

Schlussbericht zum BMWi-Projekt „CoMoGear“
im Rahmen
des Forschungsprogramms „Maritime Technologien der nächsten
Generation“ des BMWi
mit dem Titel
„Condition Monitoring of Marine Gearboxes based on Wireless,
Energy-Autonomous Sensor Nodes“

Zuwendungsempfänger: REINTJES GmbH

Förderkennzeichen: 03SX417D

Verbundprojekt: CoMoGear - Condition Monitoring of Marine Gearboxes based on Wireless, Energy-Autonomous Sensor Nodes

Vorhaben: IntSenMa – Integration von drahtlosen, energieautarken Sensoren zur Überwachung von Maschinenelementen und Betriebszuständen in maritimen Getrieben

Projektleiter: Dr.-Ing. Thomas Kruse

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2016 bis 31.12.2019

Berichtszeitraum: 01.08.2016 bis 31.12.2019

Datum: 29.06.2020

Autoren: Dr.-Ing. Thomas Kruse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 03SX417D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	2
1 KURZE DARSTELLUNG	3
1.1 Aufgabenstellung	3
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	6
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	8
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
2 EINGEHENDE DARSTELLUNG	12
2.1 Verwendung der Zuwendung.....	12
2.1.1 Teilprojekt „IntSenMa“	12
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	18
2.2.1 Teilprojekt „IntSenMa“	18
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	18
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	19
2.4.1 Teilprojekt „IntSenMa“	19
2.5 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	19
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen.....	19
3 LITERATUR.....	21

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die mannlöse Schifffahrt bietet eine Reihe von Vorteilen. Neben der Reduzierung der Personalkosten bietet sich durch die in der Folge nicht mehr benötigten Kabinen die Möglichkeit, die Frachtmenge und somit den Warentransport zu steigern. In der Vergangenheit wurden bereits erste Schritte in Richtung der mannlösen Schifffahrt erzielt [DNVa, Bru14].

Im Zusammenhang mit der mannlösen Schifffahrt gewinnt die Zuverlässigkeit des Maschinenraums an Bedeutung [Rød14]. Der Ausfall von Komponenten während der Fahrt muss ausgeschlossen werden können. Konventionelle Wartungs- und Instandhaltungsbedarfe müssen mit Hilfe von intelligenten Ferndiagnosesystemen frühzeitig detektiert und geplant werden. Durch zustandsorientierte Instandhaltung (engl.: condition-based maintenance, CBM) kann eine Strategie verfolgt werden, die auf Basis von gesammelten Informationen Instandhaltungsmaßnahmen ableitet und terminiert [Jar06].

Das Schiffsgetriebe ist ein hochbelastetes Element zwischen Dieselmotor und Propelleranlage. Daraus resultieren besondere Anforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit. Neben dem beschriebenen zukünftigen mannlösen Betrieb stellt der bereits heute existierende Betriebsfall des Dynamic Positionings hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit. In diesem Betriebsfall soll das Schiff eine bestimmte Position auch bei hohem Wellengang über mehrere Tage halten. Gewährleistet wird dies durch eine automatische Regelung der Ruderanlage sowie des Thruster- und des Propellerschubs. Bei Anlagen mit dieselmotorisch betriebenen Festpropellern ohne E-Motorunterstützung kann die Schubänderung nur durch eine Veränderung der Propellerdrehzahl erreicht werden. Die Kupplungen müssen in diesem Fall zum einen sehr häufig umschalten zwischen „Voraus-“ und „Zurück-Stellung“ und zum anderen permanentem Schlupfbetrieb ohne Unterbrechung standhalten. Daraus resultiert eine hohe thermische Belastung für die Lamellenkupplung. Die permanente messtechnische Überwachung der Temperaturen in der Lamellenkupplung und des Verschleißes, würden zu signifikanten Verbesserungen des Dynamic Positionings und der Betriebssicherheit führen. Bisher nutzen nur ca. 2 % der klassifizierten Schiffe die Möglichkeiten des CBM im Umfeld des Schiffsantriebsstrangs, da die Investitionsvolumina als zu hoch angesehen werden [DNVb].

Ziel des Projekts „CoMoGear“ war die Entwicklung und prototypische Implementierung eines energieautarken, drahtlosen Sensornetzwerks zur Zustandsdiagnose von hoch-belasteten, rotierenden Bauteilen im Schiffsgetriebe.

Die Aufnahme von Messdaten hinsichtlich Drehmoment, Drehzahl, Temperatur und Verschleißzustand im Öl umspülten Getriebe soll durch miniaturisierte, autarke Sensorknoten ermöglicht werden. Neben der leichten Nachrüstbarkeit sind die geringeren Kosten ein

wesentlicher Vorteil. Diese sind bspw. im Wegfall von nachträglichen Wartungskosten durch die Energieautarkie der Sensorknoten begründet.

Im F&E-Versuchsfeld der REINTJES GmbH wurde zu Versuchszwecken ein Demonstrator des energieautarken Sensornetzwerks an einem Schiffsgetriebe aufgebaut. Der Demonstrator soll die Möglichkeit der Identifikation von kritischen Betriebszuständen und Verschleiß aufzeigen und in der Lage sein, das Drehmoment der Abtriebswelle, die Drehzahlen unmittelbar vor und nach der Lamellenkupplung, die Temperatur und den Verschleißzustand der Lamellenkupplung aufzunehmen.

Der Projektverbund bestand aus fünf Partnern, die die folgenden Aufgaben hatten:

a) Teilprojekt DrAnVer (IPH)

Im Teilprojekt DrAnVer arbeitete das IPH an der Entwicklung einer drahtlosen, energieautarken Analyse von Verschleißzuständen der Lamellenkupplung von Schiffsgetrieben. Hierfür erfolgte:

- die Identifikation eines geeigneten Messprinzips
- die Auswahl geeigneter Sensorik für die Verschleißmessung der Lamellen
- die Entwicklung, Auslegung, Realisierung und Miniaturisierung des Messsystems
- die Definition von Schnittstellen zum Energy Harvesting System

b) Teilprojekt DraSeMe (microsensys)

Im Teilprojekt DraSeMe arbeitete microsensys an der Entwicklung eines drahtlosen, energieautark arbeitenden Datenübertragungssystems zur Übermittlung von Messdaten verschiedener Sensoren. Hierfür erfolgte:

- die Konzeption, Entwicklung und Realisierung eines drahtlosen Datenübertragungssystems inkl. demonstrationsfähiger Daten-Visualisierung
- die Montage und der Aufbau von Funktionsmusters des Sensorknotens inkl. Empfangseinheit

c) Teilprojekt EnRoBa (Hahn-Schickard)

Im Teilprojekt EnRoBa arbeitete Hahn-Schickard an der Entwicklung einer dezentralen Energieversorgung für energieautarke Sensorsysteme auf rotierenden Bauteilen. Hierfür erfolgte:

- die Ausarbeitung von Konzepten einer getriebeinternen Energieversorgung (mit und ohne festen Bezugspunkt) auf Basis kinetischer Energy Harvesting Technologien
- der theoretische und experimentelle Nachweis über die Machbarkeit der Konzepte sowie Abschätzung der erzielbaren Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl
- Konzeption und Implementierung einer Powermanagement-Technologie die über den gesamten Drehzahlbereich geregelte Ausgangsspannungen und eine konstante Ausgangsleistung sicherstellt
- Sicherstellung der Integrierbarkeit der Energy Harvesting Lösung im Schiffsgetriebe

- Inbetriebnahme und Charakterisierung der Energy Harvesting Systeme sowie des Gesamtsystems am rotatorischen Messplatz bei Hahn-Schickard

d) Teilprojekt InSenMa (REINTJES)

Im Teilprojekt InSenMa arbeitete REINTJES an der Integration von drahtlosen, energieautarken Sensoren zur Überwachung von Maschinenelementen und Betriebszuständen in maritimen Getrieben. Hierfür erfolgte:

- die Auswahl und Bewertung der verschiedenen Messprinzipien
- die Erstellung von Konzepten zur Integration aller Einzelsysteme am/im Getriebe
- die Integration aller Einzelsysteme in ein Getriebe
- der experimentelle Nachweis der Funktionsfähigkeit aller Systeme

e) Teilprojekt PTMon (Bachmann)

Im Teilprojekt PTMon arbeitete Bachmann an der Entwicklung von Methodik und Sensorik zur Lastüberwachung der Drehmomentübertragenden Bauteile im Getriebe. Hierfür erfolgte:

- die Implementierung einer Drehzahlmessung vor und hinter der Lamellenkupplung in einem Schiffsgetriebe
- die Implementierung einer Drehmomentmessung außen an der Abtriebswelle des Getriebes

Die Implementierung von Drehzahl- und Drehmoment ermöglicht die Analyse und Charakterisierung der Betriebszustände (Kraftfluss unterbrochen und Kupplung geöffnet, Kraftfluss geschlossen und Kupplung geschlossen, Kraftfluss moduliert und kurzzeitiger oder permanenter Schlupfbetrieb) sowie die Erfassung und Analyse der akkumulierten Lasten / Lastereignisse (insb. Dynamic Positioning). Durch zusätzliche Informationen wie Temperatur und Abnutzungsgrad der Lammellenkupplung wird eine umfangreiche Zustandsdiagnose des Getriebes möglich.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde mit direkten Bezügen zu den förderpolitischen Zielen des Forschungsprogramms „Maritime Technologien der nächsten Generation“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Themenfeld „Schiffstechnik – Innovation für mehr Sicherheit und Zuverlässigkeit“ [BMWi11] durchgeführt. Das entwickelte CoMoGear-CMS leistet einen Beitrag zu folgenden Punkten des Forschungsprogramms:

- Sicherheit als Entwurfskriterium wird den gesamten schiffbaulichen Prozess künftig umfassender prägen als bisher. Ziel des Forschungsprogramms ist eine Verbesserung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Schiffe auf See um den Faktor 10 bis zum Jahr 2025.

- Die Ausfallsicherheit wesentlicher Komponenten eines Schiffes ist ein weiteres Feld, in dem FuE-Bedarf gesehen wird. Für einen „Safe Return to Port“ müssen Schiffe so konstruiert werden, dass sie nach bestimmten Schadensfällen schwimmfähig bleiben und nach Unfällen möglichst wenige Schadstoffe austreten sowie möglichst keine Personen zu Schaden kommen.

Bereits im vorhergehenden Programm „Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert“ [BMW09] wurden Themenfelder adressiert, die im Bezug zum durchgeführten Vorhaben stehen:

- Erhöhung der Zuverlässigkeit des Schiffsbetriebs – Ziel ist die Entwicklung innovativer technischer Lösungen, die die Verfügbarkeit der Systeme erhöhen und den erheblichen Aufwand vorbeugender Wartung und Instandhaltung senken sollen. Darüber hinaus sind [...] Methoden für satellitengestütztes Condition Monitoring und satellitengestützte Ferndiagnosen zu entwickeln [BMBF00].
- Standardisierung und Modularisierung von Bauteilen und Baugruppen – Die Förderung von Forschung und Entwicklung zur Standardisierung und Modularisierung von Bauteilen und Baugruppen soll hier Rationalisierungsmöglichkeiten eröffnen und sowohl zur Verminderung der Zahl der Arbeitsschritte als auch der Zahl der Bauteile beitragen [BMBF00].

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Gesamtvorhaben war für eine Laufzeit von 24 Monaten ausgelegt, wurde jedoch kostenneutral um 19 Monate verlängert. Während dieser Laufzeit konnte ein funktionsfähiges Condition Monitoring System (CMS) an einem ausgewählten Beispielgetriebe in Betrieb genommen werden. Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete untergliedert. Abbildung 1 zeigt den ursprünglichen Projektplan des Vorhabens.

Nach der Analyse der Anforderungen und Umgebungsbedingungen im Schiffsgetriebe (AP1) wurde die Konzeption des CMS durchgeführt (AP2), wobei die Teilaspekte Sensortechnologie (Drehmoment, Drehzahl, Verschleiß und Temperatur), Signalverarbeitung, Energieversorgung und drahtlose Datenübertragung adressiert wurden. Anschließend erfolgte die Umsetzung der Konzepte (AP3) in Form von Sensorknoten, deren Messaufgabe gemäß den zuvor gestellten Anforderungen ausgelegt war. Das Zusammenspiel der einzelnen Sensorknoten wurde an einem Schiffsgetriebepfstand des Partners REINTJES überprüft und validiert (AP4). Parallel erfolgten die Koordination des Projekts und die Dokumentation der (Zwischen-)Ergebnisse (AP5).

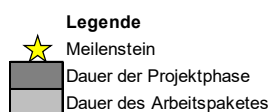
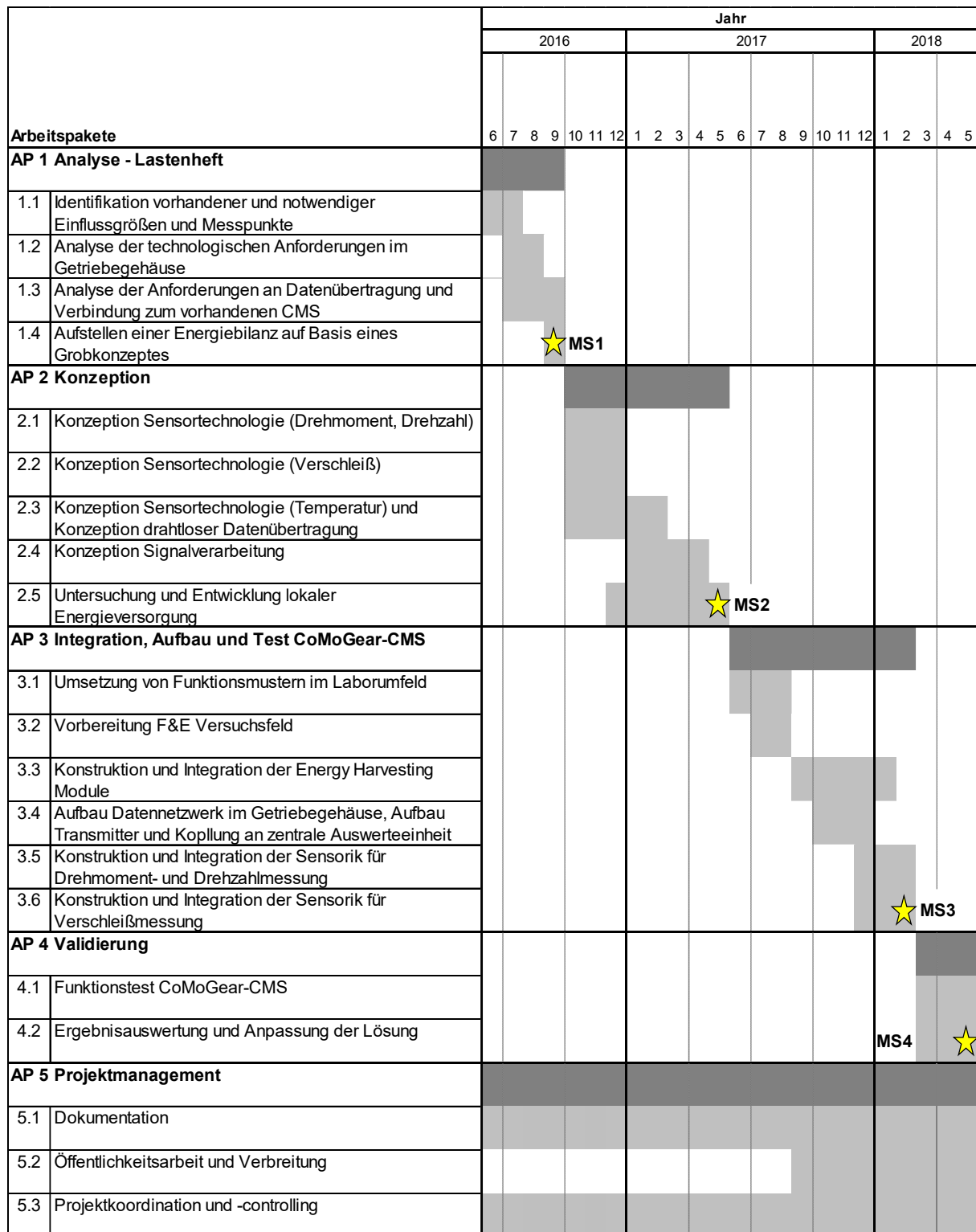


Abbildung 1: Projektzeitplan

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Folgenden wird der Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der für das Projekt wichtigen Themenfelder Condition Monitoring im maritimen Umfeld, Sensortechnologie, kabellose Datenübertragung und autonome Energieversorgung dargestellt.

Condition Monitoring im maritimen Umfeld

Im maritimen Umfeld wurde von LIU ET AL. [Liu00] ein CMS für den Dieselmotor des Schiffes entwickelt, das in einem integrierten Bypass der Ölrückleitung des Kurbelgehäuses integriert wird. Zustandsrelevante Informationen werden durch die Detektion von Partikeln im Öl, die Analyse der Schmiermittelqualität sowie die Messung von Drehmoment und Drehzahl gewonnen. Die Detektion von ferromagnetischen Partikeln lässt auf Verschleiß an den Zylindern und Kolbenringen schließen. Leckagen bei der Wasser- oder Brennstoffzufuhr können durch Analyse von Verunreinigungen im Schmiermittel identifiziert werden. Drehzahl und Drehmoment der Antriebswelle dienen ebenfalls der Beurteilung des Verschleißzustands.

Auch KOUREMENOS und HOUNTALAS [Kou97] entwickelten eine Methode zur Zustandsdiagnose des Dieselmotors im Schiff. Drucksensoren am Zylinder und Kraftstoffeinspritzsystem übertragen kabelgebunden ihre Messdaten auf eine Auswerteeinheit, die in Verbindung mit einem speziell für mittel- und schnelllaufende Schiffsmotoren angepassten Bewertungsalgorithmus Aussagen bezüglich des Motorenzustands ermöglicht.

LI ET AL. [LiZ11] entwickelten ein Diagnosesystem für den Schiffsantrieb durch die Applikation von piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern an die Gehäuseoberfläche eines Getriebes. In Verbindung mit einer Bispektralanalyse und künstlichen neuronalen Netzen konnten Zahnfehler im Getriebe detektiert, einzelnen Komponenten zugeordnet und klassifiziert werden.

YANG ET AL. [Yan13] entwickelten ein CMS für Asynchronmotoren im Schiffsbereich und in Windenergieanlagen. Die Analyse stützt sich auf elektrische Störsignale, mit denen Schäden sowohl am Asynchronmotor als auch Unwuchten an der Antriebswelle identifiziert werden können.

Sensortechnologien

In der Praxis erfolgt die Beurteilung von Getrieben zumeist durch die Analyse von Körperschallsignalen. Die frequenzselektive Überwachung der Wellen, Verzahnungen und Lager ermöglicht die Beschreibung der Schadenszustände der einzelnen Bauteile. Während diese Vorgehensweise zur Vermeidung von Havarien oft ausreichend ist, ermöglicht erst die Kenntnis der tatsächlichen Belastungen eine zuverlässige Aussage über den aktuellen Zustand und die Restlebensdauer von Getriebebauteilen [Mac03].

Sensorik zur Erfassung von Schwingungen besteht im Regelfall aus piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern, welche zusammen mit einer Signalaufbereitung (z. B. Filterung,

Abtastraten etc.) auf unterschiedliche zu überwachende Frequenzbereiche abgestimmt sind [Sil05]. Typische Einsatzgebiete sind Schwingungsmessungen und die Überwachung von industriellen Anlagen zur Detektion von Unwuchten, Fehlausrichtung von Antriebswellen, Wälzlager- und Getriebezuständen sowie die Gesamtschwingung von Ventilatoren, Motoren oder Kupplungen. Die Stromversorgung der Sensoren liegt je nach Bauweise zwischen zwei und zehn mA und benötigt zumeist Konstantstrom.

Die Messung von Drehmomenten an rotierenden Bauteilen stellt eine weitere Möglichkeit zur Zustandsdiagnose dar. Konstruktiv in den Antriebsstrang integrierte Sensoren in Form von Messflanschen oder Messwellen basieren meistens auf Dehnungsmessstreifen oder einer Verdrehwinkelerfassung. Nachteilig dabei ist die notwendige Integration eines torsionsweichen Messwellenabschnitts, da die Wellen im Schiffsgetriebe äußerst biegesteif ausgelegt sind. Des Weiteren erfordert die Integration eines zusätzlichen Bauteils den notwendigen Bauraum, der im Getriebe oftmals nicht gegeben ist. Telemetriegestützte Drehmomentsensoren benötigen im Allgemeinen keine Modifikation des Antriebsstrangs und werden auf vorhandene Wellenabschnitte appliziert. Eine für den Fall der Nachrüstung favorisierte Lösung stellt die Verwendung von Drehmomentsensoren dar, die auf Basis von Magnetfeldänderung der überwachten Welle in Folge eines auftretenden Drehmoments funktionieren.

Die Zustandsdiagnose von rotierenden Bauteilen wird von Industrie und Forschung vorangetrieben. HUEBLER ET AL. [Hue10] nutzen in einer Stahllamelle applizierte Dehnungsmessstreifen (DMS) zur Messung von Drehmoment und Winkelversatz in einer Kupplung. Mit diesem System kann einerseits der Wellenversatz von zwei Sensorlamellen zueinander, andererseits der Bruch einer Lamelle sicher identifiziert werden kann. Sowohl für die Übertragung der Messdaten als auch für die Energieversorgung der passiv arbeitenden Sensorlamellen wurde die Funktechnologie RFID eingesetzt. Über eine Distanz von Millimetern bis wenigen Zentimetern konnte durch induktive Kopplung auf einem Prüfaufbau die Funktionalität erzielt werden.

Auch die Firma Chr. Mayr GmbH & Co. KG [May13] vertreibt eine drehmomentmessende Kupplung. Mit Hilfe von dehnungsveränderlichen Messstreifen wird das Drehmoment bestimmt. Die Übertragung von offsetkorrigierten und verstärkten Messdaten erfolgt über eine Funktechnologie an eine zentrale Auswerteeinheit. Der Drehmomentmessbereich ist momentan zwischen 190 und 1.600 Nm limitiert und damit unzureichend für im Schiffsgetriebe auftretenden Antriebsmomente von 7.000 Nm und mehr. Die Energieversorgung benötigt 24 V DC Eingangsspannung bei einer maximalen Stromaufnahme von 1 A. Dieser Energiebedarf fällt nicht mehr unter Low-Power-Lösungen und ist für den Betrieb mit Energy Harvesting Systemen deutlich zu hoch. Eine spezifische Anpassung einer mit Dehnungsmessstreifen ausgestatteten Lamelle ist für verschiedene Einsatzszenarien erforderlich.

Kabellose Datenübertragung

Für die funkgestützte Identifikation der Sensoren und der Datenkommunikation ihrer Messwerte eignet sich die RFID Technologie [Fin06]. Reichweiten über mehrere Meter auch im metallischen Umfeld im UHF-Bereich (z.B. 868 MHz) sind in industriellen Anwendungen bereits mit passiven Transpondern erfolgreich implementiert worden. Die batterielose und damit wartungsarme Technologie wird durch eine besonders energieeffiziente Datenübertragung ermöglicht.

Im maritimen Umfeld sind bereits einige Forschungsarbeiten zur Integration von drahtloser Kommunikationstechnik durchgeführt worden. PAIK ET AL. [Pai09] statteten ein gesamtes Schiff mit drahtlosen Sensorknoten aus, die ihre Daten mit der Funktechnologie zigBee übertragen. Sensoren für Temperaturen, Luftfeuchtigkeit und elektrische Kenngrößen wurden im Maschinenraum integriert. Der Fokus der Arbeit lag auf der Bestätigung der Einsatzmöglichkeit von Funktechnologie in der metallischen Schiffsumgebung. PILASK ET AL. [Pil09] verfolgten ein ähnliches Ziel. Mit der IEEE 802.15.4 Funktechnologie konnten Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Umgebungsdruck im Maschinenraum mit Hilfe von zwei aktiven Sensorknoten, vier Knoten zur Datenweiterleitung und einer Empfangseinheit aufgezeichnet werden.

Nachteilig bei diesen Lösungen sind hohe Instandhaltungskosten für den regelmäßigen Austausch der Batterien, die als Energieversorgung für die Sensorknoten genutzt wurden und deren Zustand es zusätzlich zu überwachen gilt [Glo99].

Autonome Energieversorgung

Die Projektpartner konnten bereits im Vorgängerprojekt aufzeigen, dass sich die zur Verfügung stehende Energie am Schiffsgetriebe in Form von Vibrationen und Temperaturdifferenzen für die Versorgung von Sensorknoten eignet [Hof14, Hof16, Sch15].

Forschungen zu den Bereichen Energiewandler [Bog09, Gil08], Energiespeicherung [Zhu09], Energiemanagement [LiS14, Her12] werden heute oft noch isoliert und ohne direkten Bezug auf mögliche industrielle Anwendungen durchgeführt. Nach aktuellem Stand der Technik werden derzeit verschiedene Ansätze zum Energy Harvesting verfolgt. Diese können zum einen nach mechanischen und zum anderen nach thermischen Energiequellen unterschieden werden [Spr08a, Spr08b, Fol07]. Mechanische Energiequellen werden beispielsweise durch vibrierende Maschinen oder bewegte Maschinenteile verkörpert. Durch Erzeugung einer Relativbewegung zwischen einem Magnetfeld und einer Spule kann ein Teil der mechanischen Energie in elektrische Energie umgewandelt werden. Obwohl das Prinzip bereits lange bekannt ist, ist dessen Anwendung bis heute nur auf wenige feinwerktechnische Ansätze, u. a. in der Uhrenindustrie, beschränkt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projekts bestand eine intensive Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Projektpartnern:

- IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH
- microsensys GmbH
- Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.
- REINTJES GmbH
- Bachmann Monitoring GmbH

In vier Konsortialtreffen, vier gemeinsamen Arbeitstreffen, zahlreichen Telefonkonferenzen und weiteren bilateralen Treffen wurde ein wesentlicher Bestandteil der Projektergebnisse erarbeitet.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

2.1.1 Teilprojekt „IntSenMa“

2.1.1.1 Aufgaben und Ziele

Für die Erreichung der genannten Projektziele waren mehrere Arbeitspakete notwendig, die durchgängig in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern bearbeitet worden sind. Im Rahmen des Projektes war REINTJES für folgende Arbeitspakete verantwortlich:

- Identifikation der Einflussgrößen und der Messpunkte sowie der Analyse der technischen Anforderungen, die aus der maritimen Umgebung und dem Getriebe selbst abgeleitet wurden
- Konzeptentwicklung für eine Drehzahl- und Drehmomenterfassung, sowie der Integration in das Antriebssystem
- Vorbereitung und Durchführung der Validierung
- Das IPH wurde bei der Projektkoordinierung unterstützt

Die Definition der Messpunkte wurden für folgende Messgrößen durchgeführt: Erfassung der Drehzahlen, der Temperatur, des Kupplungszustandes und des Drehmomentes. Für die Erfassung der Drehzahlen liegt eine Messstelle an der Antriebswelle und die zweite am Abtriebsrad, somit kann bei schlupfender Kupplung z.B. beim Betriebsmodus Dynamic Positioning der Schlupf bestimmt werden. Gerade in diesem Betriebsmodus werden der Schmierstoff und die Kupplungslamellen thermisch hoch beansprucht, so dass die Schmierstofftemperatur nah an den Lamellen im Kupplungsgehäuse und der Zustand der Kupplungslamellen über eine Wegmessung des Hydraulikkolbens erfasst werden.

Die Drehmomentsensorik ist an der Abtriebswelle vorgesehen und erfolgt über ein berührungsloses Messsystem. Für alle diese Messstellen gibt es technologische Anforderungen, die aus den Randbedingungen hinsichtlich Bauraum, Temperaturbereichen, maximale Umfangsgeschwindigkeiten usw. abgeleitet und im Lastenheft festgehalten worden sind.

Für die Validierung wurden ein Mittelgetriebe und einzelne Komponenten für die Integration der Sensoren, der Sensorknoten sowie der Zentraleinheit konstruktiv geändert und gefertigt. Die gesamte Validierung fand im Versuchsfeld der REINTJES GmbH zum Projektende statt. Die Funktionsweise des Systems und die Eignung der Teilkomponenten wie der Energy Harvester, der einzelnen Sensoren, des Funknetzes zur Datenübertragung per Bluetooth und der Zentraleinheit zur Datenaufzeichnung und Steuerung konnte erfolgreich demonstrativ gezeigt werden.

2.1.1.2 Aufbau und Integration des Sensornetzwerkes

Die konstruktiven Arbeiten, die für den Einbau der Sensorknoten notwendig waren, wurden im engen Austausch mit den Partnern durchgeführt, um die vielfältigen Anforderungen und Randbedingungen erfüllen bzw. berücksichtigen zu können. Die wesentlichen technischen Randbedingungen sind die sehr begrenzten Bauräume sowohl im Gehäuse als auch in der Lamellenkupplung. Des Weiteren sind die hohe Temperatur im Getriebe, die Umfangsgeschwindigkeiten und Ölbeständigkeit als weitere wichtige Randbedingungen zu nennen. Dies musste bei der Sensorknotenentwicklung und bei der Integration in die einzelnen Getriebekomponenten berücksichtigt werden. In der folgenden Abbildung 2 sind der Einbau des Wegsensors und des Temperatursensors mit dem gemeinsamen Sensorknoten an der Kupplung (EHS 4 und 5) abgebildet. Zu beachten sind der geringe zur Verfügung stehende Bauraum und die bauteilnahe Kabelführung.

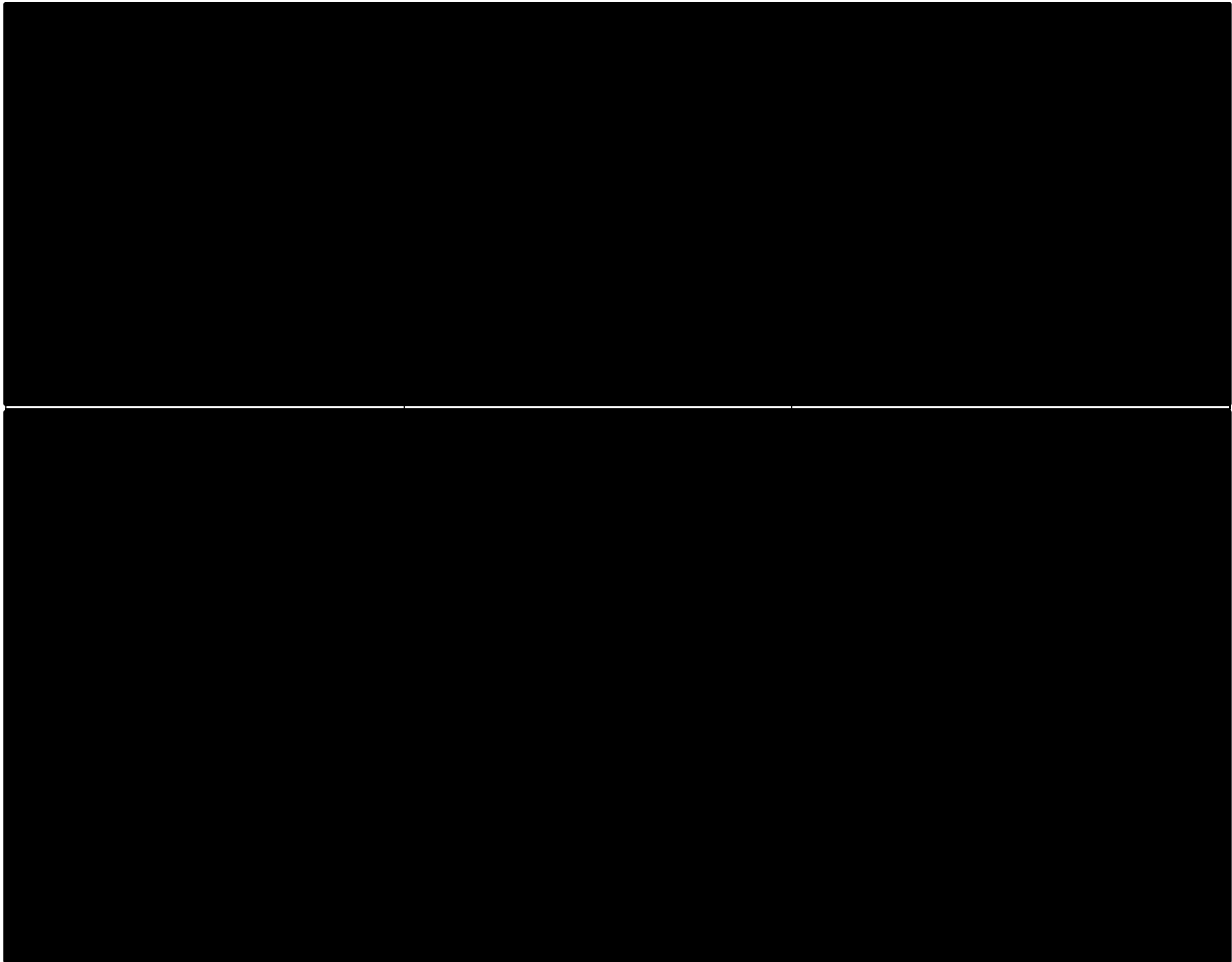


Abbildung 2: konstruktive Integration vom Verschleiß und Temperatursensor

In dem folgenden Kapitel ist die Integration der Sensorknoten, der Sensoren und der Zentraleinheit in das Getriebe dargestellt. In Abbildung 3 ist der Kupplungssensor im linken Bild und der zugehörige Sensorknoten EHS 4 auf dem Kupplungsträger zu sehen. Unter dem EHS

4 ist auch der Temperatursensor eingebaut. Die Positionen der Sensorknoten EHS 2, 3 und 4 mit den zugehörigen Magneten sind in der Abbildung 4 dargestellt. Für die Energieversorgung des EHS 3 ist der Magnetring neben der Verzahnung montiert. Die Gehäuse vom EHS 2 und 3 sind mittels einstellbaren Haltern mit der Gehäusewand des Getriebes verbunden.

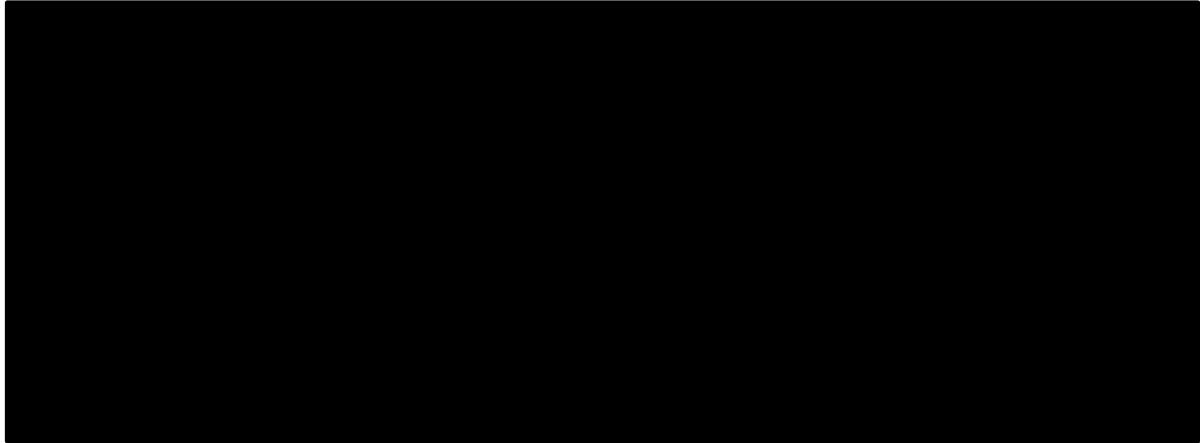


Abbildung 3: Einbau Kupplungssensor (links) und Sensorknoten 4 (rechts)

Im Bereich des Überlapp mit der Verzahnung befinden sich im Inneren des Gehäuses die Drehzahlsensoren. Das aus dem Gehäuse herausgeführte Kabel ist zur Energieversorgung mit der Zentraleinheit verbunden. Auf dem rechten Bild ist das EHS 2 am Großrad zu sehen. Die Magnetsegmente sind am Rad montiert. Das Gehäuse ist mit dem Getriebegehäuse verbunden und hat sowohl einen Überlapp zu den Magneten, als auch zu der Verzahnung.

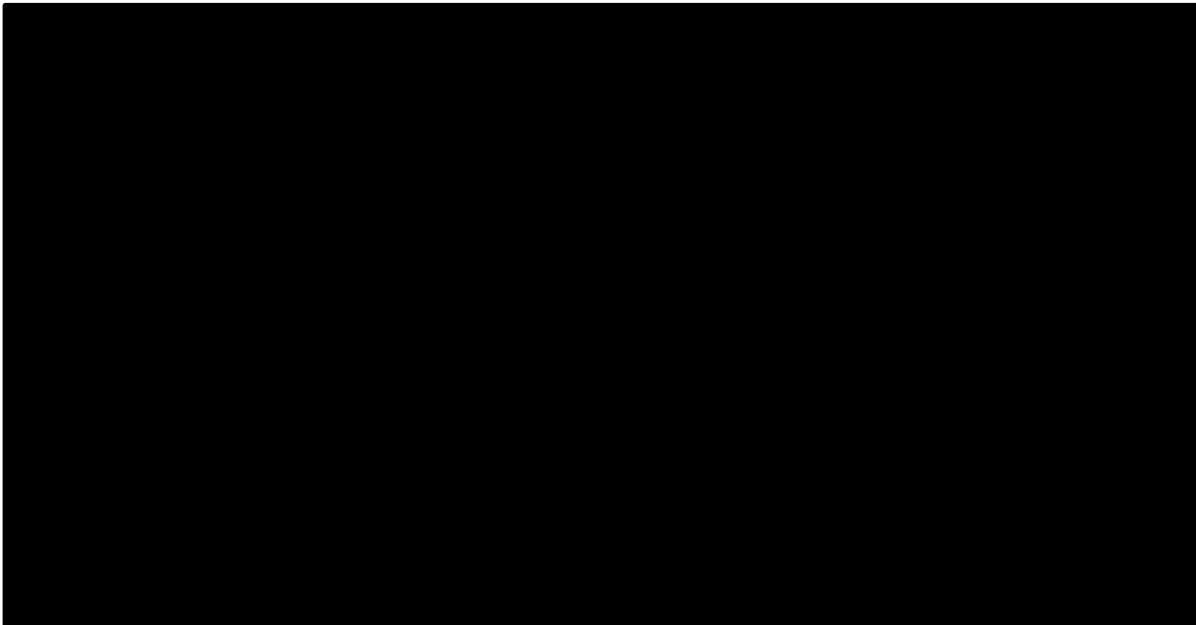


Abbildung 4: Im Getriebe an der Kupplung montierte Systeme EHS 3 und 4 (links) und am Großrad montiert EHS 2 (rechts)

Sobald das Getriebe vollständig montiert ist, ist von dem CoMoGear CMS nur die Zentraleinheit von außen zu sehen (Abbildung 5). Zur Überprüfung der eingesetzten Sensoren und des gesamten CMS wurden weitere eigene Sensoren zur Erfassung der Temperatur, der Drehzahlen und des Drehmomentes in dem Versuchsaufbau integriert.

Für die Messung des Drehmomentes gibt es verschiedene Möglichkeiten. Aber aufgrund der Randbedingungen wie hohe Langlebigkeit und Zuverlässigkeit, geringer zur Verfügung stehender Bauraum und der notwendigen leichten Anpassung an verschiedene Wellendurchmesser, fallen viele Messsysteme schon bei der Bewertung heraus. Die Bewertung und die Auswahl fand in enger Abstimmung mit der Firma Bachmann statt und ist im Teilprojekt PTMon ausführlich beschrieben. Zusammen mit der Fa. Bachmann Monitoring GmbH wurde für das Projekt ein berührungsloses Drehmomentenmessprinzip ausgewählt und im Antriebsstrang getestet.

Die folgende Abbildung 6 zeigt den Aufbau des Antriebsstranges und die Anordnung mit dem berührungslosen Sensor. Zwischen der Abtriebswelle und der Abtriebsmaschine ist eine Hohlwelle eingebaut, an der der Sensor senkrecht zur Welle ausgerichtet worden ist. Für die Erfassung eines Drehmomentes mit diesem Sensorprinzip muss bei Belastung ein gewisses Spannungsniveau an der Oberfläche vorliegen. Dies wird aufgrund der Getriebegröße, des gewählten Wellendurchmessers und mit dem Prüfstand über eine Hohlwelle realisiert. Die Abmessungen und die Beschaffenheit dieser Hohlwelle wurden mit dem Anbieter zusammen spezifiziert und konstruktiv umgesetzt.



Abbildung 5: CoMoGear CMS im Versuchsgetriebe eingebaut



Abbildung 6: Hohlwelle mit Drehmomentensensor

2.1.1.3 Versuchsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Validierung gezeigt und beschrieben. Es wurden nach der Montage des CMS ins Getriebe und Integration in den Prüfstand Funktionsprüfungen und Kurzversuche durchgeführt. Da die Datenübertragung von jedem Sensorknoten über Bluetooth erfolgt, kann der Status jedes Sensorknotens problemlos mit der zugehörigen APP-Anwendung angezeigt werden. Dieses war gerade beim Einfahren und der Parametrierung des Systems von großer Bedeutung.

Die Qualität der Temperaturerfassung in der Kupplung ist in Abbildung 7 dargestellt. Das obere Bild zeigt den Temperaturverlauf des Öles. Die rote Kurve ist die Temperatur des abspritzenden Öles aus der Kupplung. Diese Messstelle befindet sich in axialer Richtung auf gleicher Höhe mit dem in der Kupplung integrierten Sensor. Der zeitliche Verlauf dieses Sensors ist in dem unteren Diagramm abgebildet. Es ist sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Sicht eine sehr gute Übereinstimmung erkennbar, so dass auch bei einer niedrigen Abtastrate und mit Intervallen der reale Temperaturverlauf mit einem energiearmen, drahtlosen System sehr gut erfasst werden kann.

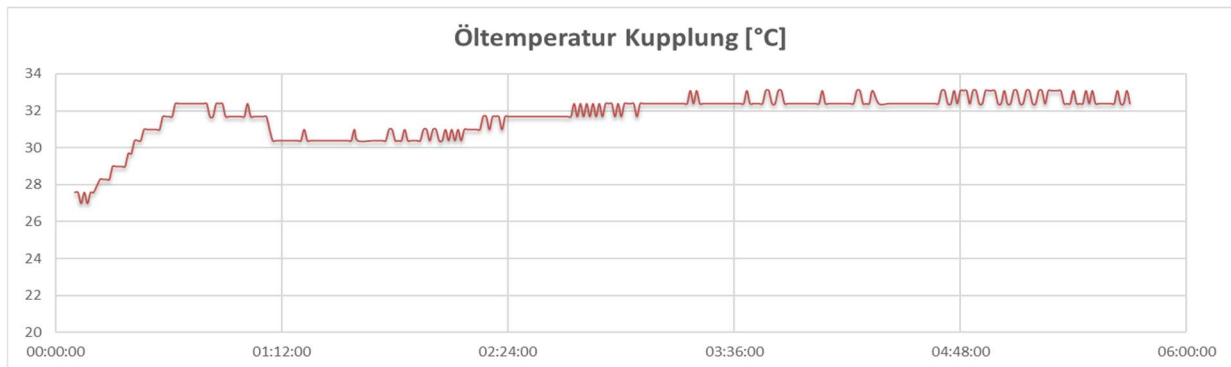
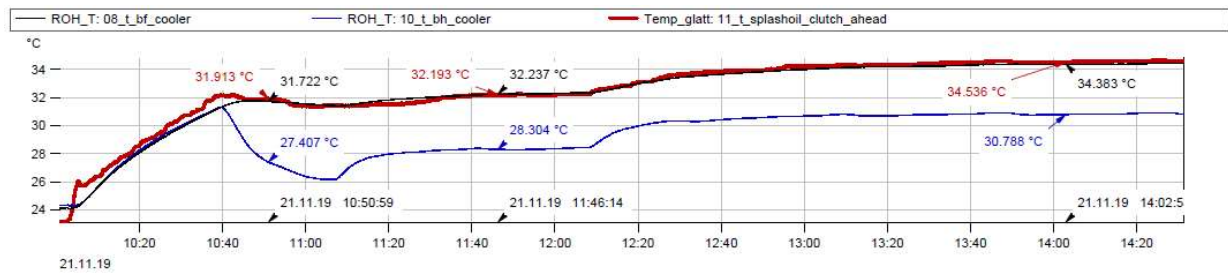
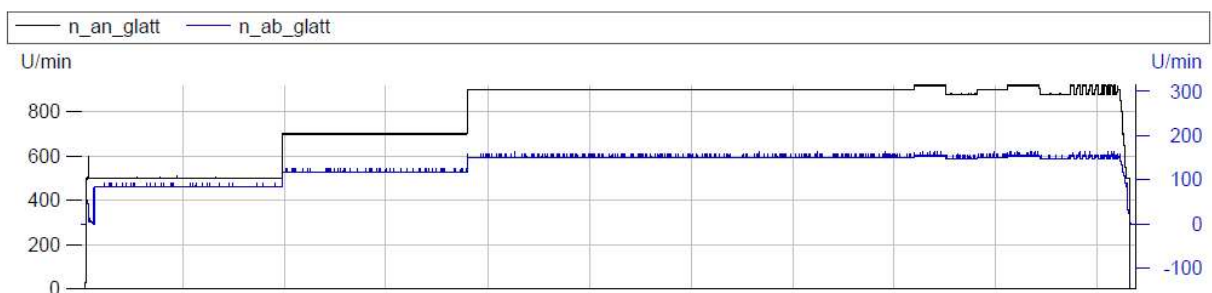


Abbildung 7: Vergleich Temperaturmessung

Die folgenden Abbildungen zeigen den Vergleich der Drehzahlerfassung zwischen dem SK 2 (Abtriebsdrehzahl) und SK 3 (Antriebsdrehzahl) sowie der externen separaten Drehzahlerfassung, die am Getriebe zusätzlich montiert worden sind. Es sind die Verläufe über mehrere Stunden dargestellt. Es wurden sowohl über einen längeren Zeitraum konstante Drehzahlen als auch Drehzahlsprünge mit kürzeren Intervallen gefahren. Die Übereinstimmung zwischen der separaten Drehzahlerfassung und dem Sensorsystem ist gegeben.



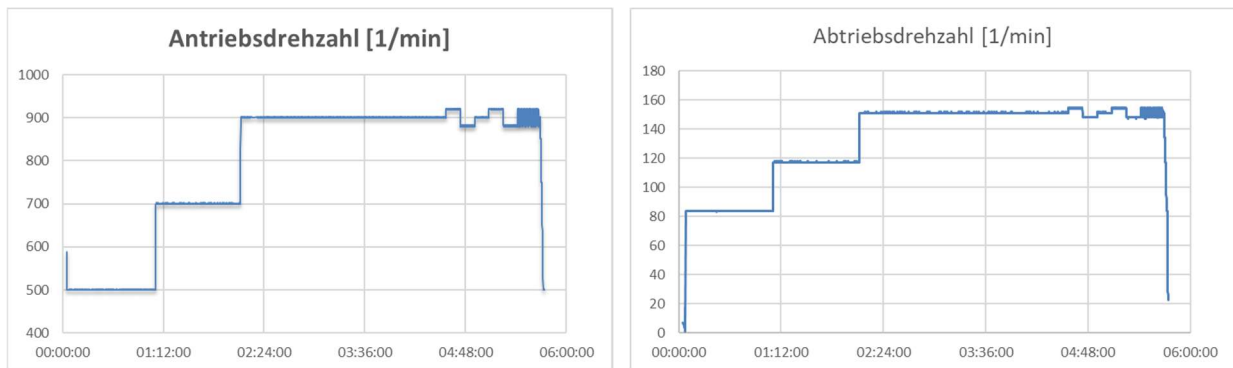


Abbildung 8: Vergleich der Drehzahlen (oben: REINTJES Messsystem; unten: CoMoGear-Sensorsystem)

Das Vorgehen und die Ergebnisse bzgl. Drehmomentmesstechnik sind im Abschlussbericht der Fa. Bachmann detailliert beschrieben. Zusammen mit den Partnern sind wir zu dem Schluss gekommen, dass die final gewählte Messtechnik momentan noch nicht die hohen Anforderungen bzgl. Zuverlässigkeit und Genauigkeit erfüllt. Mit der Fa. Bachmann werden weitere Untersuchungen mit der Sensortechnik der Fa. Trafag und der HZDR Innovation GmbH nach Projektende angestrebt.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

2.2.1 Teilprojekt „IntSenMa“

Die Finanzmittel wurden für Personalkosten, für Dienstreisen zu Projekt- und Arbeitstreffen, für Material und die Miete des Messmittels verwendet. Über die Projektlaufzeit haben mehrere unterschiedliche Mitarbeiter aus der Entwicklungsabteilung an dem Projekt mit unterschiedlichen Arbeitsschwerpunkten gearbeitet. Es wurde ein Getriebe konstruktiv angepasst und beschafft bzw. gefertigt. Bei der Abrechnung sind nur die reinen Materialkosten berücksichtigt worden. Die verwendete Drehmomentsensorik wurde gemietet. Eine detaillierte Auflistung kann dem zahlenmäßigen Nachweis entnommen werden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die in diesem Schlussbericht beschriebenen Arbeiten haben zur Erreichung der dargestellten Ergebnisse beigetragen und es somit ermöglicht, eine drahtlose Zustandsüberwachung von hochbelasteten, rotierenden Bauteilen in einem Schiffsgetriebe, auf Basis von miniaturisierten und energieautarken Sensorknoten, zu entwickeln. Sowohl durch Versuche an einem Prüfstand bei Hahn-Schickard, als auch durch den Einbau in einem Schiffsgetriebe auf dem Versuchsfeld bei der Reintjes GmbH, konnte der Funktionsnachweis des Systems erbracht werden. Die Projektziele wurden erreicht. Die Arbeiten waren demnach im getätigten Umfang notwendig und der Sache angemessen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

2.4.1 Teilprojekt „IntSenMa“

In den letzten Jahren nach Projektinitiierung hat sich der Trend zu Condition Monitoring und daraus abgeleiteten Systemen und Dienstleistungen weiter verstärkt. In Zukunft werden Condition based Maintenance Anwendungen in der maritimen Industrie Einzug halten, um die Zuverlässigkeit sowohl der Einzelsysteme als auch der Gesamtsysteme zu erhöhen. Weitere Aspekte wie zum Beispiel der digitale Zwilling, die Cyber Security, die Miniaturisierung und die Integration werden dabei in den Blickpunkt geraten. Somit stellt das im Rahmen dieses Verbundvorhabens entwickelte Gesamtsystem eine sehr gute Grundlage für Weiterentwicklungen da.

Das Mustergetriebe steht REINTJES auch nach Projektende für weitere Versuche zur Verfügung. Dies werden wir nutzen. Sowohl das Gesamtsystem als auch die einzelnen Teilsysteme (kabellose Datenübertragung, Energy Harvester, Sensorsysteme und die Algorithmen stellen einen hohen Nutzen für REINTJES dar, um die verschiedenen Betriebsmodi eines Schiffes kontinuierlich erfassen zu können. REINTJES ist somit in der Lage, dass zusammen mit den Projektpartnern erreichte Wissen für eigene und bilaterale Weiterentwicklungen nutzen zu können. Somit können individuelle auf den Anwendungszweck bezogene Lösungen entwickelt, projektiert und eingesetzt werden.

Insbesondere die berührungslose Messtechnik stellt aus unserer Sicht ein hohes Potential dar. Mit der Fa. Bachmann will REINTJES diese Technologie für Condition Monitoring Systeme sowohl für die industrielle als auch für die maritime Industrie zeitnah weiterentwickeln und nutzen.

2.5 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Vorhabens wurden keine Fortschritte an anderen Stellen bezüglich der drahtlosen und energieautarken Zustandsüberwachung von Schiffsgetrieben bekannt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Die im Vorhaben CoMoGear erzielten Ergebnisse wurden durch die Projektpartner im Rahmen von Workshops und Konferenzen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Insbesondere die Konferenzpaper sind über das Internet verfügbar.

Darüber hinaus wird der vorliegende Abschlussbericht nach Projektende der interessierten Fachöffentlichkeit durch Veröffentlichung in der Technischen Informationsbibliothek (TIB) Hannover zugänglich gemacht. Die Veröffentlichungen im Einzelnen:

Workshops:

- VDC Meetup – Energy Harvesting-Technologien – Fortschritte in der Entwicklung und Anwendungsbeispiele, Fachvortrag am 19. September 2017, Technologiezentrum St. Georgen
- 9. GMM Workshop Energieautonome Sensorsysteme, Fachvortrag am 01. März 2018, Dresden
- VDC Meetup – Energieautonome Sensorsysteme – Fortschritte in der Entwicklung und Anwendungsbeispiele, Fachvortrag am 18. September 2018, Technologiezentrum St. Georgen
- VDC Meetup - Vernetzte intelligente Sensorsysteme, Fachvortrag am 23. Mai 2019, Technologiezentrum St. Georgen

Konferenzen:

- microTEC Südwest Clusterkonferenz, Fachvortrag am 17. April 2018, Freiburg
- Esch, J; Schillinger, D.; Stojakov, D.; Hoffmann, D; Manoli, Y.: Power Management with Dynamic Power Adaption for a Rotational Energy Harvester in a Maritime Gearbox, (2019) J. Phys.: Conf. Ser.1407 012062
- Schneider, T.; Perwas, J.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Validation of an inductive sensor for monitoring marine gearboxes. In: Overmeyer, L. (Hrsg.): AST - Symposium on Automated Systems and Technologies. TEWISS Verlag, Hannover (2018), ISBN: 978-3-95900-223-3, pp. 3-7.
- Schneider, T.; Kruse, T.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Evaluation of an energy self-sufficient sensor for monitoring marine gearboxes position. In: Procedia Manufacturing, vol. 24 (2018), pp. 135–140, DOI: 10.1016/j.promfg.2018.06.019.
- Kruse, T.; Poschke, A.; Esch, J.; Kettner; D., Peitsch; P.: CoMoGear – Condition Monitoring of Marine Gearboxes based on Wireless, Energy-Autonomous Sensor Nodes. In: Forschungszentrum Jülich GmbH (Hrsg.): Statustagung Maritime Technologien – Tagungsband der Statustagung 2019. Statustagung Maritime Technologien – Tagungsband der Statustagung 2019. Forschungszentrum Jülich GmbH Zentralbibliothek, Verlag, Jülich (2019), ISBN: 978-3-95806-439-3, S. 109-119.

Fachzeitschriften und Journalen:

- Schneider, T.: Schiffsgetriebe aus der Ferne überwachen. In: ti - Technologie-Informationen, o. Jg. (2017), H. 3, S. 26.

Geplante Veröffentlichungen:

- Kruse, T.; Poschke, A.; Esch, J.; Kettner; D., Peitsch; P.: Zustandsbasierte Überwachung von Schiffsgetrieben. In: Schiff und Hafen, DVV Media Group (2020).

3 Literatur

- [BMBF00] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert. Forschungsprogramm des BMBF 2000 – 2004. Bonn, April 2000.
- [BMW109] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (Hrsg.): Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert. Forschungsprogramm 2005-2010. Berlin, März 2009.
- [BMW111] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Maritime Technologien der nächsten Generation. Silber Druck oHG, Berlin 2011.
- [Bog09] Bogue, R.: Energy harvesting and wireless sensors: a review of recent developments. In: Sensor Review, Vol. 29 (2009), No. 3, pp. 194-199.
- [Bru14] Bruhn, W. C. et. al.: Conducting look-out on an unmanned vessel - Introduction to the advanced sensor module for MUNIN's autonomous dry bulk carrier. In: DGON ISIS 2014, Hamburg, Germany, 4./5. September 2014.
- [DNVa] DNV GL Strategic Research & Innovation: Research Review 2014 - Capturing our Future, pp. 10-11.
- [DNVb] DNV GL Strategic Research & Innovation: Beyond Condition Monitoring in the maritime Industry, pp. 10-11.
- [Esc19] Esch, J.; Schillinger, D.; Stojakov, D.; Hoffmann, D.; Manoli, Y.: Power Management with Dynamic Power Adaption for a Rotational Energy Harvester in a Maritime Gearbox. In: J. Phys.: Conf. Ser.1407 012062
- [Fin06] Finkenzeller, K.: RFID Handbuch - Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. 4. Aufl., Carl Hanser Verlag, München 2006.
- [Fol07] Folkmer, B.: Kinetische Mikrogeneratoren Innovative Prinzipien von zur Nutzung kinetischer Energie., apz-Forum, Kaufbeuren, 2007.
- [Gil08] Gilbert, J. M.; Balouchi, F.: Comparison of energy harvesting systems for wire-less sensor networks. In: International Journal of Automation and Computing, Vol. 5 (2008), No. 4, pp. 334-347.
- [Glo99] Glosch, H.; Ashauer, M.; Pfeiffer, U.; Lang, W.: A thermoelectric converter for energy supply. In: Sensors and Actuators, Vol. 74 (1999), pp. 246 250.
- [Her12] Herber, A.; Hanisch, A.; Gnoerrlich, T.; Laqua, D.; Husar, P.: Design of power management in Energy Harvesting Devices. In: Biomedical Engineering, Walter de Gruyter, Vol. 57 (2012). No. 1, pp. 251-254.

- [Hof14] Hoffmann, D.; Willmann, A.; Folkmer, B.; Manoli, Y.: Tunable Vibration Energy Harvester for Condition Monitoring of Maritime Gearboxes. In: J. Phys.: Conf. Ser. 557, 012099.
- [Hof16] Hoffmann, D.; Willmann, A.; Hehn T.; Folkmer, B.; Manoli, Y.: A self-adaptive energy harvesting system. In: Smart Mater. Struct. Vol. 25 (2016), pp. 35013-35024
- [Hue10] Hübler, J.; Nendel, K.; Dombeck, U.: RFID Überwachungssystem für rotierende Maschinenelemente. In: Logistics Journal - Proceedings, 2010.
- [Jar06] Jardine, A.; Lin, D.; Banjevic, D.: A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. In Mechanical Systems and Signal Processing Vol. 20 (2006), No. 7, pp. 1483-1510.
- [Juc90] Juckenack, Dietrich: Handbuch der Sensortechnik: Messen mechanischer Größen. 2. Auflage, Verlag moderne Industrie, Landsberg am Lech 1990.
- [Kou97] Kouremenos, D. A.; Hountalas, D. T.: Diagnosis and Condition Monitoring of Medium-Speed Marine Diesel Engines. In: Tribotest Journal, Vol. 4 (1997), pp. 63-91.
- [LiS14] Li, S.; Yao, X.; Fu, J.: Research on a power management system for thermoelectric generators to drive wireless sensors on a spindle unit. In: Sensors, Vol. 14 (2014), No. 7, pp. 12701-12714.
- [Liu00] Liu, Y.; Liu, Z.; Xie, Y.; Yao, Z.: Research on an online wear condition monitoring system for marine diesel engine. In: Tribology International, Vol. 33 (2000), pp. 829-835.
- [LiZ11] Li, Z.; Yan, X.; Yuan, C.; Zhao, J.; Peng, Z.: Fault detection and diagnosis of a gearbox in marine propulsion systems using bispectrum analysis and artificial neural networks. In: Journal of Marine Science and Applications Vol. 10 (2011), No. 1, pp. 17-24.
- [Mac03] Mackel, J. L. J.; Jacek, A.: Zustandsdiagnose am Antriebsstrang von Windenergieanlagen. In: Golt, P. W.: Tagungsband Antriebstechnisches Kolloquium (AKT), 27.-28. Mai 2003, Wiss.-Verl. Mainz, Aachen, 2003, S. 85-99.
- [May13] Chr. Mayr GmbH + Co KG: Wellenkupplung mit integrierter Drehmomentmessung. In: PC&Industrie - Zeitschrift für Mess-, Steuer-, und Regeltechnik, Vol. 17 (2013), No. 6, p. 113.

- [Pai09] Paik, B.-G. et. al.: Characteristics of wireless sensor network for full-scale ship application. In: Journal of Marine Science and Technology, Vol. 14, No. 1, pp. 115-126.
- [Pil09] Pilsak, T. et. al.: Field Test of a Wireless Sensor Network inside the Engine Room of a Vessel. In: Roland Harig (Hrsg.): Self-organising wireless sensor and communication networks. Proceedings. Hamburg, TuTech Innovation, 2009.
- [Rød14] Rødseth, H.; Brage, M.: Maintenance Management for Unmanned Shipping. In: 13th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries. Redworth 2014.
- [Sch15] Schirrmacher, S.: Drahtlose, energieautarke Zustandsüberwachung von Schiffsgetriebenen. In: Schiff&Hafen, Vol. 10 (2015), pp. 28-30.
- [Sch18] Schneider, T.; Perwas, J.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Validation of an inductive sensor for monitoring marine gearboxes. In: Overmeyer, L. (Hrsg.): AST – Symposium on Automated Systems and Technologies. TEWISS Verlag, Hannover 2018, ISBN: 978-3-95900-223-3, pp. 3-7.
- [Sil05] Silva, Clarence W. de: Vibration and Shock Handbook. CRC Press, 2005.
- [Spr08a] Spreemann, D.; Folkmer, B.; Manoli, Y.: Comparative Study of Electromagnetic Coupling Architectures for Vibration Energy Harvesting Devices. In: Proceedings PowerMEMS 2008, Sendai, Japan.
- [Spr08b] Spreemann, D.; Willmann, A.; Folkmer, B.; Manoli, Y.: Characterization and In Situ Test of Vibration Transducers for Energy Harvesting in Automobile Applications. In: Proceedings PowerMEMS 2008, Sendai, Japan.
- [Yan13] Yang, W.; Tavner, P. J.; Court, R.: An online technique for condition monitoring the induction generators used in wind and marine turbines. In: Mechanical Systems and Signal Processing Vol. 38 (2013), No. 1, pp. 103-112.
- [Zhu09] Zhu, M.; Baker, P. C.; Roscoe, N. M.; Judd, M. D.; Fitch, J.: Alternative Power Sources for Autonomous Sensors in High Voltage Plant. In: IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal 2009, pp. 36-40.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Condition Monitoring of Marine Gearboxes based on Wireless, Energy-Autonomous Sensor Nodes – CoMoGear IntSenMa – Integration von drahtlosen, energieautarken Sensoren zur Überwachung von Maschinenelementen und Betriebszuständen in maritimen Getrieben	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr.-Ing. Kruse, Thomas	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2019
	6. Veröffentlichungsdatum Juni 2020
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) REINTJES GmbH Eugen-Reintjes-Straße 7 31785 Hameln	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03SX417D
	11. Seitenzahl 23
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 33
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 8
16. Zusätzliche Angaben keine	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) tbd	
18. Kurzfassung Ziel des Projekts „CoMoGear“ war die Entwicklung und prototypische Implementierung eines energieautarken, drahtlosen Sensornetzwerks zur Zustandsdiagnose von hoch-belasteten, rotierenden Bauteilen im Schiffsgetriebe. Die Aufnahme von Messdaten hinsichtlich Drehmoment, Drehzahl, Temperatur und Verschleißzustand im Öl umspülten Getriebe wurde durch miniaturisierte, autarke Sensorknoten ermöglicht. Neben der leichten Nachrüstbarkeit sind die geringeren Kosten ein wesentlicher Vorteil. Diese sind bspw. im Wegfall von nachträglichen Wartungskosten durch die Energieautarkie der Sensorknoten begründet. Im Teilprojekt IntSenMa arbeitete REINTJES u.a. an der Entwicklung der berührungslosen Drehmomentsensorik und an der Intregation aller Teilsysteme in ein maritimes Getriebe. Die Validierung des Sensorsystems fand bei REINTJES statt.	
19. Schlagwörter Energy Harvesting, Condition Monitoring, energieautarke Sensorik	
20. Verlag	21. Preis