

Schlussbericht

zum Vorhaben

“Blue Box: Meß-System für Fährschiffe ”

Förderkennzeichen: 03F0217B

Forschungsstelle Meerestechnik/
Zentrum für Angewandte Meereswissenschaften
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Kiel
Januar 2002

Inhalt

1. Allgemeine und organisatorische Vorhabensentwicklung

1.1 Personal

1.2 Koperationsabkommen

1.3 Einbeziehung und Beteiligung eines industriellen Partners

2. Wissenschaftlich-technische Vorhabensentwicklung

Teil A: Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Kiel (Teilprojekt Kiel)

2.1 Allgemeine Aussagen

2.2 Sensoren

2.2.1 Temperatur

2.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

2.2.3 Lichttransmission / Fluoreszenz

2.2.4 Gelöster Sauerstoff

2.3 Zusammenfassung

2.4 Messdaten von der KRONPRINS HARALD

2.5 Berichte

2.5.1 "Ferries in Operational Oceanography - The German Ferry Box Project"

2.5.2 "BLUEBOX – Modular Instruments by CAN-BUS"

2.5.3 "Temperatur - Messung"

2.5.4 "Lichtoptische Transmission"

2.5.5 "Energieversorgung"

Teil B: Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Büsum (Teilprojekt FTZ)

"Multi-Fluoreszenz-Sensor" (MFS)

1. Allgemeine und organisatorische Vorhabensentwicklung

1.1 Personal

Die mit der Bewilligung des Vorhabens bereitgestellten Personalstellen wurden umgehend zum 1. April 1998 besetzt:

Dr. Th. Knutz war zuständig für die Koordination innerhalb der Arbeitsgruppe und für die Verbindungen nach außen zu Kooperationspartnern, daneben bearbeitete er das gesamte Meßsystem mit seinen Teilaspekten. Dr. E. Fahrn war zuständig für die Energieversorgung sowohl der Sensorik und des gesamten Meßsystems als auch speziell für die Sensor-Elektronik. Herr Dipl.-Phys. C. Green bearbeitete die Integration von Mikrocontrollern in die verwendeten Sensoren ("Front-end intelligence") und untersucht darüber hinaus spezielle spektroskopische Aspekte in Bezug auf ihre Anwendbarkeit für das Blue Box - System. Frau Dr. J. Fischer bearbeitete während eines Zeitraumes von 2 Jahren allgemeine Aspekte des Einsatzes und der Anwendbarkeit von Blue Box - Systemen in Europa im Rahmen von EuroGOOS.

Im Bereich des FTZ Westküste (Teilprojekt „Multi-Fluoreszenz-Sensor“ (MFS)) beschäftigte sich Dipl.-Phys. A. Ruser mit der Entwicklung eines Systems zur Untersuchung und zur Erkennung von Algengruppen und deren photosynthetischer Aktivität im marinen Bereich. Hierbei baute er auf der Grundlage eines auf limnische Anwendungen kalibrierten Algen-Online-Analyser (AOA) der Firma BBE Moldaenke GmbH (Kiel) auf.

Neben diesen im Rahmen des Projektes bereitgestellten Personalstellen wurde aus dem in der Arbeitsgruppe institutionell vorhandenen wissenschaftlichen und technischen Personal ein Projektteam gebildet, das mit unterschiedlichen Zeitanteilen im Vorhaben mitwirkte. Dieses Projektteam aus der Grundausstattung war allerdings nicht mit allen, weiter unten aufgeführten Mitarbeitern während der gesamten Laufzeit des Vorhabens verfügbar, weil während des Berichtszeitraums im organisatorischen Umfeld des Projektes eine strukturelle Änderung eingetreten ist. Im Zusammenhang mit der aus Altersgründen zum 31. März 2000 erfolgten Versetzung des Projekt-Koordinators (Prof. Koske) in den Ruhestand wurde die Arbeitsgruppe Meeresmesstechnik im Institut für Experimentelle und Angewandte Physik aufgelöst und die an den Lehrstuhl angeschlossene Forschungsstelle Meerestechnik in ein neu in Kiel geschaffenes "Zentrum für Angewandte Meereswissenschaften - ZAM" überführt.

Das Projekt-Personal aus der Grundausrüstung umfaßte folgende Mitarbeiter (mit ihren jeweiligen Arbeitsschwerpunkten):

Dr. J. Rathlev bearbeitete die CAN - Bus Systemkonfiguration und entwickelt das zugehörige Steuerungsprogramm, Dr. Diekmann beschäftigte sich mit der induktiven Leitfähigkeitsmessung und den entsprechenden Sensoren, die Herren R. Thomas, J. Mielke und S. Daniel von der Forschungsstelle Meerestechnik waren zuständig für den gesamten Erprobungs- und Testbetrieb in einer Teststation an der Schwentimündung auf dem Gelände des GEOMAR-Forschungszentrums, Herr A. Talmat arbeitet mit an der Entwicklung und Ausführung der Elektronik-Platinen, wie sie sich aus den Laboruntersuchungen ergeben, Herr J. Cohrs befaßt sich mit der Wasserführung im System und den dazu erforderlichen hydraulischen Komponenten.

Wie aus dieser Auflistung abzulesen ist, waren während der Projektlaufzeit durchgängig oder zeitweise etwa 10 Mitarbeiter in Kiel in der Arbeitsgruppe, teils aus Projektmitteln, teils aus der Infrastruktur, mit der Entwicklung eines Meßsystems für Fährschiffe beschäftigt.

1.2 Koperationsabkommen

Entsprechend den mit der Bewilligung erteilten Auflagen wurde unter den am Vorhaben beteiligten Partnern Uni Kiel / Forschungsstelle Meerestechnik (MT), Uni Kiel / Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ) und GKSS Forschungszentrum Geesthacht ein Kooperationsabkommen abgeschlossen, in dem das gemeinsame Vorgehen bei der Durchführung des Vorhabens festgelegt wurde. Entsprechend der Aufgabenverteilung bei der Antragstellung wurde vereinbart, daß die Forschungsstelle MT in Kiel sich vorwiegend mit dem eigentlichen Meßsystem und seinen Komponenten befaßt und die zentrale Koordinierung des Gesamtvorhabens übernimmt, das FTZ mittels Fluoreszenz-Spektroskopie Algengruppenerkennung im Meerwasser untersucht und damit ein Segment im Bereich der Sensorik bearbeitet und die GKSS schließlich eine der Blue Box Thematik angepaßte Überarbeitung der Landstation zur telemetrischen Übermittlung der Meßwerte vornimmt, auf der Grundlage der vorhandenen Mermaid-Software.

1.3 Einbeziehung und Beteiligung eines industriellen Partners

Ursprünglich wurde entsprechend der Antragsstellung davon ausgegangen, daß von Beginn der Vorhabensbearbeitung an als Industriepartner die Firma Meerestechnik-Elektronik / ME innerhalb der Projektstruktur mitarbeiten und auch unter Vermarktungsaspekten richtungsbestimmend auf die Detailentwicklung Einfluß nehmen würde. Aus betriebsinternen Gründen war es dann der Firma ME doch nicht möglich, den ihr zugedachten Anteil an dem Projekt zu übernehmen und durchzuführen, so daß nach der Bewilligung des Vorhabens als weitere Auflage die Einbeziehung eines neuen Industriepartners zu erfüllen war.

Unter anderem auch unter Mitwirkung der Technologie Transfer Zentrale (TTZ) Kiel wurde eine Reihe von kleineren und mittleren Unternehmen kontaktiert, um einen sowohl für die Entwicklungsphase als auch für die spätere Anwendung und Vermarktung geeigneten Industriepartner auszuwählen. Entsprechend der komplexen Problemstellung des Entwicklungsvorhabens, das hydraulische Komponenten, verschiedenartige Sensorik für Meerwasser, Analog- und Digital-Elektronik, Mikroprozessoren-Integration und Bus-Architektur und schließlich Systemprogrammierung umfaßt, waren nur relativ wenige KMUs geeignet und willens, derartige Aufgabenstellungen zu übernehmen.

Nach längerem Suchen wurde nach Rücksprache und im Einvernehmen mit der Projektträgerschaft die Firma GO - Systemelektronik aus Kiel als Haupt-Partner für das Blue Box Projekt ausgewählt. GO übernahm zunächst im Unterauftrag die Dokumentation des aktuellen Projekt-Zustandes, später im weiteren Projektverlauf mit einer gewissen zeitlichen Verschiebung dann als Projekt-Partner mit eigenständigem Teilprojekt auch die Erstellung der Systemdokumentation.

2. Wissenschaftlich-technische Vorhabensentwicklung

2.1 Allgemeine Aussagen

Die nachfolgenden Ausführungen zur wissenschaftlich-technischen Entwicklung des Vorhabens "Meßsystem für Fährschiffe" konzentrieren sich auf die wesentlichen Aspekte, die während der Vorhabensbearbeitung von Bedeutung waren. Verschiedene, weniger bedeutsame und bereits in den vorangegangenen Zwischenberichten angesprochene Inhalte werden hier nicht nochmals aufgeführt.

Mit dem Auslaufen des BLUE BOX Projektes Mitte 2001 wurde deutlich, dass die im Rahmen des Vorhabens realisierten, wissenschaftlich-technischen Lösungen den zu Projektbeginn aufgestellten Anforderungen an ein Meßsystem für Fährschiffe im wesentlichen entsprechen. So überzeugen die zur Zeit im Probetrieb eines Blue Box-Versuchsmusters auf der Kronprins Harald (Color-Line zwischen Kiel und Oslo) befindlichen Systemkomponenten durch den nahezu wartungs- und störungsfreien Betrieb über einen Zeitraum von bisher etwa 10 Monaten.

Die Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten im Kieler Blue Box -Projekt konzentrieren sich auf die 4 Teilprojekte, die das gesamte Blue Box-System repräsentieren:

1. Mechanisch / hydraulisches System
2. Energieversorgung
3. CAN - Bus
4. Sensorik

Änderungen in der Konfiguration dieses Gesamtsystems, welche den Anforderungen an eine Installation auf einem Schiff besser gerecht werden, konnten während des laufenden Versuchsbetriebs erkannt werden, was die Möglichkeit bietet, diese Verbesserungen im Laufe weiterer Entwicklungen, ggf. in einem nachfolgenden Projekt, relativ problemlos einzubringen und umzusetzen.

Die Anbindung eines GPS-Navigationssystems sowie die Integration eines Modems mit externer Antenne für terrestrische Mobiltelefone zur Datenfernübertragung vom Schiff an Land wurden noch im Juli nach dem formalen Auslaufen des Projektes durch die Color-Line in enger Abstimmung mit den Projektpartnern BLUE BOX (GO Systemelektronik) realisiert.

Zu den wesentlichsten Aufgaben bei der Projektdurchführung gehörte die Auswahl und Qualifizierung der einzusetzenden Sensoren, da die mit einem Meßsystem für

Fährschiffe ermittelten Daten für ein erweitertes Küsten-Monitoring im Rahmen von GOOS bereitgestellt werden sollen.

Die Sensor-Qualifizierung wurde durchgeführt unter Nutzung der während der Projektlaufzeit verfügbaren Einrichtungen und Geräte am Institut für Angewandte Physik und in der damaligen Forschungsstelle Meerestechnik der CAU. Die Anforderungen an die Meßtechnik, insbesondere an die Sensoren für Temperatur und Leitfähigkeit, wurden im Projekt BLUE BOX zunächst aus den Spezifikationen der Technical Working Group EuroGOOS übernommen. Später wurden dann in direktem Austausch mit dem BSH (Arbeitsgruppe Prof. Kohnke) und dem IOW (Gruppe Messtechnik) die Anforderungen an die Temperatur und Leitfähigkeitsbestimmung überarbeitet. Resultat dieser Abstimmung war die Forderung von einer absoluten Genauigkeit der Temperaturbestimmung mit 0.03 °C und entsprechend die Genauigkeit in der Bestimmung des Salzgehaltes als besser 0.05 PSU. Diese während des Projektes definierten höheren Anforderungen hatten eine vollständige Überarbeitung und teilweise Neuentwicklung von Sensorelementen wie auch der zugehörigen elektrischen Signalerfassung zur Folge.

Durch Kalibrierungen der Temperatur- und Leitfähigkeitssensoren konnte der Nachweis erbracht werden, dass die geforderte Genauigkeit mit den entwickelten Systemen zu erreichen sind. Auch zeigten Versuche bei verschiedenen Betriebstemperaturen für das gesamte Meßsystem die Stabilität der Sensorsignale gegen äussere Einflüsse. Eine Alterung der Sensoren und die elektronische Signalerfassung wurden untersucht und theoretisch diskutiert (siehe auch Abschnitt xx. Temperatur-Messung)

2.2 Sensoren

Im Folgenden sollen die einzelnen Sensoren und ihr jeweiliger Entwicklungsstand zum Abschluß des Vorhabens etwas detaillierter angesprochen werden.

2.2.1 Temperatur

Die Entwicklung eines speziellen, auf die Anforderungen des Blue Box Meßsystems ausgerichteten Temperatursensors wurde erforderlich, weil bei Marktrecherchen zu kommerziell verfügbaren Temperatur-Meßfühlern folgende Diskrepanz zu beobachten war:

- Ist ein Temperatur-Messfühler von den mechanischen Abmessungen für die Blue Box-Durchlaufstrecke geeignet, dann liegt seine Auflösung zwischen 0,1°C

und $0,01^{\circ}\text{C}$ und seine Genauigkeit bei $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ bis $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, also entspricht damit nicht den weiter oben definierten Anforderungen.

- Sind Genauigkeit und Auflösung entsprechend der Aufgabenstellung ausreichend - Genauigkeit $\leq 0,03^{\circ}\text{C}$, Auflösung $\leq 0,01^{\circ}\text{C}$ - dann sind die Messfühlermaße in der Regel für den Einbau in der Durchlaufstrecke deutlich zu groß, gleichfalls die Abmessungen der Sensor-Elektronikeinheit viel zu groß - und der Preis mit $> 5.000,-$ DM pro Messeinheit zu hoch für ein kostengünstiges Meßsystem.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurde ein breites, industrielles Sensorangebot sondiert, sowohl in Richtung Ansprechverhalten, niedriger Preis (da der Sensor als Einweg-Sensor konzipiert werden sollte), kleiner geometrischer Abmessungen, als auch einfacher Montierbarkeit, um in dem geringen Meßvolumen der Blue Box - Durchlaufstrecke einen mechanisch sinnvollen Einbau zu ermöglichen, Da diese wichtigen Parameter per Katalogangebot nicht verfügbar waren, wurde in Eigenentwicklung ein Sensor konzipiert, der die Eigenschaften geringe Meßfühlerabmessungen, kleine Sensor-Elektronikeinheit und geringer Preis vereinigt und für $58,-$ DM (o. MWS) bei der Firma DELTA-Regeltechnik GmbH im Auftragsverfahren gefertigt wird.

2.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Ziel der Messung der elektrischen Leitfähigkeit (LF) war eine angestrebte Auflösung von 0.01 mS bei einer Messunsicherheit von 0.03 mS/cm (entsprechend 0.05 PSU im Salzgehalt), wobei wegen der angestrebten längeren Standzeit und Wartungsfreiheit von vornherein ein induktives Meßprinzip bevorzugt wurde.

Diese Anforderung konnte mit kommerziell verfügbaren LF-Sensoren wie Anderaa oder Yokogawa bei der Messung im Rohrsystem nicht erreicht werden. Ferner war aufgrund des erforderlichen Einbaus und Einsatzes in direkter metallischer Umgebung (Rohrleitungselemente aus Edelstahl) eine Verwendung dieser Sensoren nicht möglich. So wurde aufbauend auf eigenen Kenntnissen zur induktiven Leitfähigkeitsmessung am Institut für Angewandte Physik erfolgreich ein neuartiger, induktiver Leitfähigkeitssensor aus Kunststoffrohr für den Einsatz in metallischen Rohrsystemen entwickelt.

In ersten Versuchen zur Auflösung und Genauigkeit des Sensors war abzuschätzen, dass der Sensor geeignet ist, die definierten Genauigkeits- und Auflösungs-Anforderungen zu erfüllen. Das Sensorprinzip wurde noch während des Projektes zum Patent angemeldet. In einer weiteren Überarbeitung des Sensors konnten Auflösungen bis zu 0.005 mS/cm nachgewiesen werden.

2.2.3 Lichttransmission / Fluoreszenz

Die Bestimmung der Licht-Transmission und der Licht-Streuung innerhalb der Blue Box-Durchlaufmeßstrecke und damit die Ermittlung von suspendiertem Material im Meerwasser (Plankton, mineralische Schwebstoffe) erforderte eine Sensor-Eigenentwicklung innerhalb des Vorhabens, da es im kommerziellen Bereich keine geeignete Alternative für die Anwendung in kleinen Rohrsystemen gab. Hier waren folgende Aufgaben zu lösen:

- Elektronische Ausregelung der Systemfehler von Lichtempfänger und -sender (zeitliche Amplituden-Schwankungen, Einflüsse der Umgebungs- und Betriebstemperatur, Dunkelstromkorrektur).

- Automatische Ausregelung des Verschmutzungsgrades der Optikfenster, Filter und Linsen, behandelbar als dynamisches Driftmodell. Der Entwicklungsansatz beruht auf einem optischen Zweiwege-System. Im Rahmen des Projektes BLUE BOX wurde eine Diplomarbeit zu diesem Themenbereich durchgeführt ["Entwicklung und Untersuchung von lichtoptischen Kurzstrecken-Attenuationsmessgeräten", Warschau, R., Diplomarbeit Physik, CAU 2001], die die technische Machbarkeit theoretisch und experimentell belegt.

- Bewertung der Messungen nach internationalen Standards (Kalibriervorschrift). Das jetzige Meßsystem basiert auf der Vergleichsmethode (Maximale Transmission = 1.00 bzw. 100 %). Die beste Lösung wäre eine Kalibrierung auf den Attenuations-Koeffizienten mit der Einheit m^{-1} ; gelingt das wegen der kurzen Meßstrecke nicht, sind Vergleichsstandards heranzuziehen (z. B. Formazin-Standard u. ä.).

Ein erstes Versuchsmuster wurde im Rahmen des Vorhabens in Zusammenarbeit mit GO Systemelektronik bereits erstellt und steht für die notwendigen Untersuchungen und Qualifizierungen zur Verfügung.

Aufbauend auf den Erfahrungen und Entwicklungen zur Streuungsmessung wurde ferner an einer einfachen Sensorik zur sogenannten „Prompten Fluoreszenz“ unter Verwendung kommerziell verfügbarer Komponenten gearbeitet. Im Rahmen der Untersuchungen zur Algengruppenerkennung durch das FTZ Westküste kann so eine Qualifizierung der Signale und eine Auswertung von Fährschiffs-Profilen durchgeführt werden. Zwar kann auf diesem Weg kein direkter Sensor zur Online-Biomassenbestimmung realisiert werden, jedoch ist abzusehen, dass auch mit den auf diesem Weg erhaltenen "Summengrößen wertvolle Informationen erhalten werden können.

2.2.4 Gelöster Sauerstoff

Bei den Meßfühlern zur Bestimmung des im Meerwasser gelöst vorliegenden Sauerstoffs ist es durch umfangreiche Markt-Recherchen gelungen, zwei kommerzielle Sensorsysteme zu finden und einzusetzen [Danfoss u. OxyGuard], die einen robusten Aufbau haben, eine hohe Standzeit von 12 bis 30 Monate aufweisen und zu einem für ein Multi-Sensorsystem vertretbaren Einzelpreis (90,- bis 180,- DM) verfügbar sind.

Mit der dazugehörigen Primärelektronik verhält es sich ähnlich wie beim Temperatursensor: Die kommerzielle Auswerte-Elektronik vergrößert Volumen und Preis des Blue Box Systems beträchtlich, so dass auch hier eine Eigenentwicklung erforderlich war. Das erstellte Konzept ist hinsichtlich der galvanischen Trennung von Sensor und Verarbeitungseinheit neu (auf der Basis von Photovoltaik-Kopplern) und eventuell patentwürdig.

Ziel war eine Anzeigaauflösung von 1/10 mg/l , erreicht wurde eine Auflösung von 1/100 mg/l. Die absolute Genauigkeit konnte bisher lediglich bis auf 3/10 mg/l überprüft werden, da als Referenz nur ein Laborsystem entsprechender eingeschränkter Genauigkeit zur Verfügung stand. Eine erste Erfahrung zur Langzeitstabilität konnte durch den Einsatz der Sensoren auf der Kronprins Harald gesammelt werden. Hier ist es notwendig durch Probennahme und Titration die Langzeitentwicklung des Sensors genauer zu erfassen. Abzuschätzen ist zum jetzigen Zeitpunkt eine Langzeitstabilität von deutlich mehr als 3 Monaten beim Einsatz im durchströmten System.

2.3 Zusammenfassung

Das im Vorhaben entwickelte und realisierte Konzept einer hohen Systemflexibilität durch Modularität der verwendeten Komponenten hat sich in Form der bislang verwendeten Versuchsmuster voll bewährt. Die Auswahl bzw. Ausführung von Sensoren für die Grundparameter Temperatur, Leitfähigkeit, Optische Attenuation/Streuung, Fluoreszenz und Sauerstoffgehalt, mit hinreichend hoher Genauigkeit bei geringem Serviceaufwand und deutlich geringeren Kosten als derzeit auf dem Markt verfügbar, ist ein wesentliches Merkmal der vorliegenden, kostengünstigen Entwicklung für ein operationelles Monitoring im Rahmen von GOOS bzw. EuroGOOS.

Derartige Eigenschaften sind derzeit bei keinem anderen System zu finden, die allerdings auch mit vorwiegend wissenschaftlicher Zielsetzung eingesetzt werden. So wurde das Blue Box - System auch als Standard-System für Erprobungen im Rahmen europäischer Ferrybox Projekte von verschiedenen Partnerländern vorgesehen.

Die intensive und gut funktionierende Zusammenarbeit zwischen den beteiligten wissenschaftlichen Einrichtungen der Universität Kiel und dem Industriepartner GO Systemelektronik bei der Durchführung des Vorhabens führte dazu, daß bereits bei der Entwicklung, Fertigung und Erprobung der einzelnen Versuchsmuster erste Gesichtspunkte einer späteren industriellen Fertigung Berücksichtigung fanden. So wurden die ersten Muster für den Einsatz in Büsum auf dem Meßponton des FTZ im Büsumer Hafen, für die Erprobung im schleswig-holsteinischen Wattenmeer und in der Nordsee auf dem FK "Südfall" und schliesslich auch für den Linienbetrieb zwischen Kiel und Oslo auf dem Fährschiff "Kronprins Harald" ab März 2001 von GO gefertigt.

Auch die Installation und die Betreuung des BLUE BOX Systems auf der Kronprins Harald erfolgte zusammen und in Kooperation mit GO Systemelektronik. Ferner wurde durch den Industriepartner GO umfangreiche Software zur Datenaufzeichnung, Datenübertragung und Datendarstellung erstellt.

2.4 Messdaten von der KRONPRINS HARALD

Als Beispiel für die mit einem Blue Box System im Routinebetrieb erhaltenen Informationen werden nachfolgend ausgewählte Meßdaten von der KRONPRINS HARALD wiedergegeben, wie sie während des Versuchsbetriebs seit April 2001 auf der Strecke Kiel - Oslo erhalten wurden.

Zur Darstellung kommen Meßdaten aus jeweils einer Woche in dem Zeitraum April bis August 2001. Obwohl das Vorhaben per Ende Juni 2001 ausgelaufen ist und hinsichtlich der F&E-Aktivitäten beendet wurde, werden die Messungen an Bord der KRONPRINS HARALD unter der Betreuung des Industriepartners GO Systemelektronik ohne Unterbrechung weitergeführt.

Zunächst wurde in der an Bord installierten Blue Box lediglich die Wassertemperatur und die elektrische Leitfähigkeit gemessen und registriert (siehe Abbildungen 1 und 2 für die Monate April und Mai 2001).

Im Frühsommer wurde dann ein Fluoreszenz-Sensor in das Blue Box System integriert (siehe Abbildungen 3 und 4 für die Monate Juni und Juli 2001).

Als weiterer Sensor wurde dann gegen Ende des Vorhabens noch ein Sauerstoffsensord in den laufenden Bord-Versuchsbetrieb eingebracht (siehe Abbildung 5 für den Monat August 2001).

Bezüglich der Qualifizierung der gemessenen Daten, insbesondere bei den Parametern Temperatur und elektrische Leitfähigkeit, ist im Rahmen des abgeschlossenen Vorhabens und der dabei erhaltenen Versuchsdaten lediglich eine Plausibilitätsbetrachtung und ein Vergleich mit an sich bekannten Gegebenheiten möglich. Da die elektrische Leitfähigkeit als Meßgröße sehr stark auch von der Wassertemperatur abhängig ist, soll der aus Temperatur und Temperatur ermittelte Salzgehalt als Plausibilitäts-Information herangezogen werden.

Während die Meßdaten sowohl aus der Kieler Förde als auch aus dem Oslo Fjord und dem Hafen Oslo der Jahreszeit entsprechend gewisse Variationen zeigen, bleibt der Salzgehalt im Skagerrak während der gesamten Beobachtungszeit relativ konstant zwischen 34 und 36 PSU, was zwar absolut etwas zu hoch erscheint, in erster Näherung aber wegen der Konstanz als plausibel anzusehen ist und damit für eine brauchbare T- und LF-Sensorik spricht. Allerdings ist eine detaillierte Qualifizierung und verlässliche Kalibrierung der gesamten Sensorik erforderlich.

April 2001

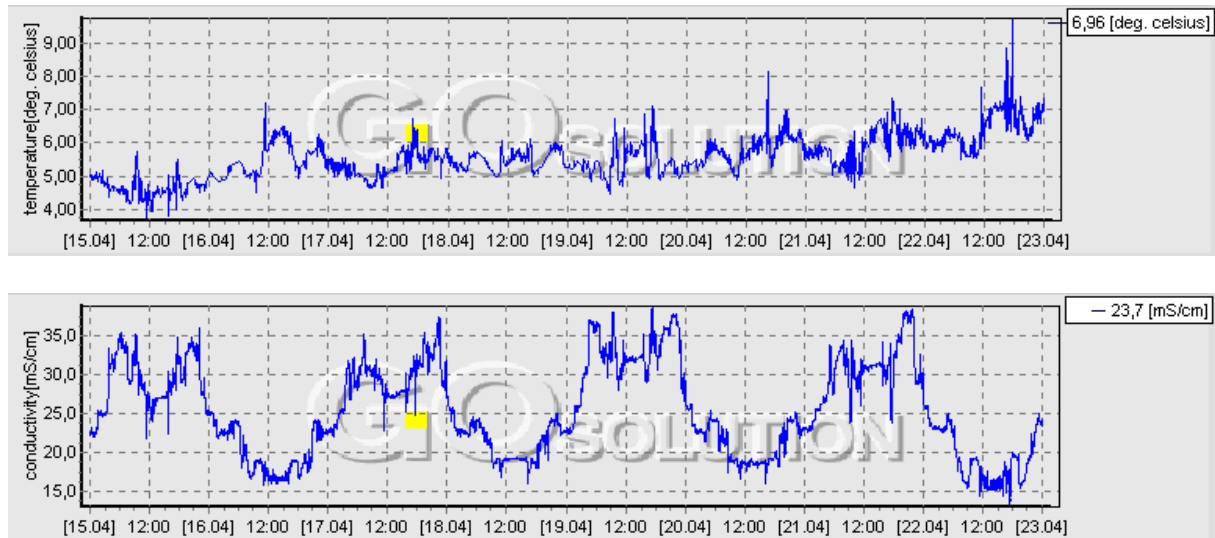


Abbildung 1: Meßdaten für Temperatur und elektrische Leitfähigkeit, gemessen mit dem entwickelten Meßsystem für Fährschiffe an Bord des Color Line Fährschiffes "Kronprins Harald" zwischen Kiel und Oslo. (Die X-Achse ist eine Zeitachse, die angegebenen Werte sind Tageszeiten, die Werte in eckigen Klammern sind Datums-Angaben).

Wie aus dem Temperaturverlauf (obere Darstellung) abzulesen ist, erfolgt in der Woche vom 15. bis 23. April (~ 16. KW) eine langsame Erwärmung des Oberflächenwassers von etwa 4,5 °C auf etwa 7 °C.

Die starken Variationen in der Leitfähigkeit (LF) sind durch die besonderen örtlichen Gegebenheiten auf der Strecke zwischen Kiel und Oslo bedingt. Die niedrigen LF-Werte im Kieler Hafen ergeben einen Salzgehalt von 15,1 PSU, im Hafen Oslo beträgt der Salzgehalt etwa 28,2 PSU, die Maximalwerte im Skagerrak entsprechen einem Salzgehalt von 35,5 PSU. Bemerkenswert ist der deutlich abgesenkte Salzgehalt (LF Minima) direkt vor dem Oslo Fjord, der auf den Ausstrom salzarmen Ostseewassers an der Nordseite des Skagerraks (gegen den Uhrzeigersinn) zurückzuführen ist. Diese Besonderheit findet sich auch auf allen nachfolgenden Abbildungen.

Mai 2001

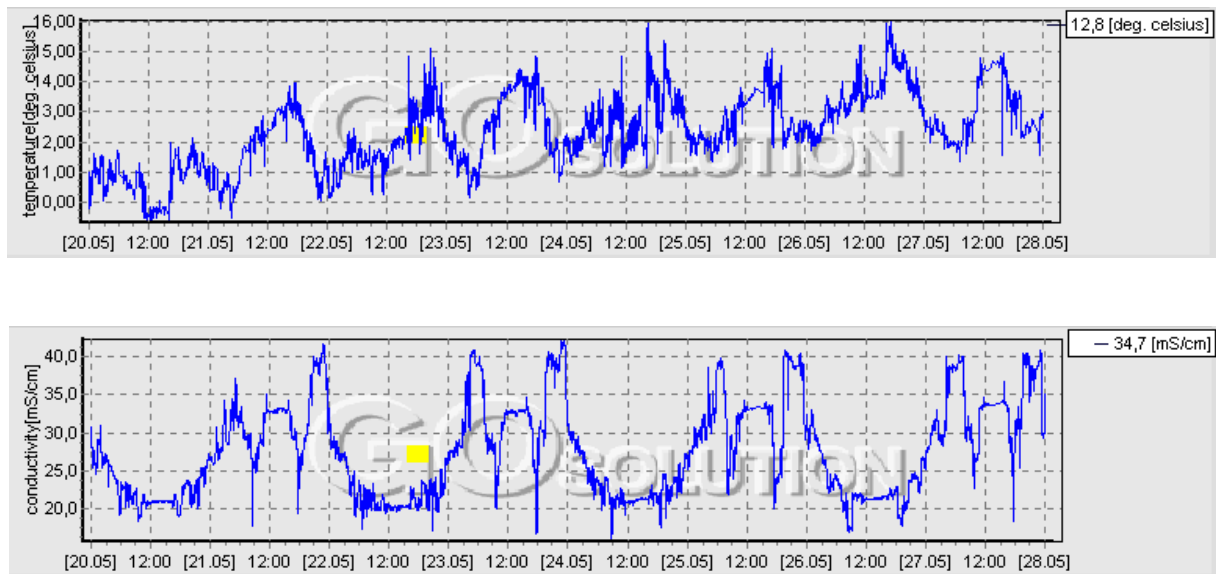


Abbildung 2: Meßdaten für Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, gemessen mit dem entwickelten Meßsystem für Fährschiffe an Bord des Color Line Fährschiffes "Kronprins Harald" zwischen Kiel und Oslo. (Die X-Achse ist eine Zeitachse, die angegebenen Werte sind Tageszeiten, die Werte in eckigen Klammern sind Datums-Angaben).

In der Woche vom 20.5 bis 28.5. (~ 21. KW) steigt die Temperatur (obere Kurve) von Werten unter 10 °C (Kieler Hafen am 20.5.) bis zu Werten über 14 °C (Hafen Oslo am 27.5.)

Die Leitfähigkeit im Kieler Hafen schwankt zwischen 20 und 21 mS/cm (Salzgehalt 16 - 17 PSU), in Oslo liegt der Salzgehalt zwischen 27 und 28 PSU, im Skagerrak (LF Spitzenwerte mit etwa 40 mS/cm) bei 35 PSU.

Juni 2001

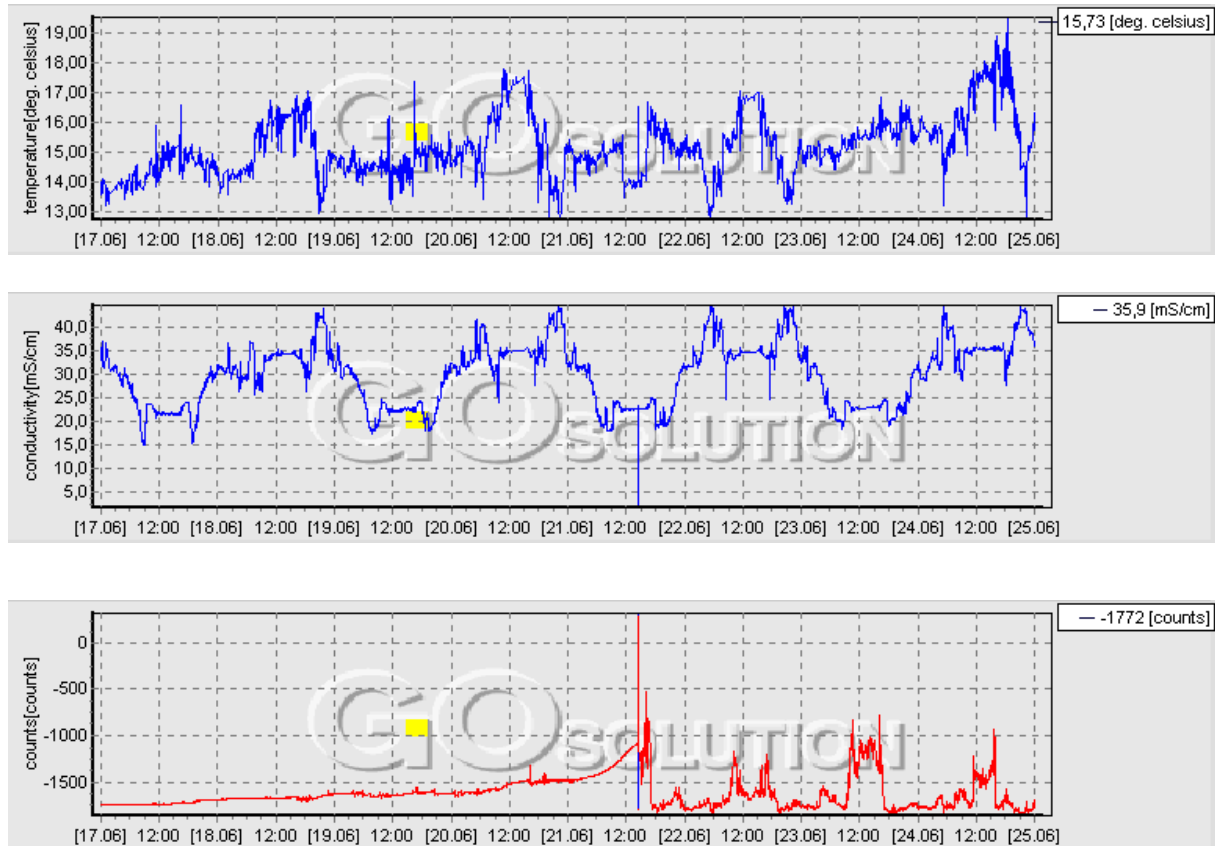


Abbildung 3: Meßdaten für Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und Fluoreszenz, gemessen mit dem entwickelten Meßsystem für Fährschiffe an Bord des Color Line Fährschiffes "Kronprins Harald" zwischen Kiel und Oslo. (Die X-Achse ist eine Zeitachse, die angegebenen Werte sind Tageszeiten, die Werte in eckigen Klammern sind Datums-Angaben).

In der Woche vom 17.6. bis zum 25.6. (~ 25. KW) schwanken die registrierten Temperaturwerte für die Meeresoberfläche zwischen 14 °C in Kiel und 18 °C in Oslo. Die Temperaturen im Skagerrak sind deutlich niedriger und liegen bei 13 - 14 °C.

Der Salzgehalt im Kieler Hafen liegt bei 16 PSU, in Oslo bei 27 PSU, im Skagerrak recht konstant wie in den Vormonaten bei 34,5 PSU.

Die Fluoreszenz arbeitete erst ab Mitte der Woche (ab 21.6. 14:00) nach einer Wartung des Sensors zufriedenstellend. Erhöhte Fluoreszenzwerte zeigen sich jeweils beim Annähern an die Häfen in Landnähe, wobei die Signale in der Kieler Förde (23.6. mittags) stärker sind als im Oslo Fjord (22.6. bzw. 24.6.).

Juli 2001

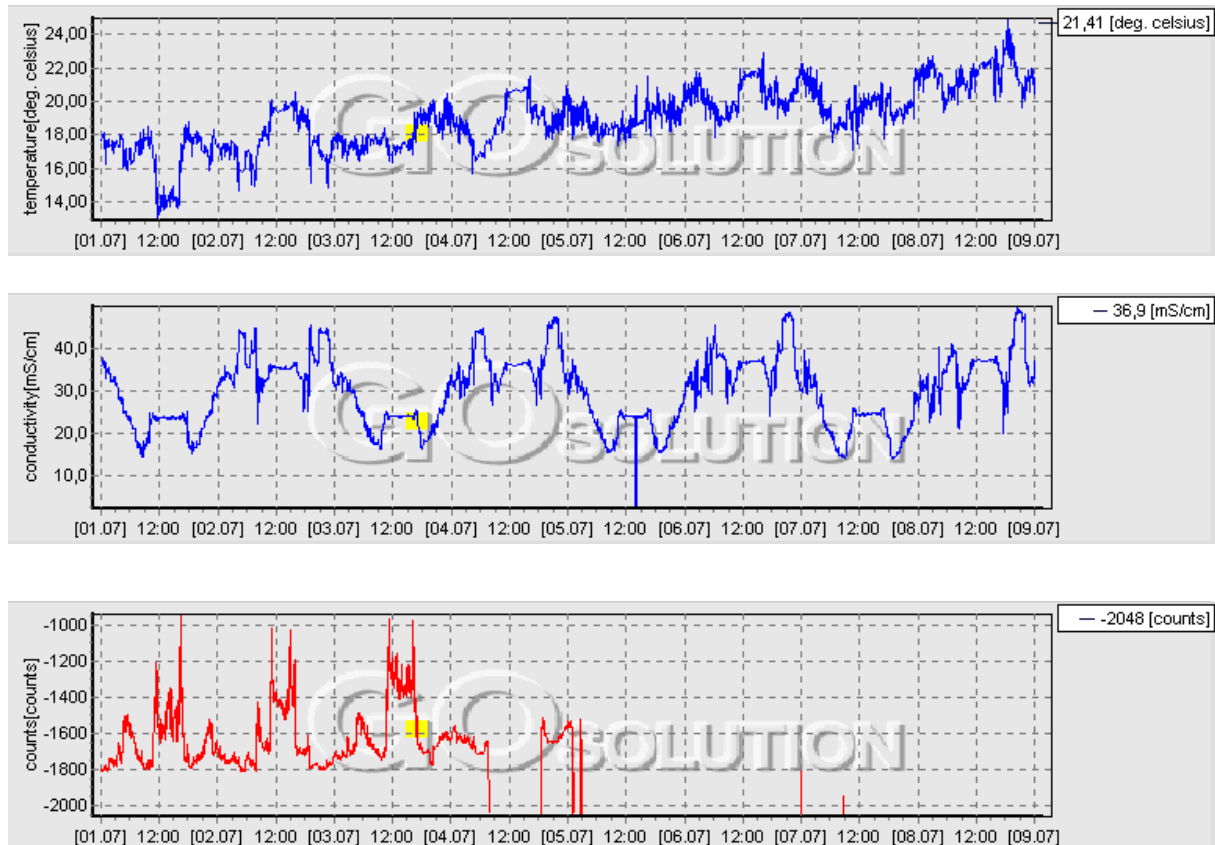


Abbildung 4: Meßdaten für Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und Fluoreszenz, gemessen mit dem entwickelten Meßsystem für Fährschiffe an Bord des Color Line Fährschiffes "Kronprins Harald" zwischen Kiel und Oslo. (Die X-Achse ist eine Zeitachse, die angegebenen Werte sind Tageszeiten, die Werte in eckigen Klammern sind Datums-Angaben).

In der Woche vom 1.7. bis 9.7. (~ 27. KW) steigt die Temperatur im Fahrtgebiet der Fähre von Werten zwischen 16 und 17 °C bis zu Werten um 22 °C. Auffallend ist der niedrige Wert von 14 °C im Kieler Hafen am 1.7.

Die Leitfähigkeits-Registrierung zeigt wieder das für die Strecke zwischen Kiel und Oslo typische Muster mit LF-Werten um 23 mS/cm (entsprechend etwa 17,4 PSU Salzgehalt) im Kieler Hafen, mit LF-Werten um 37 mS/cm im Hafen Oslo (entsprechend etwa 26 PSU Salz) und Spitzenwerten im Skagerrak zwischen 43 und 48 mS/cm (entsprechend etwa 35 PSU Salz).

Der Fluoreszenz-Sensor hat nur bis zum 4.7. mittags gearbeitet (Hafen Oslo), es sind sehr starke Fluoreszenz-Signale jeweils aus der Kieler Förde (1.7. und 3.7.) bzw. aus dem Oslo Fjord (2.7.) zu erkennen.

August 2001

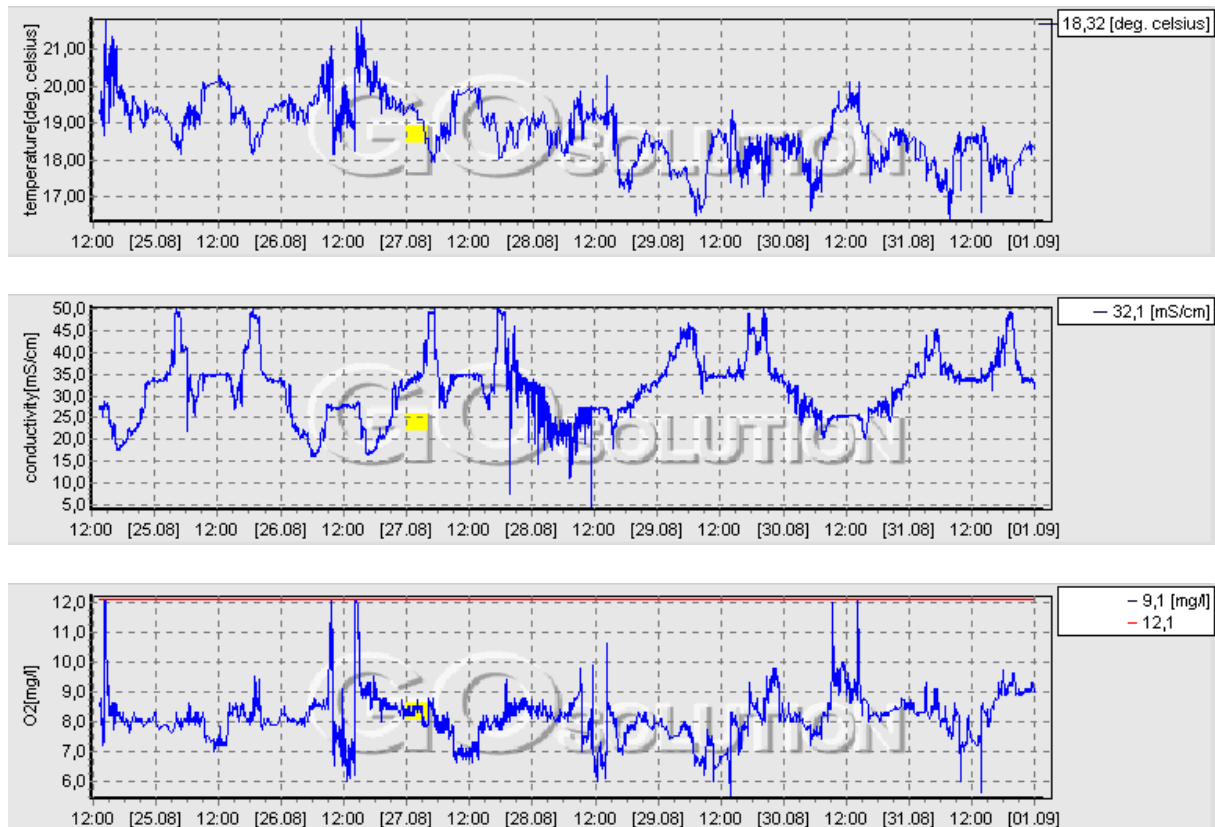


Abbildung 5: Meßdaten für Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und gelösten Sauerstoff, gemessen mit dem entwickelten Meßsystem für Fährschiffe an Bord des Color Line Fährschiffes "Kronprins Harald" zwischen Kiel und Oslo. (Die X-Achse ist eine Zeitachse, die angegebenen Werte sind Tageszeiten, die Werte in eckigen Klammern sind Datumsangaben).

In der Woche vom 25.8. bis 1.9. (~ 35. KW) zeigt die Temperatur-Registrierung der fortgeschrittenen Jahreszeit entsprechend leicht fallende Werte, von etwa 20 °C auf Werte zwischen 17 - 18 °C am Ende dieser Woche.

Die Leitfähigkeitswerte für Kiel und Oslo haben sich in der Registrierung angenähert, etwa 27 mS/cm in Kiel, 35 mS/cm in Oslo, die zugehörigen Salzgehaltswerte betragen 18,9 PSU (Kiel) und 25 PSU (Oslo). Die LF-Spitzenwerte im Skagerrak liegen bei 45 - 48 mS/cm, entsprechend einem Salzgehalt von etwa 34,5 - 35,5 PSU.

Die Werte für den gelösten Sauerstoff liegen entlang der Fahrtstrecke um 8 mg/l, die auftretenden Spitzenwerte im Kieler Hafen beruhen wahrscheinlich auf einer Übersättigung durch die vor dem Anlegen längere Zeit rückwärts arbeitenden Schiffsschrauben.