierte Datenmenge kann zum Monitoring über die Ethernet-Schnittstelle an den Zentralrechner gesendet werden.

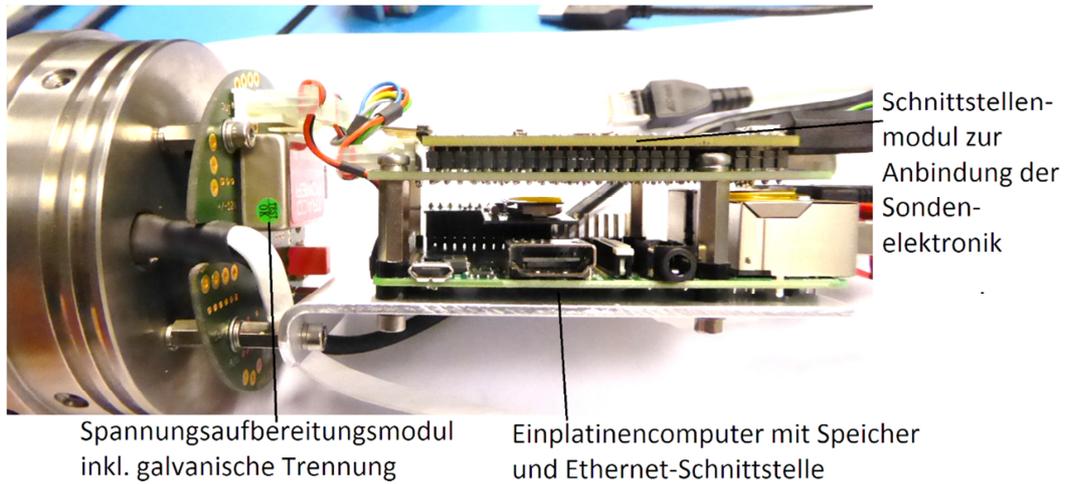
#### Anwendung

- Detektion von Mikro-Wirbeln, wie sie z.B. von Schiffsschrauben erzeugt werden
- Detektion von schnellsten Temperaturänderungen
- Detektion von internen Wellen
- Aufnahme von biologischen Austauschprozessen an Sprungschichten

#### 2.1.3.5.1 *Entwicklung eines Moduls zur Steuerung und Speicherung der Sondendaten*

Auf Basis eines Einplatinenrechners wurde ein Modul zur Steuerung und Speicherung der Sondendaten entwickelt. Das Modul empfängt die Daten der Mikrostruktursensoren mit hoher Auflösung (1024 Daten-sätze pro Sekunde) und kann diese auf Befehl des Zentralrechners speichern. Für jeden neuen Speicherbefehl wird eine neue Datei mit Datum und Uhrzeit angelegt.

Zum Monitoring und um evtl. ereignisgesteuerte Aktionen durchführen zu können, wird ein reduzierter Datensatz für den Zentralrechner, der über eine Ethernetschnittstelle mit dem Modul verbunden ist, zur Verfügung gestellt. Die Daten werden von der Sondenelektronik über ein Schnittstellenmodul an den Einplatinenrechner übertragen und dort in physikalische Werte (je nach Sensortyp) umgerechnet und auf Befehl des Zentralrechners gespeichert.



**Abbildung 32 - Speichereinheit der MSS**

Die komplette Sonde inkl. Modul wird über das Bordnetz (24V) versorgt. Zur Spannungsaufbereitung dient ein Wandler mit galvanischer Trennung. Die Ethernet-Schnittstelle ist über die im RJ45 Stecker integrierten Übertrager galvanisch getrennt. Die Daten der Sonde werden in physikalische Daten konvertiert.

Zur Datenspeicherung dient ein USB Massenspeicher (micro-SD-Karte) mit max. 32GB.

2.1.3.5.2 Sensorik der Mikrostruktursonde

Das System wird mit zwei Scherungssensoren (Airfoil), einem hochauflösenden Temperatursensor (Microthermistor), einem Beschleunigungssensor (ACC) sowie mit Standard CTD Sensoren für präzise Messungen von Temperatur, Leitfähigkeit und Druck ausgerüstet.

2.1.3.5.2.1 Scherungssensor

Neben den schon beschriebenen Sensoren einer Standard-Sonde (CTD) besitzt die Mikrostruktursonde schnelle Sensorik zur Detektion von kleinsten Wirbeln und Anomalien im Wasser. Einer der elementaren Sensoren einer Mikrostruktursonde ist der Scherungssensor. Konstruktionsbedingt wirkt sich der Wasserdruck, der aufgrund der Vorwärtsbewegung des Fahrzeugs entsteht (axiale Kräfte), nicht aus. Lediglich alle querlaufenden (transversalen) Kräfte werden durch den Fühler (Airfoil) erfasst. Die Kräfte werden über einen freischwingenden Stab auf ein piezokeramisches Element übertragen. Die Ausgangsspannung des piezokeramischen Elementes ist proportional zu den momentanen transversalen Kräften.

In einem System werden aus Redundanzgründen immer zwei Scherungssensoren eingesetzt.

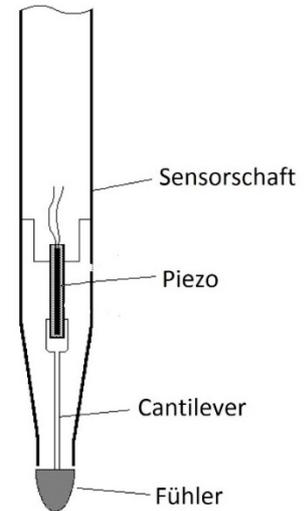


Abbildung 34 - Scherungssensor

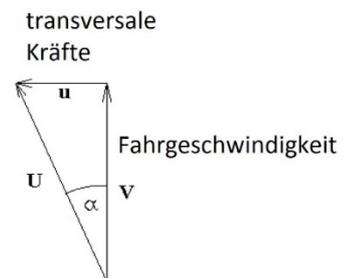


Abbildung 33 - Funktionsprinzip Scherungssensor

#### 2.1.3.5.2.2 NTC-Sensor

Ein weiterer wichtiger Parameter für die Mikrostrukturmessung ist die Temperatur. Wirbel sind energetisch geladen und können anhand von Temperaturschwankungen detektiert werden. Um diese in kleinen Strukturen messen zu können, bedarf es eines schnellen und feinauflösenden, also sehr kleinen Sensorelementes. Auch hier kommt es weniger auf die Genauigkeit als auf die Dynamik an.

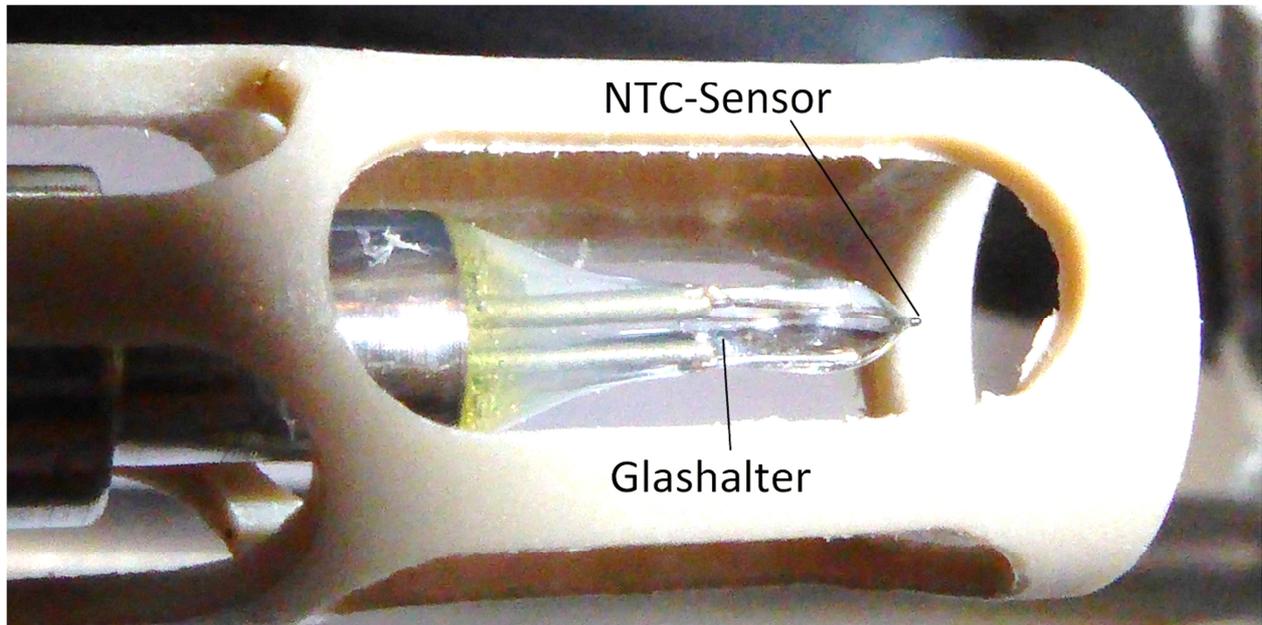


Abbildung 35 - Spitze des schnellen Temperaturfühlers (NTC)

Der Sensorspitze besteht aus einem sehr kleinen NTC-Widerstand (Negative Temperature Coefficient Thermistor), der auf der Spitze eines kegelförmigen Glaskörpers eingegossen ist.

#### 2.1.3.5.2.3 ACC Sensor

Um Vibrationen und Schwingungen des Fahrzeuges aus den gewonnenen Daten des Scherungssensors herausfiltern zu können, werden diese mit einem Beschleunigungssensor (ACC = acceleration) gemessen. Dieser Sensor benötigt keine direkte Verbindung zum zu messenden Medium und kann daher innerhalb der Sonde platziert werden.



Abbildung 36 - ACC (Beschleunigungssensor)

### 2.1.3.6 Telemetrie

#### 2.1.3.6.1 Vorgaben

Die Telemetrie befindet sich in der Unterwasser-Docking-Station und gewährleistet die Verbindung von bis zu 3 Unterwasser-Fahrzeugen mit der Deckseinheit (Wasseroberfläche).

Sie versorgt die Fahrzeuge mit Energie und transportiert die gesammelten Sensor- und Video-Daten zur Auswertung an die Deckseinheit.

An der Dockingstation sollen die Akkus von bis zu drei Fahrzeugen geladen werden. Gleichzeitig müssen die gesammelten Sensordaten und Videoaufnahmen ausgelesen werden. Die Dockingstation ist mit der Deckseinheit über ein übliches 2-Leiterkabel verbunden. Diese Kabel sind in der Regel nicht für hohe Datenraten ausgelegt. Zudem muss der Leitungsquerschnitt für die benötigte Leistung ausgelegt sein.

Die Speisung der Fahrzeuge erfolgt über eine galvanisch getrennte Gleichspannung, die von einem Netzteil in der Deckseinheit erzeugt wird. An der Dockingstation befindet sich eine Telemetrie, die die Spannungsaufbereitung zum Laden der in den Fahrzeugen befindlichen Akkus zur Verfügung stellt. Die Telemetrie moduliert die aus den Fahrzeugen ausgelesenen Daten auf die Gleichspannung.

#### 2.1.3.6.2 Kabel für Daten und Stromversorgung

2-Leiterkabel bzw. das, was in der Meeresmesstechnik üblicherweise als Einleiterkabel (Stahlseil mit interner Ader) bezeichnet wird.

#### **Zur Verfügung zu stellende Leistung**

**für das Fahrzeug:**  $\geq 500W$

**Min. zu übertragende Datenrate:**  $\geq 2Mb/s$

#### 2.1.3.6.3 Übersicht der möglichen Übertragungstechniken

##### 2.1.3.6.3.1 DSL "Digital Subscriber Line" (deutsch: Digitale Teilnehmeranschlussleitung)

Diese Technik wurde eingeführt, um über bereits vorhandene Telefonleitungen größere Datenmengen für eine Internetverbindung zu realisieren.

Von den physikalischen Gegebenheiten her sind Telefonleitungen zwar in der Regel anders aufgebaut, trotzdem eignen sich verschiedene DSL-Übertragungsverfahren für den Einsatz mit Unterwasserkabeln.

Unter dem Oberbegriff xDSL wird eine Vielzahl von Übertragungssystemen zusammengefasst. Die verschiedenen xDSL-Systeme können anhand der Kriterien Reichweite und Symmetrie der übertragenen Bitraten in drei Familien (HDSL, ADSL und VDSL) gruppiert werden.

##### 2.1.3.6.3.2 Symmetrische DSL-Verfahren

Die symmetrischen DSL Verfahren besitzen die gleiche Datentrate für "Upstream" und "Downstream".

Folgende DSL-Verfahren seien hier genannt:

- **HDSL** (High data rate Digital Subscriber Line)  
Reichweite >2Km / Übertragungsrate bis zu 2 Mbps
- **SDSL** (Symmetric Digital Subscriber Line )  
Reichweite bis zu 3Km / Übertragungsrate bis zu 3 Mbps
- **SHDSL** (Symmetric High bit rate Digital Subscriber Line)  
Reichweite bis zu 3 Km / Übertragungsrate bis zu 4,6 Mbps. SDSL ist resistenter gegen Übersprechen (cross-talk).

#### 2.1.3.6.3.3 *Asymmetric DSL-Verfahren*

Charakterisierend für das asymmetrische Verfahren ist eine höherer „Downstream-“ als „Upstream-Rate“

Hierzu gehören:

- **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line)  
Downstream-Bitrate bis 8Mbps und Upstream bis zu 1 Mbps
- **ADSL 2** (Asymmetric Digital Subscriber Line 2)  
Downstream-Bitrate bis 12Mbps und Upstream bis zu 1 Mbps  
ADSL2 ist unempfindlicher gegen Störungen und Übersprechen. ADSL2 ermöglicht die Nutzung von 2 Aderpaaren. Somit ist eine Übertragungsrate bis zu 40 Mbps möglich.
- **ADSL 2+** (Asymmetric Digital Subscriber Line 2+)  
Downstream-Bitrate bis 20Mbps und Upstream bis zu 2Mbps
- **ADSL 2++** Asymmetric Digital Subscriber Line 2++  
Downstream-Bitrate bis 52Mbps und Upstream bis zu 3,7Mbps

#### 2.1.3.6.3.4 *Symmetrisches und asymmetrisches DSL*

Dieses DSL-Verfahren vereinigt das symmetrische und das asymmetrische Verfahren.

- **VDSL** (Very high bit rate Digital Subscriber Line)  
Die Reichweite ist kleiner als bei den „reinrassigen“ Verfahren, die Übertragungsrate aber deutlich höher.

(Datenrate bis zu 200Mbps bei VDSL2)

#### 2.1.3.6.3.5 *PLC (Powerline Communication)*

Powerline-Kommunikation ist aus der Hausvernetzung bekannt. Stromleitungen werden genutzt, um Datenkommunikation zwischen Rechnern bzw. zwischen Rechner und Router zwecks Internetverbindung herzustellen. Es gibt unterschiedliche Standards die sich je nach Applikation im Wesentlichen in

der Übertragrate unterscheiden. Zudem sind die Standards in Europa (CELELEC), Amerika (FCC) und Asien (ARIB); insbesondere in den Frequenzbändern unterschiedlich.

Durch die Mehrfachnutzung von vorhandenen Leitungen gelten diese Übertragungsverfahren als sehr schnell und kostengünstig umsetz- und realisierbar. Von besonderer Bedeutung sind auch Sicherheitsaspekte. PLC ist für Leitungen, die zur Versorgung dienen, konzipiert. Es ist daher relativ resistent gegen Störeinflüsse.

Neue Technologien erlauben eine hohe Reichweite bei gleichzeitig hoher Datenrate.

Bei ca. 1Km sind bis zu 100Mbps möglich. Die maximale Reichweite ist in Abhängigkeit der Qualität des Kabels bis zu 3km möglich.

Vorteile von PLC sind:

- Günstige Hardware
- Geringer Eigenverbrauch
- Geringer Platzbedarf

Es kann als Punkt zu Punkt oder als Multipunkt-Verbindung konfiguriert werden.

#### 2.1.3.6.4 Ergebnis:

Für die technischen Anforderungen in diesem Projekt eignet sich die günstigere Powerline-Technik.

#### 2.1.3.6.5 Powerline Modem

Die Modems EC02 der Firma Mestechs verwenden das Prinzip der Powerline-Technik und ermöglichen eine Datenübertragung laut Datenblatt bis zu einer Leitungslänge von 2.5km. Das Modul benötigt eine Versorgungsspannung von 5,5V und wird über eine Standard Ethernet-Schnittstelle angesprochen. Das Modem verwendet die Modulationsmethode OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, deutsch Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren). Es ist eine spezielle Implementierung der Multicarrier-Modulation, ein Modulationsverfahren, das mehrere orthogonale Träger zur digitalen Datenübertragung verwendet. Dadurch ist es gegen Störungen unempfindlicher.

Die Übertragungsfrequenz beträgt zwischen 2MHz und 28Mhz. Die Daten werden auf der gleichen Leitung wie die Versorgungsspannung übertragen. Um die aufmodulierten Signale von der Speisenspannung zu trennen, wird ein Übertrager verwendet, welcher in Form eines Hochpasses aufgebaut ist und lediglich die hochfrequenten Datensignale zum PHY des Modems durchlässt. Zum Blocken der auf dem Übertragungskanal verwendeten Gleichspannung ist an den Ein- und Ausgängen des Modems jeweils ein Kondensator mit einer Spannungsfestigkeit von 250VDC in Reihe geschaltet. Das Modem ermöglicht eine maximale Übertragungsrate von 200Mbits/s und unterliegt dem IEEE1901 Powerline-Standard.

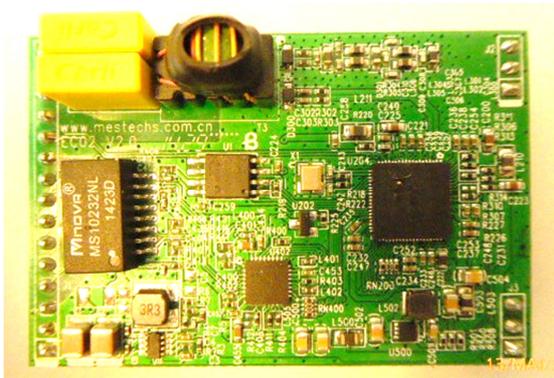


Abbildung 37 - EC02 Powerline Modem

### 2.1.3.6.5.1 Aufbau

Die Telemetrie besteht aus:

1. Einer Deckseinheit
2. Unterwassereinheit
3. Einer Kamera
4. Einer LED-Beleuchtung

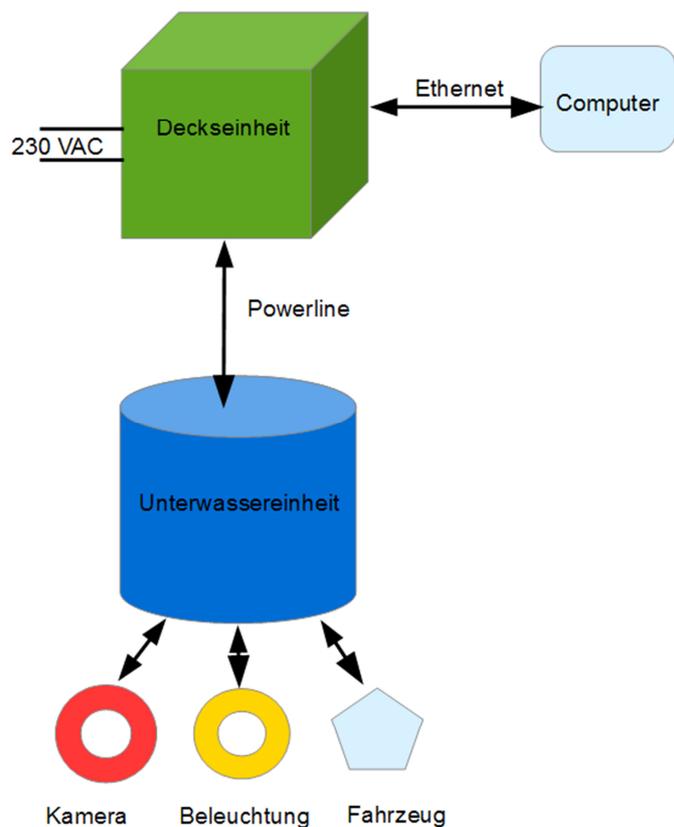


Abbildung 38 Blockschaltbild Telemetrie

### 2.1.3.7 Deckseinheit

Die Deckseinheit ist für den Einsatz auf einem Schiff oder einer Plattform spritzwasserfest (IP65) ausgelegt. Sie wird mit einer Wechselspannung von 110 bis 240 VAC gespeist. Zwei interne Netzteile, die in Serie geschaltet sind, liefern eine Gleichspannung von 72VDC. Diese Spannung ist so ausgelegt, dass bei einem Defekt des Unterwasserkabels Taucher oder andere Personen, die mit dem Kabel in Berührung kommen könnten, keine Verletzungen erleiden. Andererseits ist bei einer geforderten Leistung von mindestens 500W, die die Unterwassereinheit zur Versorgung bereitstellen muss, diese Spannung erforderlich, da, trotz eines Kabelquerschnitt von  $2,5 \text{ mm}^2$ , am Kabel bereits ein großer Teil der Leistung verloren geht.

### 2.1.3.7.1 Versorgung

Um den Spannungsabfall auf dem ca. 100 Meter langen Kabel gering zu halten, wäre eine möglichst hohe Speisespannung vorteilhaft. Wechselspannung ist gefährlicher als Gleichspannung. Deshalb liegt die max. Berührungsspannung von Wechselstrom bei 48V, während für Gleichstrom bis zu 120V laut der Norm DIN IEC/TS 60479-1 angegeben werden.

Aus diesem Grund wird zur Speisung eine Gleichstromquelle ausgewählt.

### 2.1.3.7.2 Auswahl von Kabel, Netzteil und Wandler

#### 2.1.3.7.2.1 Kabel:

Zwei-Leiter-Kabel, mit je einen Querschnitt von  $2,5\text{mm}^2$ .

Es wurde ein 2-adriges „ÖLFLEX-Kabel“ mit Gummi-Mantel ausgewählt.

Kabelbezeichnung: H07RN-F, erweiterte Version

Hersteller: Lapp-Kabel

#### 2.1.3.7.2.2 Netzteil:

- Eingangsspannung: 230VAC
- Ausgangsspannung: 75VDC
- Ausgangsleistung:  $\geq 500\text{W}$

#### 2.1.3.7.2.3 Wandler:

Es werden 2 Wandler über einen Pi-Filter an die Versorgung angeschlossen.

Der 1. Wandler ist für die Stromversorgung des Fahrzeugs zuständig. Er liefert 48VDC / 400W.

Der 2. Wandler mit einer Ausgangsspannung von 24V versorgt die Lampe und stellt die Eingangsspannung für weitere Wandler, die zur Versorgung der Kamera (12V) und der internen Verspannung (5,5V), zur Verfügung dienen.

Alle Wandler benötigen keine galvanische Trennung, da diese bereits im Netzteil der Deckseinheit vorhanden ist.

Die Wandler sind so ausgelegt, dass die Unterwassereinheit direkt ohne Kabelverluste an das Netzteil angeschlossen werden kann. Das Kabel hat einen Schleifenwiderstand von ca. 1,6 Ohm.

Das Netzteil liefert einen Strom von bis zu 7A. Bei 7A fallen 11,2V am Kabel ab. Die Wandler müssen also einen minimalen Eingangsbereich von  $(75\text{V} - 11,2\text{V} = 63,8\text{V})$  63,8V bis 75V besitzen.

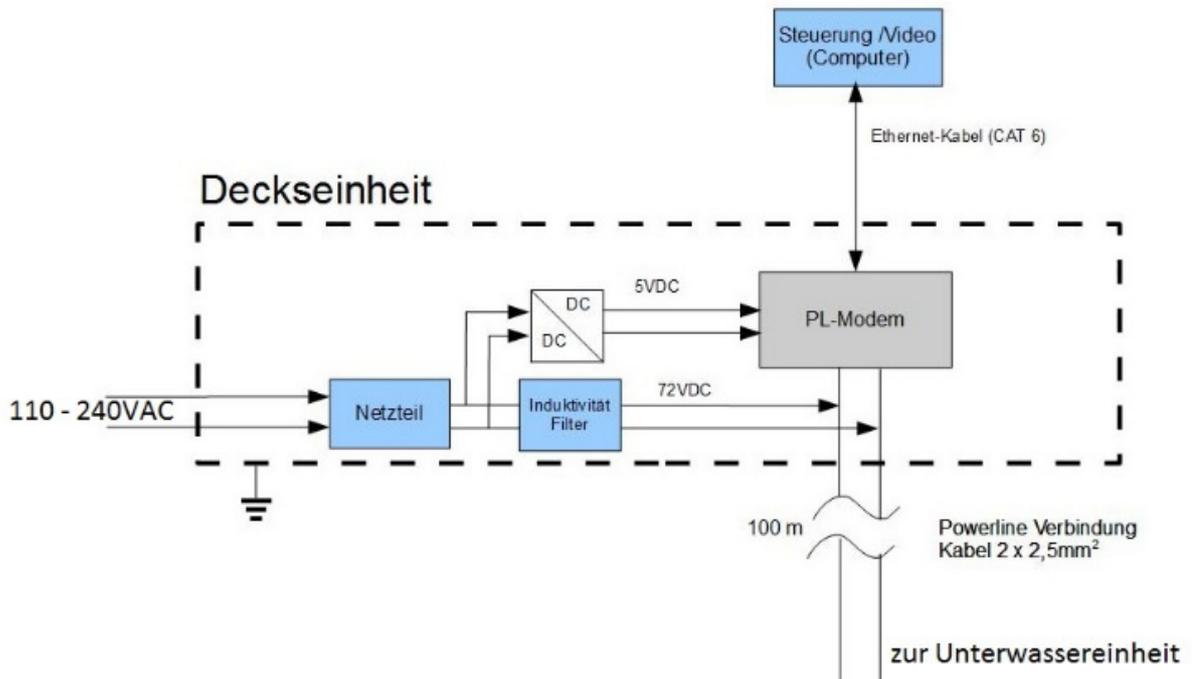


Abbildung 39 / Blockschaftbild Deckseinheit

Zur Datenübertragung befindet sich ein Powerline Modem in der Deckseinheit, welches Daten auf die Versorgungsspannung moduliert und demoduliert. Diese Leitungen werden über einen vierpoligen Hirschmannstecker zur Unterwassereinheit geführt. Über eine RJ45-Buchse wird die Deckseinheit mit einem Computer verbunden.

Die Deckseinheit wird in einem wasserdichten (IP67) Aluminium-Gehäuse untergebracht. Die in Serie geschalteten Netzteile sind zur Wärmeableitung thermisch mit dem Gehäuse verbunden.



Abbildung 40 Deckseinheit

### 2.1.3.8 Unterwassereinheit

Die Unterwassereinheit ist in einem eloxierten Aluminiumgehäuse untergebracht. Das Gehäuse ist für einen Wasserdruck von 300dbar ausgelegt.



Abbildung 41 - Unterwassereinheit der Telemetrie

Für die Steckverbinder zur Anbindung der Unterwassereinheit an das Versorgungskabel, den Anschluss der Kamera und der LED-Lampe wurden Stecker der Firma Lemo ausgewählt. Sie sind für den geforderten Wasserdruck ausreichend. Zum Anschluss des Fahrzeuges muss einerseits die Leistung, andererseits die Ethernet-Verbindung übertragen werden. Für die Ethernet-Übertragung ist ein spezielles Kabel erforderlich (CAT5 bzw. CAT6). Der Steckverbinder der Firma Subconn erfüllt diese Anforderungen.

Die Unterwassereinheit besteht aus mehreren Spannungswandlern, dem Modem, einem Ethernet-switch zur Anbindung der IP-Kamera, der schnurlosen Verbindung des Fahrzeuges und des zur Steuerung verwendeten Ethernet-zu-Seriell-Wandlers. Dieser steuert die LED-Lampe und die Kamera.

#### 2.1.3.8.1 Ethernet-Switch

Der Switch wird an die Ethernet-Schnittstelle des Modems angeschlossen. Der Switch kontrolliert die IP-Adressen eingehende Datenpakete jedes angeschlossenen Teilnehmers und leitet diese an den entsprechenden Teilnehmer weiter. Die Kommunikation zum Fahrzeug erfolgt direkt über die Ethernet-Schnittstelle.

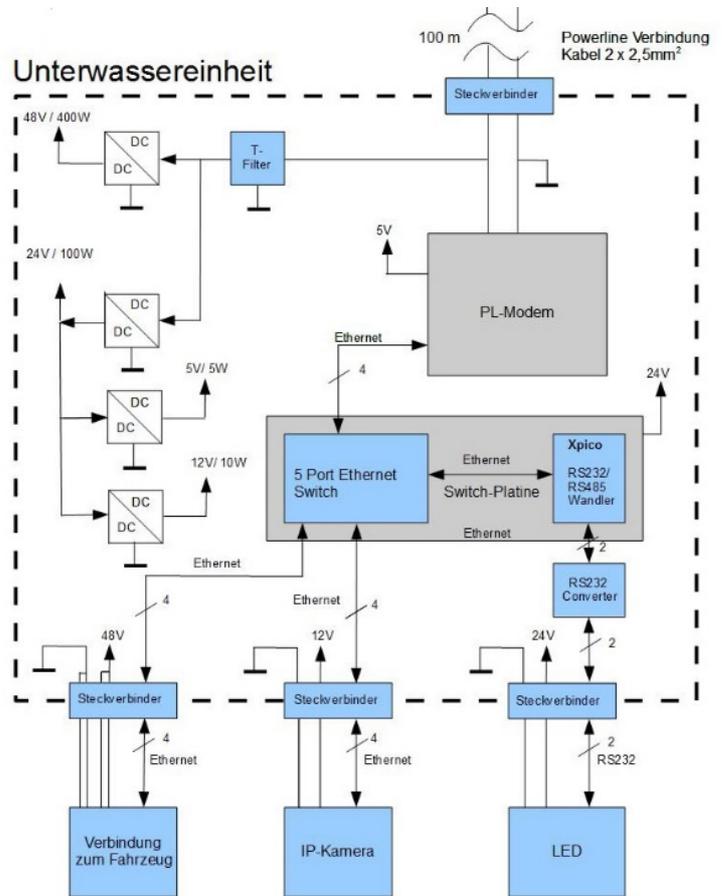


Abbildung 42 / Blockschaltbild Unterwassereinheit

Auch die Kameradaten werden über eine Ethernet-Schnittstelle empfangen. Um die Beleuchtung zu steuern, bedarf es einer seriellen Schnittstelle. Zu diesem Zweck wird ein über Ethernet gesteuertes Modul, das zwei serielle Schnittstellen und vier Ports (GPIO) zur Verfügung stellt, benötigt.



Abbildung 43 -Ethernet-Switch

Auf der Platine befindet sich ein Mikrokontroller KSZ8895MQXIA (A) von Micrel, der für den Einsatz als Ethernet-Switch konzipiert wurde. Bereitgestellt werden fünf Ethernet Ports mit möglichen Übertragungsraten von 10 Mb/s oder 100 Mb/s. Hierbei wird eine direkte Verbindung zu den einzelnen Teilnehmern hergestellt. Voraussetzung ist, dass dem Switch die Ports der einzelnen Geräte bekannt sind. Ist dies nicht der Fall, werden allen Teilnehmern Datenpakete zugesendet. Durch Antwort einzelner Teilnehmer kann der Switch die mitgesendete MAC-Adresse und den zugehörigen Port zuordnen und zukünftig die Daten direkt an diesen Port weiterleiten. Zum Betreiben des Moduls ist eine 6.5V bis 24V Eingangsspannung erforderlich. Der Xpico Seriell-zu-Ethernet Konverter ist auf der Platine direkt über die Ethernet Schnittstelle am Switch angebunden, hierdurch stehen für weitere Geräte nur noch vier Ethernet-Anschlussmöglichkeiten zur Verfügung.

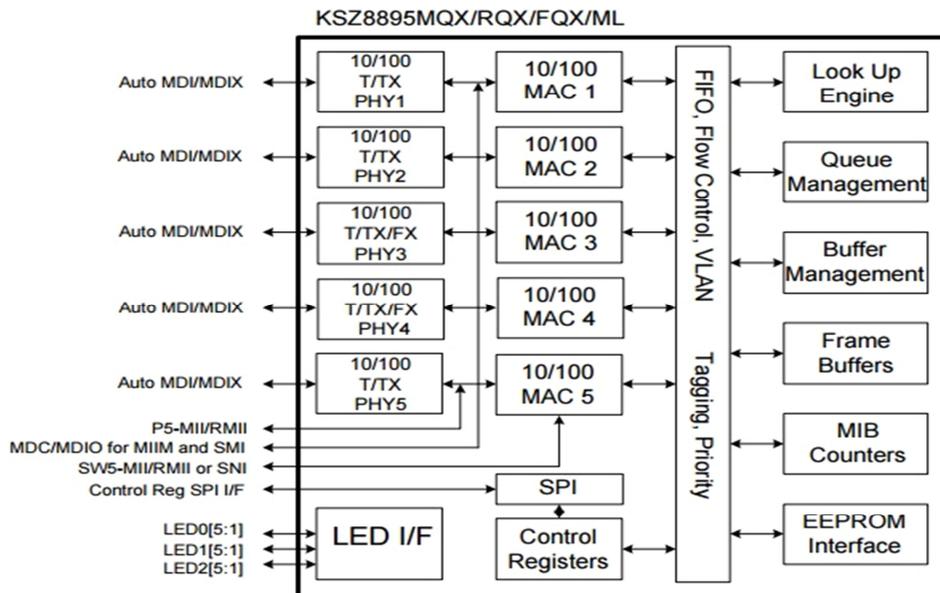


Abbildung 44 -Blockdiagramm des Xpico LAN-Geräte-Server

Der Xpico Embedded-Geräte-Server bietet die Möglichkeit, über ein serielles Interface zwei serielle Schnittstellen zu einer Ethernet-Verbindung zu konvertieren. Das interne UART des Device Server ist dabei kompatibel für 3.3V CMOS Logikpegel (5V tolerant) der seriellen Signale. Um RS232-oder RS422/485-Pegel an den Device Server anzubinden, ist ein jeweiliger Treiberbaustein vor dem Baustein notwendig, der eine Pegelanpassung auf einen TTL-Pegel vornimmt. Zusätzlich verfügt der Baustein über acht frei konfigurierbare I/O Pins, welche ebenfalls 3.3 V CMOS Pegel betreiben und 5 V tolerant am Eingang sind.

### 2.1.3.9 Kamera und Lampe

Die Kamera besitzt das gleiche Außengehäuse wie die SDI-Kameras (Abbildung 36). Im Inneren befindet sich jedoch ein anderer Aufbau. Das Kameramodul ist anders als wie bei den SDI-Kameras nicht für Stereoaufnahmen ausgelegt. Eine kostengünstigere IP-Kamera ist für die Anforderungen ausreichend.



Abbildung 46 -Kamera der Dockingstation



Abbildung 45 -LED-Lampe Dockingstation

Die Helligkeit der LED-Lampen zur Ausleuchtung der Kamera wird über eine serielle Schnittstelle (RS232) von der Unterwassereinheit gesteuert. Ein in der Lampe integrierter Microcontroller wandelt die seriellen Daten in analoge Werte, mit denen der LED-Treiberbaustein angesteuert wird. Dieser sorgt selbst bei schwankender Eingangsspannung für ein gleichmäßiges, flackerfreies Licht. Auch hier wird auf kompakte Bauweise, aber auch insbesondere auf eine große Energieeffizienz geachtet. Eine interne Temperaturmessung am LED-Array verhindert eine Überhitzung und schützt vor Ausfall der Lampe.

## Bionic Observation and Survey System

### Merkmale:

- 0 bis 100% dimmbar, wahlweise über eine analoge oder digitale Schnittstelle
- hohe Lichtausbeute
- flackerfrei durch interne Regelung
- sanfter Anlauf verhindert den Einbruch der Versorgungsspannung
- Schutz vor Überhitzung
- weiter Versorgungsspannungsbereich (9-60VDC)



Abbildung 47 - transportables System für die Docking-Station

Der übertragene Video-Stream lässt sich mit einem Media-Player-Programm (wie z.B. VLC) darstellen. Je nach verwendetem Programm kann die Latenz variieren.

Die Steuerung der Kamera bzw. der Lampe erfolgt über das integrierte Webinterface des xPico Geräte-servers.

## 2.2 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Eine ausführliche Auflistung der angefallenen Kosten befindet sich in der beigefügten Anlage

## 2.3 Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Anteil von Sea & Sun Technology GmbH an dem Projekt erforderte eine Vielzahl an neuen Entwicklungen.

Es konnte eine neuartige Sonde entwickelt werden, die als Basis für eine ganze Sonden-Familie dient.

Die Sonde besitzt einen modernen, leistungsstarken Controller, der den Einsatzumfang für die neuen Sea & Sun Sonden deutlich erweitert. Es wurden neue Schnittstellen integriert, die insbesondere zur Integration in Unterwasserfahrzeuge geeignet sind.

Im Zuge des Projektes wurden neue Sensoren entwickelt bzw. weiterentwickelt.

Auch die Mikrostruktursonde (MSS) wurde im Rahmen des Projektes mit weiteren wichtigen Eigenschaften erweitert. Sie kann jetzt dank des integrierten schnellen Rechners autonom betrieben werden. Diese Funktion kann auch für eine längere Kabelanbindung genutzt werden, bei der nicht mehr die zur direkten Übertragung notwendige Datenrate erzielt werden kann.

Insbesondere die Entwicklung des Video-Systems war eine echte Herausforderung. Auf diesem Gebiet haben wir in vielen Bereichen Neuland betreten. Leider spiegelt sich das auch im Entwicklungsverlauf wieder. Aufgrund der Vorgaben, ein hochauflösendes 3D-System in ein Fahrzeug mit sehr beengten Platzverhältnissen und begrenzter Akkukapazität zu integrieren, hat uns insbesondere in der mechanischen Umsetzung Schwierigkeiten bereitet. Hier besteht auch für zukünftige Systeme Optimierungspotential.

Mit der Umsetzung der Stromversorgung und Datenübertragung der Andockstation ist eine neue kostengünstige Telemetrie entwickelt worden. Sie ist sehr gut für eine schnelle Datenübertragung von Video- und Sondendaten sowie die Versorgung von Unterwassergeräten für kürzere Kabelanbindungen geeignet.

Insgesamt hat das Projekt der Firma Sea & Sun Technology GmbH in vielen Bereichen geholfen, das Portfolio zu erweitern bzw. zu aktualisieren.

## 2.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplan

Im Verlauf des Projektes wurde ein neuartiges Unterwasserfahrzeug mit herausragenden Eigenschaften entwickelt. Da eine Vielzahl an neuen Komponenten für dieses Projekt entwickelt werden mussten und es in erster Linie um den Nachweis der Machbarkeit ging, wurden die Einsatzbedingungen eingeschränkt. Das Fahrzeug ist z.B. nur für eine Wassertiefe von 50 Metern ausgelegt. In diesem Projekt wurden die Schwachstellen einzelner Komponenten sichtbar. Aus dieser Erfahrung sollte eine Weiterentwicklung mit besseren Eigenschaften und erweiterten Funktionen und Leistungen durchgeführt werden. Eine Auslegung für größere Tiefen (bis 6000 Meter) und Ausstattung weiterer Sensorik würden das Anwendungsgebiet für das Fahrzeug erheblich erweitern. Auch eine Weiterentwicklung der Sensorik, insbesondere die der Mikrostruktursensoren, die aufgrund physikalischer und mechanischer Beschränkungen keine optimale Position am Fahrzeug haben und somit die Messungen nur bedingt nutzbar sind, müssen für eine Anbringung weit vor dem Fahrzeug ausgelegt werden. Hierzu

ist eine Datenaufbereitung (Digitalisierung) innerhalb des Sensors erforderlich. Zudem muss eine bewegliche mechanische Halterung zum Schutz der empfindlichen Sensorik entwickelt werden.

Aufgrund der Erfahrungen bei der Entwicklung des Video-Systems und der heutigen verfügbaren neuen Komponenten könnte ein besseres und energieeffizienteres System entwickelt werden. Für den Einsatz in größeren Tiefen müssen die Gehäuse entsprechend ausgelegt werden.

Um das Fahrzeug bei Auslegung für größere Tiefen noch handhabbar zu gestalten, müssen Teile der Elektronik druckneutral vergossen werden, da für größere Tiefen stärkere und damit schwerere Gehäuse notwendig sind.

### 2.5 Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine Weiterentwicklungen seitens dritter auf diesem Gebiet bekannt.

### 2.6 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Es wurden Vorträge über das Projekt im Rahmen der folgenden Veranstaltungen gehalten:

1. Besuche einer Indonesischen Delegation beim FTZ Büsum (18.01.2017)
2. Besuch einer Chinesischen Werft CSIC in Tiajin (20.02 bis 24.02.2017)
3. Ocean Business Southampton (04.04 bis 6.04.2017)
4. „EVER MONACO“ Ausstellung und Roundtables (10.04 bis 13.04.2017)
5. P. Shirshow Institute Moskau (24.04.2017)
6. SST Seminar St. Petersburg (25.04.2017)
7. FOOD and Agriculture Organization of the United Nations „UN FAO“ (8.06 und 09.06.2017)
8. “Weather-Climate-Water” Forum & Exhibition St. Petersburg (14.06 und 15.06.2017)
9. “Öko Bio Marine” Papenburg (28.07 bis 29.07.2017)
10. Vortrag „HISUN-JIMANG-Institute“ China (20.08.2017)
11. Vortrag „BALTIC-MARINE“ Fraunhofer Institut
12. „Blue Marine“ Kanada

Im Rahmen dieser Vorträge wurden Informationsmaterialien in Form von Videofilmen auf einem USB-Stick verteilt.

### 3 Abbildungsverzeichniss

Abbildung 1 - Platzierung der SST-Komponenten .....	6
Abbildung 2 - ursprünglicher Zeitplan .....	8
Abbildung 3 - tatsächlicher Ablauf .....	9
Abbildung 4 - CTD-Sonde.....	11
Abbildung 5 - Leitfähigkeitszelle.....	13
Abbildung 6 - Querschnitt der Leitfähigkeitszelle .....	13
Abbildung 7 - Optionale Sonde mit Fluorometer und Sauerstoffsensor .....	15
Abbildung 8 - Sauerstoff- und Chlorophyllsensor .....	15
Abbildung 9 - Sauerstoffsensor / Sensorfeld.....	16
Abbildung 10 - Sauerstoffsensor .....	16
Abbildung 11 - Ansprechzeit Sauerstoffsensor .....	16
Abbildung 12 - Messprinzip.....	17
Abbildung 13 - Spektren der Absorption bzw. Emittierung .....	18
Abbildung 14 - Darstellung der Linearität .....	18
Abbildung 15 - Prinzip der Ein- bzw. Auskopplung.....	19
Abbildung 16 - Filter für die Aus- bzw. Einkopplung .....	19
Abbildung 17 - interner Aufbau.....	19
Abbildung 18 - LED-Array .....	20
Abbildung 19 - Blockschaltbild LED-Lampe .....	21
Abbildung 20 - Blockschaltbild der Video-Server .....	22
Abbildung 21 - Video-Gesamtsystem eines Fahrzeuges .....	23
Abbildung 22 - Aufbau der Trägerplatine mit Ethernet-Switch und Beleuchtungssteuerung .....	24
Abbildung 23 -Video-Server-Gehäuse .....	26
Abbildung 24 - Innenaufbau Video-Server .....	26
Abbildung 25 - Aufbau der SDI-Kamera .....	28
Abbildung 26 - SDI Kameragehäuse .....	28
Abbildung 27 - Objektiv .....	29
Abbildung 28 - Berechnung des effektiven Öffnungswinkels .....	30
Abbildung 29 - Tri-Level-Sync .....	30
Abbildung 30 - linke Kamera .....	31
Abbildung 31 - rechte Kamera.....	31
Abbildung 32 - Speichereinheit der MSS.....	33
Abbildung 33 - Funktionsprinzip Scherungssensor .....	34
Abbildung 34 - Scherungssensor .....	34
Abbildung 35 - Spitze des schnellen Temperaturfühlers (NTC).....	35
Abbildung 36 - ACC (Beschleunigungssensor) .....	35
Abbildung 37 - EC02 Powerline Modem .....	39
Abbildung 38 Blockschaltbild Telemetrie .....	39
Abbildung 39 / Blockschaltbild Deckseinheit .....	41
Abbildung 40 Deckseinheit.....	41
Abbildung 41 - Unterwassereinheit der Telemetrie.....	42
Abbildung 42 / Blockschaltbild Unterwassereinheit .....	42
Abbildung 43 -Ethernet-Switch .....	43
Abbildung 44 -Blockdiagramm des Xpico LAN-Geräte-Server .....	43
Abbildung 45 -LED-Lampe Dockingstation .....	44
Abschlussbericht BOSS - FKZ 03SX361B .....	48

Abbildung 46 -Kamera der Dockingstation .....	44
Abbildung 47 - transportables System für die Docking-Station .....	45

## 4 Anlagen

- Erfolgskontrollbericht gem. Nr.3.2 BNBest BMBF 98
- Verwertungsplan gem.Pkt.II.2 (BN-NKBF)
- Verwendungsnachweis gem.Nr.19.3 NKBF 98