

Leistungs- beschreibung

Modellierung elektromagnetischer
Signaturen von Unterwasserfahrzeugen

Inhaltsverzeichnis:

Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einleitung	4
2. Netzwerkmodell für das zeitvariante, nichtlineare Strömungsfeldproblem	7
3. Forschungsvorhaben.....	9
5. Arbeitspakete	11
___ WP #1: Studie zur Strommodulation durch das vibrierende Wellenlager (shaft)	12
___ WP #2: Studie zur Strommodulation durch die Bewegung der Rotorblätter	13
___ WP #3: Elektrisches Modell für das Kontaktpotential	14
___ WP #4: Kleine Vergleichsstudie zur statischen Berechnung von elektrischen Signaturen.....	15
___ WP #5: Berechnung der passiven Netzwerkelemente aus dem statischen Strömungsfeld.....	16
___ WP #6: Berechnung von zeitvarianten elektrischen Signaturen	17
___ WP #7: Dimensionierung eines vereinfachten Schiffmodells für den Schlepptank ..	18
___ WP #8: Schneller (quasi-)statischer Solver mit strukturangepassten Untergittern.....	19
___ WP #9: Numerische Strukturoptimierung zur Minimierung der elektrischen Signatur	20
6. Arbeitsplan	21
6.1 Detaillierte Projektagenda	21
6.2 Zusammenfassung Projektergebnisse	0

1. Einleitung

Das vorliegende Projektvorhaben befasst sich mit der wissenschaftlichen Untersuchung von stationären elektrischen (SE) und stationären magnetischen (SM) Signaturen bzw. tieffrequent alternierenden elektrischen (AE) und tieffrequent alternierenden magnetischen Signaturen (AM) von Wasserfahrzeugen, wie z.B. Schiffe und Unterseeboote. Die übergeordnete Zielsetzung solcher Untersuchungen besteht jeweils in der Analyse und Entwicklung von technischen Maßnahmen für die möglichst effiziente Unterdrückung solcher elektromagnetischen Signaturen. Diese lassen sich etwa wie folgt aufgliedern:

(A) Permanentes Magnetfeld (p-Feld):

Zu einem werden diese statischen Felder beim Bau der ferromagnetischen Schiffshülle aufgeprägt, zum anderen rühren sie von der ferromagnetischen Ladung und einer möglicherweise magnetisierten Ausrüstung her. Ein wichtiger Anteil stellt die Magnetisierung des Wasserfahrzeuges durch das Erdmagnetfeld dar. Hierbei spielt die Dynamik um die Querachse des Schiffes (Stampfen) eine wesentliche Rolle, da die resultierenden mechanischen Spannungen in der Schiffshülle den Magnetisierungsprozess stark befördern. Die Simulation einer einfachen p-Feld-Signatur ist in Fig.1 dargestellt. Permanentfelder können durch wiederholtes Entmagnetisieren oder mit Hilfe eines Systems, bestehend aus empfindlicher Feldderkennung und aktiver Feldkompensation (MES), direkt im Wasserfahrzeug unterdrückt werden.

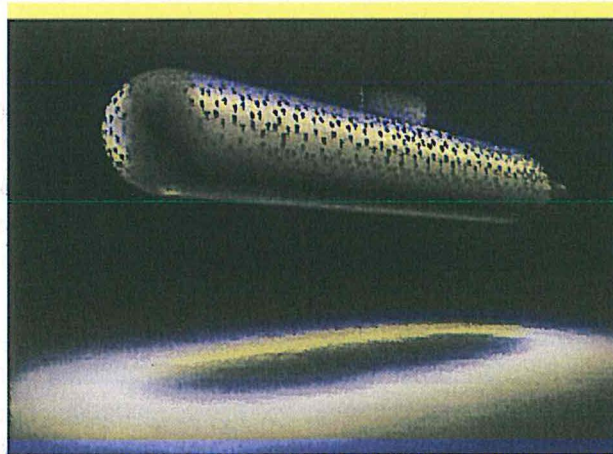


Fig.1: Numerische Simulation der magnetischen Signatur eines U-Bootes. Dargestellt ist die Störung des Erdmagnetfeldes am Meeresboden durch das Permanentfeld (p-Feld) des U-Bootes; © COMSOL.

(B) Zeitvariantes Magnetfeld herrührend von der Fahrzeugdynamik:

Die quasi-periodischen Bewegungszustände des Schiffs um die drei Raumachsen (Rollen, Stampfen und Gieren) bewirken zusammen mit dem Erdmagnetfeld die Induktion von Wirbelströmen auf der Schiffshülle. Die hierbei resultierenden Magnetfelder dürfen nicht vernachlässigt werden und bilden einen eigen-ständigen Beitrag zur magnetischen Signatur.

(C) Signaturen herrührend von den Schutzströmen des kathodischen Korrosionsschutzes:

Die aktiv aufgeprägten Ströme des elektrischen Korrosionsschutzes (EKS) verursachen über das elektrische Strömungsfeld im Wasser sowohl eine elektrische als auch eine magnetische Signatur. Da EKS-Systeme üblicherweise mit Gleichstrom betrieben werden, sind die beiden resultierenden Signaturen auf einen ersten Blick als statisch anzunehmen. In der Praxis jedoch erfahren die Schutzströme und die resultierenden Felder zeitlich periodische Modulationen, welche von der Drehbewegung der Schiffsschraube (Fig.2) herrühren. Die Modulation des elektrischen Strömungsfeldes beruht demnach auf den drei folgenden Mechanismen:

(i) Schiffsschraube als zeitlich variierende Elektrode:

Das Strömungsfeld des EKS erstreckt sich u.a. zwischen Schiffshülle bzw. Propellerantrieb und Anode und erfährt durch die Drehbewegung der Schiffsschraube eine zeitliche Modulation (Randwertproblem mit zeitvarianten Randbedingungen).

(ii) Vibrierende Antriebswelle:

Der Anteil des elektrischen Stromes, welcher durch den Propellerantrieb fließt, erfährt in den mechanischen Lagern durch die Vibrationen der mit ungefähr 40-120 Umdrehungen/min drehenden Propellerweile (rotating shaft) periodische Modulationen und zwar abhängig von der Anzahl Schraubenflügeln (typischerweise 4-7). Den größten Anteil der Modulation liefert jedoch das Drucklager, hervorgerufen durch die periodisch variierenden mechanischen Lastwechsel während der Schraubenbewegung. Diese Modulationen werden mit Hilfe eines periodisch veränderlichen, nichtlinear ausgesteuerten, elektrischen Widerstandes im Strompfad modelliert. Um den Einfluss dieser Strommodulation möglichst gering zu halten, wird in der Regel mittels Bürstenkontakte ein sog. Shaft Grounding durchgeführt, was sich durch einen relativ kleinen, konstanten Parallelwiderstand R_{SG} zum periodisch veränderlichen Widerstand modellieren lässt. Da das Shaft Grounding mit der Zeit degeneriert, muss der Beitrag der Strommodulation im Sinne eines Worst-Case-Szenarios in die allgemeinen Betrachtungen mit einfließen.

(iii) Netzteil des EKS-Systems:

Je nach Ausführung des getakteten Gleichstromnetzteils können unerwünscht auftretende, periodische Stromspitzen (ripple signal) auf den Schutzstrom aufgeprägt werden. Diese liegen mit einer typischen Frequenz von 60 Hz jedoch weit über der Frequenz der bisher betrachteten Strommodulationen.

Die elektrischen und magnetischen Felder, welche durch das EKS-System erzeugt werden, stellen den wesentlichsten Beitrag zur zum Korrosionsschutz bezogenen Signatur dar, wobei die Beiträge (ii) und (iii) zusätzlich einen hohen Oberwellenanteil im zeitlichen Verlauf der elektromagnetischen Signaturen verursachen. Die Gleichanteile der korrosionsbezogenen magnetischen Signatur (CRM: corrosion related magnetic field) hingegen, lassen sich kaum vom p-Feld unterscheiden.

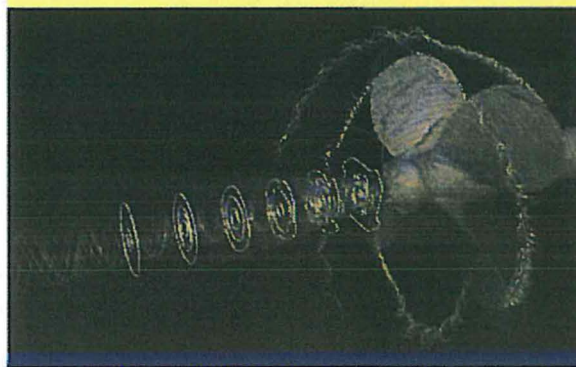


Fig.2: Numerische Simulation der hydraulischen Wirbelstruktur (Isolinien der transversalen Strömungsgeschwindigkeit) an einem im Uhrzeigersinn drehenden Schiffspropeller. Das elektrische Strömungsfeld des EKS-Systems wird durch die Bewegung der Rotorblätter entsprechend moduliert; © ZIB, Berlin.

Die Polarisationschicht an der Phasengrenze zwischen Schiffshülle und umgebendem Wasser bringt, wegen der elektrochemisch vorgegebenen Potentialverhältnisse, eine zusätzliche Nichtlinearität in das System ein, welche mit Hilfe einer nichtlinearen, materialspezifischen Stromdichte-Spannungscharakteristik wiedergegeben werden kann. Die quantitative Erfassung der örtlichen und zeitlichen elektromagnetischen Signatur, herrührend von den Schutzströmen des EKS-Systems, stellt wegen der erwähnten Nichtlinearitäten eine große Herausforderung dar. Ein möglicher Ansatz für die numerische Berechnung solcher Signaturen besteht in der Kombination zweier Simulationsmodelle, namentlich der Feldberechnung des linearen Strömungsfeldproblems im Verbund mit einem entsprechenden nichtlinearen elektrischen Netzwerkmodell.

2. Netzwerkmodell für das zeitvariante, nichtlineare Strömungsfeldproblem

Der Schwerpunkt des Forschungsvorhabens bildet die räumliche und zeitliche Charakterisierung der in Abschnitt (C) beschriebenen stationären bzw. tieffrequenten elektromagnetischen Signatur, herrührend vom EKS-System, wobei hier insbesondere die elektrische Signatur untersucht werden soll. Eine schematische Darstellung der durch den Schutzstrom entstehenden Signaturen ist in Fig.3 abgebildet. Um die Analyse möglichst einfach zu gestalten, wird das elektrische Strömungsfeld in einen stationären Anteil J_A und einen durch die Schraubenbewegung periodisch modulierten Beitrag J_S aufgeteilt. Es ist zu beachten, dass die typischen Strompfade, namentlich von der Anode zur Schiffsschraube J_S bzw. von der Anode zur Schiffshülle J_A jeweils Stromstärken von ähnlicher Größe aufweisen.

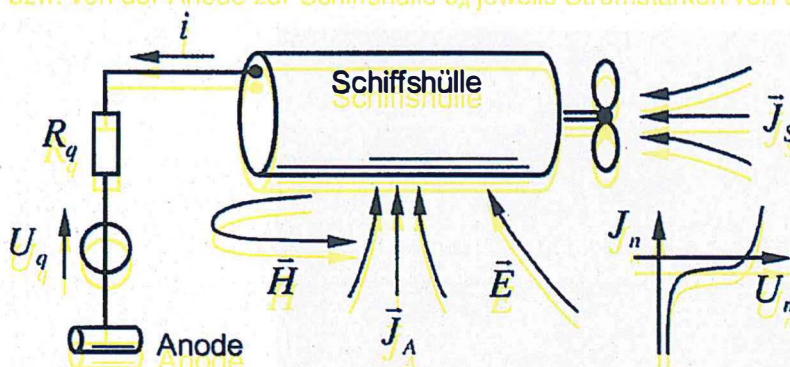


Fig.3: Schematische Darstellung der elektromagnetischen Signaturen, herrührend durch das elektrische Strömungsfeld des EKS-Systems. Die nichtlineare Charakteristik des Kontaktpotentials wird hier durch die entsprechende Stromdichte-Spannungskennlinie wiedergegeben.

Eine weitere, phänomenologisch motivierte Aufteilung ergibt sich durch die Aufgliederung der Problemstellung in den linearen Anteil der elektrischen Strömungsfeldberechnung und den nicht-linearen Anteil, welche durch die elektrochemisch vorgegebenen Kontaktpotentiale an den entsprechenden Phasengrenzen wiedergegeben sind. Beide Aufteilungen lassen sich schematisch in ein Gesamtmodell integrieren, welches durch das in Fig.4 abgebildete nichtlineare Ersatzschaltbild approximiert werden kann.

Die Impedanzen Z_i^A stehen für die Lösungen des linearen Strömungsfeldproblems und enthalten zum einen die Ausbreitungs- und Kopplungswiderstände und zum anderen die Induktivitäten der mit den Stromdichten verknüpften Magnetfelder. Die nichtlinearen Strom-Spannungskennlinien können im Netzwerkmodell durch Diodennetzwerke, Approximationsfunktionen, Look-up Tables oder ganz allgemein mit Hilfe gesteuerter Quellen nachgebildet werden. Die periodische Strommodulation erfolgt durch die beiden zeitabhängigen Widerstandsfunktionen Z_S^L (Lagervibrationen) und Z_S^A (Schraubenbewegung im elektrischen Strömungsfeld).

Der große Vorteil des approximativen Netzwerkmodells liegt in der extrem effizienten Zeitbereichssimulation des zugrundeliegenden nichtlinearen elektromagnetischen Feldproblems. Selbst für die auftretenden höheren Harmonischen der periodischen Stromdichtemodulation – in der Praxis sind Harmonische bis zur 20-ten Ordnung messbar –

befinden wir uns stets noch im Bereich der Magneto-Quasistatik (MQS), was, wegen der hierbei angenommenen Rückwirkungsfreiheit des sekundären E -Feldes, die angesprochene Entkopplung bzw. die Aufgliederung des Feldproblems in die entsprechenden Netzwerkelemente zulässt. Die in der elektrischen Ersatzschaltung ermittelten Ströme (und Spannungen) stellen aggregierte Zustandsvariablen der entsprechenden Felder dar und können diesen deshalb jederzeit zugeordnet werden.

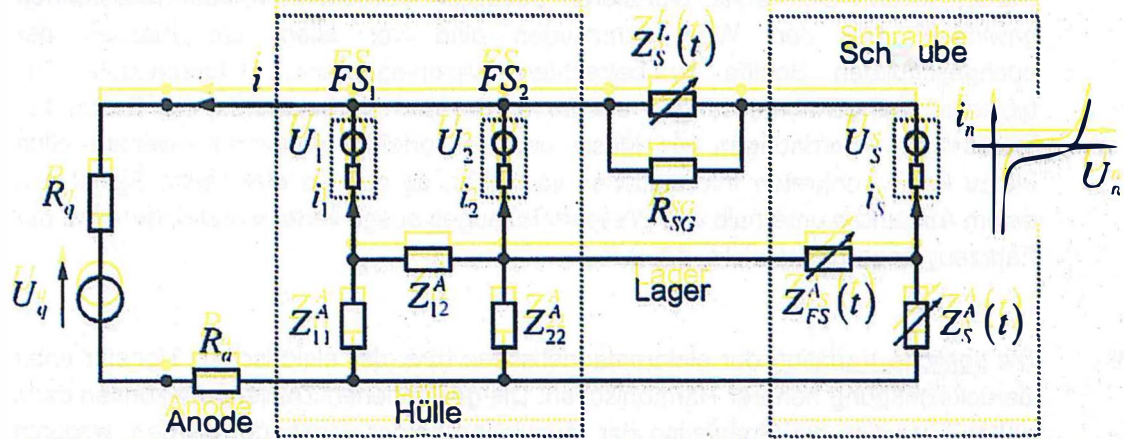


Fig.4: Vereinfachte elektrische Ersatzschaltung zur Berechnung des Zeitverhaltens der elektromagnetischen Signaturen, herrührend durch das elektrische Strömungsfeld des EKS-Systems, wobei die veränderlichen Widerstandsgrößen einer periodischen Zeitfunktion entsprechend der Drehzahl der Schiffsschraube gehorchen. Die nichtlinearen Charakteristiken der verschiedenen Kontaktpotentiale werden hier durch entsprechende Strom-Spannungskennlinien wiedergegeben. Die Abkürzung FS_i steht für ggf. unterschiedliche, kathodisch zu schützende Bereiche i auf der Schiffshülle (im Folgenden auch Kontaktstellen genannt). Die Impedanzen Z_i^A enthalten sowohl die Ausbreitungs- und Kopplungswiderstände im Wasser als auch die ggf. dem Magnetfeld zugeordneten Induktivitäten.

Dank der hohen numerischen Effizienz herkömmlicher elektrischer Netzwerksimulatoren, wie z.B. SPICE, rückt auch die inverse Problemstellung, d.h. die Suche nach einer optimalen Konfiguration des EKS-Systems zur Minimierung der elektrischen Signatur in greifbare Nähe.

3. Forschungsvorhaben

Eine Studie soll nun abklären, unter welchen Bedingungen eine minimale elektrische Signatur bei entsprechender EKS-Konfiguration erzielt werden kann. Dabei gilt es, die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

1. Die räumliche Ausdehnung der elektromagnetischen bzw. der elektrischen Signatur. Daraus lassen sich erste Signaturen bezüglich Vorbeifahrten oder Messfahrten gewinnen. Bei den Wasserfahrzeugen sind vor allem die Klassen der hochgeschützten Schiffe zu betrachten (Minenjagdboote, Unterseeboote) mit typischen Längenabmessungen um 50 m. Bei den Vorbeifahrten soll Bezug auf existierende Anordnungen von Mess- und Sensoren genommen werden. Sind hierzu keine konkreten Informationen verfügbar, so soll die elektrische Signatur in einem Abstand h unterhalb des Wasserfahrzeuges ausgewertet werden, der etwa der Fahrzeuglänge L entspricht, d.h. $h = L$.
2. Die zeitliche Variation der elektromagnetischen bzw. der elektrischen Signatur unter Berücksichtigung höherer Harmonischen. Die gewonnenen Zeitverläufe können dann näherungsweise als Modulation der räumlichen Felder verwendet werden, wodurch realistische Datensätze von Messfahrten nachgebildet werden können.
3. Die Minimierung der elektromagnetischen bzw. der elektrischen Signatur. Hierzu muss eine optimale Konfiguration des EKS-Systems gefunden/entwickelt werden. In einem ersten Schritt werden die Ursachen der Signaturen optimiert, d.h. die Quellen der Strommodulation (Zeitverhalten) und die Lage/Formgebung der Stromeinspeisungen (Anoden). Das hier angesprochene inverse Problem lässt sich formal mittels numerischer Strukturoptimierung lösen.

Wie bereits angesprochen wurde, gliedert sich die Problemstellung in einen linearen Teil (Strömungsfeld im Wasser) und einen nichtlinearen Teil (Elektrochemie der Phasengrenze), die beide mittels entsprechender Ansätze zu modellieren sind.

- A. Das elektrische Strömungsfeld an den Kontaktstellen soll mittels 3D elektromagnetischer Feldsimulation – z.B. mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM, COMSOL) oder einem hierfür zugerüsteten, statischen Finite-Differenzen-(FD)-Solver (Eigenentwicklung) – charakterisiert und unter Verwendung von konzentrierten Elementen (Widerstände) nachgebildet werden. Das resultierende Netzwerk (Fig.4) soll nach Möglichkeit mit der Fläche, der Form und der Lage der Anoden parametrisiert werden.
- B. Die Mechanismen der Zeitvariation: Diese ermitteln sich aus der Strommodulation, herrührend von der Drehbewegung der Schiffschraube. Bei der Drehbewegung ist der Einfluss der Rotorblätter auf das elektrische Strömungsfeld und die Variation des Stromflusses im vibrierenden Lager der Schraubenwelle voneinander getrennt zu analysieren. Die voll-ständige Zeitsignatur entsteht erst im Gesamtmodell, d.h. im

Zusammenspiel mit den elektrischen Nichtlinearitäten an den verschiedenen Phasengrenzen.

- C. Die nichtlineare elektrische Charakteristik der Phasengrenze: Die nichtlineare Abhängigkeit soll anhand von generischen Datensätzen mittels Dioden-Widerstandsnetzwerken, Approximationsfunktionen, Look-up Tables oder ganz allgemein mit Hilfe gesteuerter Quellen nachgebildet werden. Das Vorhandensein von dynamischen Nichtlinearitäten ist ggf. abzuklären.
- D. Gesamtmodell der elektrischen Signatur der Wasserfahrzeuge: Das resultierende Netzwerkmodell umfasst die oben aufgelisteten Teilmodelle und ist in Fig.4 abgebildet. Das parametrisierte Modell kann so direkt in ein Netzwerksimulationsprogramm für elektronische Schaltungen, wie z.B. SPICE (ggf. auch Agilent ADS), implementiert werden.

Der hier skizzierte Ansatz ist trotz der starken Vereinfachung (Netzwerkmodell) sehr allgemein, denn er ist auch in der Lage, großflächige Phasengrenzen/Anoden mittels entsprechender Diskretisierung in kleine Teilkontaktstellen im gleichen Sinn ins Gesamtmodell einzubinden. Dies ist, je nach Inhomogenität der Stromdichtebelegung entlang der Schiffshülle, möglicherweise für alle Kontaktstellen angezeigt. Ein wesentlicher Punkt des vorgeschlagenen Netzwerkmodells besteht aber in der Tatsache, dass es sich beinahe beliebig in Richtung des räumlich ausgedehnten Strömungsfeldes weiterentwickeln lässt, ohne dass dabei auf die konzeptionelle Kompaktheit und numerische Effizienz der Netzwerkanalyse verzichtet werden muss.

5. Arbeitspakete

Das Projekt gliedert sich konkret in neun verschiedene Module, welche in den zugehörigen Arbeitsschritten (WPs, *work packages*) abgearbeitet werden können. Die Ergebnisse, vor allem der ersten fünf *work packages*, bilden die Elemente des nichtlinearen Netzwerkmodells und lassen sich unabhängig in kleineren, einzelnen Teilprojekten bearbeiten. Die übergeordnete Zielsetzung des Projekts, namentlich die Minimierung der zeitlichen und örtlichen elektrischen Signatur, stellt hingegen ein recht umfangreiches Forschungsvorhaben dar, welches entsprechend angepasste Rahmenbedingungen für die Ausarbeitung erfordert, wie Kontinuität und eine aktive wissenschaftliche Zusammenarbeit. Im Folgenden werden nun die einzelnen *work packages* (WPs) beschrieben und entsprechend ihrer zunehmenden Komplexität aufgelistet.

WP #1: Studie zur Strommodulation durch das vibrierende Wellenlager (shaft)

Berechnung der Impedanz $Z_S^L(t)$ [modulierter Widerstand $R_S^L(t)$ und modulierte Kapazität $C_S^L(t)$] des Gleit- bzw. Drucklagers als Funktion der in Fig.5 abgebildeten Auslenkung $x(t)$. Das Problem lässt sich analytisch einerseits über das Spiegelungsprinzip lösen (Gleitlager) oder über ein Kondensatormodell mit planaren Ringelektroden (Drucklager).

Recherche nach einfachen Modellen für die Drehbewegung, gekoppelt mit dem mechanischen Schwingungsverhalten der Propellerwelle.

Einfluss der mechanischen Bewegung der Propellerwelle auf die Verhältnisse im Drucklager.

- Allfällige Berücksichtigung weiterer Wellenauflager (z.B. Gleitlager) durch zusätzliche zeitabhängige, elektrische Widerstände, deren periodische Variation über das mechanische Schwingungsverhalten der Welle jeweils untereinander starr phasengekoppelt sind.

Ermittlung eines elektrischen Modells für das Shaft Grounding (Bürstenkontakte zur Welle).

Ermittlung des gesamten elektrischen Ersatzschaltbildes für das vibrierende Wellenlager. Analyse der resultierenden Strommodulation: Zeitverhalten und spektraler Bereich (Oberwellen).

Überlegungen zur Implementation des nichtlinearen Zeitverhaltens in SPICE (nichtlineare Modulationskennlinie).

Deliverable: D1: Modell für den zeitabhängigen Widerstand $R_S^L(t)$ [und für die Kapazität $C_S^L(t)$], ggf. elektrisches Ersatzschaltbild für die relevanten vibrierenden Wellenlager.

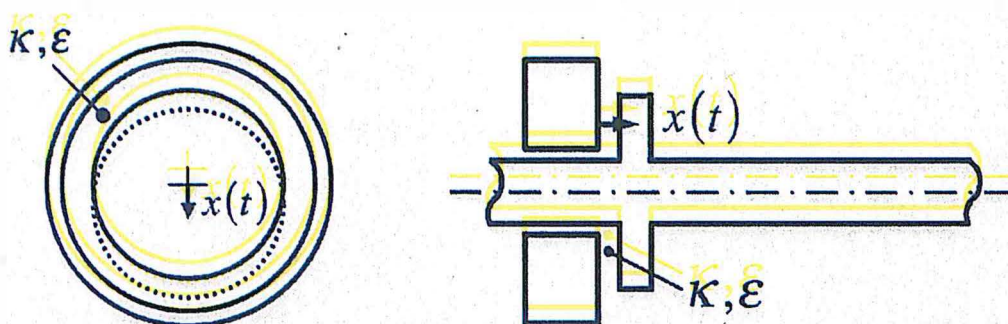


Fig.5: Parametrisierung der Vibration der Schraubenwelle im Gleitlager (links) und im Drucklager (rechts) durch die Lage $x(t)$; die elektrischen Materialeigenschaften des Schmiermittels sind durch κ und ϵ gegeben.

WP #2: Studie zur Strommodulation durch die Bewegung der Rotorblätter

- Erste statische Strömungsfeldberechnungen (FEM) zur Bestimmung von vereinfachten Hüllengeometrien (prolates Ellipsoid, Kreiszylinder, Halbkreiszylinder) für Schiffe und Unterseeboote. Daraus sind dann lediglich die Abmessungen des relevanten Heckbereiches zu ermitteln.
- Lösung des langsam-variierenden Randwertproblems für das elektrische Strömungsfeld (FEM) unter Berücksichtigung der in Fig.4 dargestellten «beweglichen» Randbedingung. Bei der Schiffshülle soll hier nach Möglichkeit nur der relevante Teilbereich der Heckpartie in die Berechnung einfließen.
- Berechnung der aus dem Strömungsfeld resultierenden Strommodulation (FEM) für den symmetrischen Fall des abgetauchten U-Bootes und den asymmetrischen Fall eines Schiffes an der Wasseroberfläche, bzw. eines U-Bootes auf Seerohrtiefe. Bestimmung des periodischen Zeitverhaltens der elektrischen Widerstandsfunktionen $Z_S^A(t)$ und $Z_{FS}^A(t)$.
- Analyse des reinen Zeitverhaltens hinsichtlich der Phasenbeziehung zur Strommodulation aus WP #1 (Wellenvibrationen) und bezüglich des spektralen Gehalts (Oberwellen). Suche nach einer einfachen Implementation in SPICE (nichtlineare Modulationskennlinie).

Deliverable: D2: Netzwerkmodelle für die elektrischen Widerstandsfunktionen $Z_S^A(t)$ und $Z_{FS}^A(t)$.

Milestone: M2: Elektrisches Netzwerkmodell der Schraubenbewegung steht zur Verfügung.

WP #3: Elektrisches Modell für das Kontaktpotential

- Implementation eines interpolationsfähigen Modells für die statischen, nichtlinearen Stromdichte-Spannungs-Kennlinien bezüglich der verschiedenen vorhandenen Phasengrenzen (Kathode), wie Dioden-Widerstands-Netzwerk, Approximationsfunktionen, Look-up Table und gesteuerte Quellen.
- Ermittlung der entsprechenden elektrischen Ersatzschaltung (u.a. von R_a) für die Anoden.
- Modellierung und Implementation einer möglicherweise auftretenden dynamischen Nichtlinearität.

Deliverable: D3: Parametrisiertes Netzwerkmodell für das nichtlineare Kontaktpotential.



Fig.6: Schiffsschraube, Schiffshülle und Ruder stellen eine komplizierte, zeitvariante Elektrodenanordnung dar.

WP #4: Kleine Vergleichsstudie zur statischen Berechnung von elektrischen Signaturen

- Wahl einer einfachen Hüllengeometrie (z.B. prolates Ellipsoid, Kreiszylinder, oder Halbkreiszylinder als Referenzmodell, siehe hierzu auch Fig.1 oder die Strukturen aus WP #2).
- Vergleichssimulationen für das elektrische Strömungsfeld: FEM (COMSOL) ↔ BEM (BEASY).
- Vergleichssimulationen für das el. Strömungsfeld: FEM (COMSOL) ↔ BEM (Flux3D, Magsoft).
- Evaluation sowohl der statischen Strömungsfeldberechnungen als auch der bei den Boundary-Element-(BE)-Methoden verwendeten Modelle für das nichtlineare Kontaktpotential.

Milestone: M4: Benchmark bezüglich der gebräuchlichen Feldberechnungsmethoden.

WP #5: Berechnung der passiven Netzwerkelemente aus dem statischen Strömungsfeld

- Statische, lineare Strömungsfeldberechnungen (FEM) an realistischen Hüllengeometrien von Schiffen und Unterseebooten mit und ohne Berücksichtigung des Meeresbodens für typische Konfigurationen des EKS-Systems.
- Extraktion der zugehörigen linearen Netzwerkelemente Z_A .
- Implementierung z.B. in SPICE unter Berücksichtigung der in WP #1 und WP #2 erstellten Netzwerkmodelle für Strommodulation durch die Schraubenbewegung.
- Formale Vernetzung des Netzwerkmodells mit den Strömungsfeldberechnungen, d.h. die Ströme (und Spannungen) der SPICE-Simulation lassen sich im Sinne der quasistatischen Approximation als entsprechende Randbedingungen in den Feldsimulator (FEM) wieder einfügen.

<u>Deliverable:</u>	D5.1:	Elektrisches Ersatzschaltbild für die «passive» Elektrodenanordnung des EKS-Systems bezüglich der verschiedenen angesprochenen Fälle.
	D5.2:	Vollständiges, nichtlineares Netzwerkmodell in SPICE zur Simulation des zeitvarianten EKS-Systems.
<u>Milestone:</u>	M5:	Möglichkeit zur approximativen Berechnung zeitvarianter elektrischer Felder bzw. elektrischer Feldsignaturen.

WP #6: Berechnung von zeitvarianten elektrischen Signaturen

- Simulation der elektrischen (und ggf. magnetischen) Signaturen und Verifikation der Ergebnisse mit gemessenen Zeitsignalen.
- Simulation der elektrischen Signatur in typischen Szenarien, wie einer Vorbeifahrt oder einer Messfahrt im entsprechenden Testfeld.

Deliverable: **D6:** Simulierte Datensätze für die elektrische Signatur
Deliverable: **Db:** Simulierte Datensätze für die elektrische Signatur
verschiedener Bootsklassen.

WP #7: Dimensionierung eines vereinfachten Schiffmodells für den Schlepptank

- Simulation der elektrischen Signaturen eines herunterskalierten, vereinfachten Schiffmodells bezüglich der Messanordnung im Schlepptank.
- Studien zur periodischen Modulation des EKS-Stroms in der Modellanordnung hinsichtlich einer korrekten Hochskalierung der Modulationsfrequenz und möglicher Grenzen der Magneto-Quasistatik.
- Dimensionierung und Herstellung eines solchen vereinfachten Schiffmodells.

Deliverable: D7: Vereinfachtes Schiffmodell für den Schlepptank.

WP #8: Schneller (quasi-)statischer Solver mit strukturangepassten Untergittern

- Entwicklung eines (quasi-)statischen, sehr schnellen Finite-Differenzen-(FD)-Solvers [ggf. auch eines Boundary-Element-(BE)-Solvers] für die Berechnung quasistationärer elektromagnetischer Felder.
- Implementation von strukturangepassten (d.h. der Hüllengeometrie angepassten Untergitter).
- Hardwareoptimierter FD-Algorithmus (Vorarbeiten hierzu existieren aus einem anderen Projekt).
- Definition geeigneter Zustandsvariablen (Netzwerkelemente, Ströme, Spannungen) sowie die Entwicklung einer bidirektionalen Schnittstelle zum SPICE-Simulator.

Deliverable: **D8:** Konfektioniertes, benutzerfreundliches und robustes Simulationstool für die effiziente Berechnung von elektrischen Signaluren.

Milestone: **M8:** Entscheid zur Wahl der effizientesten Berechnungsmethode (FD oder BE).

WP #9: Numerische Strukturoptimierung zur Minimierung der elektrischen Signatur

- Lösung der inversen Problemstellung, d.h. die Optimierung des EKS-Systems hinsichtlich einer minimalen elektrischen Signatur, beruhend auf dem in WP #5 entwickelten, nichtlinearen Netzwerkmodell.
- Lösung der inversen Problemstellung, nun aber auf Basis des in WP #7 entwickelten Simulationstools (konfektionierter FD-Solver).

Deliverable: **D9:** Entwurfswerkzeug für optimale EKS-Systeme von Wasserfahrzeugen.

Milestone: **M9.1:** Aufsetzen der inversen Problemstellung bestehend aus der entsprechenden Suchheuristik und dem Vorwärtslöser (COMSOL oder FD- resp. BE-Solver).

M9.2: Synthesefähigkeit als zusätzliche Option im Simulationstool aus WP #7.

6. Arbeitsplan

6.1 Detaillierte Projektagenda

In der untenstehenden Tabelle (Tab.2) ist der abgeschätzte Arbeitszeitaufwand der einzelnen Workpackages aufgeführt. Das hierfür eingesetzte Personal wird in Abschnitt 7 aufgeführt. Die Hauptarbeit soll jedoch durch einen Wissenschaftler erfolgen, wobei einige Nebenarbeiten einer studentischen Hilfskraft übertragen werden. Das hier beschriebene Forschungsvorhaben, d.h. die Modellierung elektromagnetischer Signaturen von Wasserfahrzeugen umfasst die Zeitdauer von drei Jahren. Eine mögliche Weiterführung der Themenstellung hinsichtlich der Entwicklung einer gebrauchsfertigen, portierbaren Softwareplattform zur Minimierung elektromagnetischer Signaturen und der umfassenden Analyse der in Frage kommenden Bootsklassen wäre im Rahmen einer Projektfortsetzung ggf. um ein weiteres (viertes) Jahr vorgesehen.

Work Packages	1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr				4. Jahr				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
WP #1: Wellenlager	D1																
WP #2: Schiffsschraube			D2														
WP #3: Kontaktpotential				D3													
WP #4: Benchmark					M4												
WP #5: Netzwerkmodell						D5.1	M5	D5.2									
WP #6: Mess-Szenarien															D6		
WP #7: Schiffsmodell											D7						
WP #8: Feld-Solver															M8	D8	
WP #9: Optimierung															M9.1	M9.2	D9

Kostenplan zur Studie: Klassifikation der Signaturen von Meeressäugern mit Methoden der Spracherkennung

6. Kostenvoranschlag

voraussichtliche Dauer: 01.08.2009 bis 31.12.2011

KOSTENPLAN:		2009	2010	2011	Summe 2010/11
		€	€	€	€
Pos.	Kostenarten				
I Personalkosten					
1	Löhne/Gehälter/Zeithilfen	██████	██████	██████	██████
3	Sozialaufwand: in 1 enthalten	██████	██████	██████	██████
	Summe I	██████	██████	██████	██████
II Sachkosten					
1	Roh- und Hilfsstoffe				
2	Fremdarbeiten				
3	Frachtkosten				
4	Literatur	██████	██████	██████	██████
	Summe II	██████	██████	██████	██████
III Allgemeinkosten					
1	Miete/Raumkosten				
2	Strom/Gas/Wasser/Heizung				
3	Telefon/Postgebühren	██████	██████	██████	██████
4	Büro/Zeichenmaterial	██████	██████	██████	██████
5	Reisekosten	██████	██████	██████	██████
6	Versicherungen				
7	Kraftwagenbetrieb				
8	Verschiedenes				
	Summe III	██████	██████	██████	██████
IV Geräte & Software					
1	Auswertesoftware / Updates	██████	██████	██████	██████
2	Betriebssystem / Officepaket	██████	██████	██████	██████
	Summe IV	██████	██████	██████	██████
	Summe I bis IV	██████	██████	██████	██████
	19% Ust auf I bis III	██████	██████	██████	██████
	Gesamtbetrag	██████	██████	██████	██████

Für das optionale Jahr 2012 wäre mit einer Summe von ██████████ rechnen (inkl. MwSt. und CAU-Overhead für die Gesamtlaufzeit).

6.2 Zusammenfassung Projektergebnisse

Nach dem ersten Jahr: Elektrisches Modell der Strommodulation im EKS-System (Lagervibrationen und Bewegung der Schraube).
Elektrische Modelle für die unterschiedlichen Kontaktpotentiale.

Nach dem zweiten Jahr: Nichtlineares, zeitvariantes elektrisches Netzwerkmodell des gesamten EKS-Systems.
Benchmark für die zugehörige elektrische Strömungsfeldberechnung.

Nach dem dritten Jahr: Simulationen von elektrischen Signaturen in realen Messkampagnen.
Simulation von elektrischen Signaturen am Modell im Schlepptank.
Dimensionierung und Herstellung des zugehörigen Schiffsmodells für den Schlepptank.
Entscheidungsgrundlage für die Wahl des effizientesten Feldlösers.
Erste lauffähige Implementation zur Strukturoptimierung.

Nach dem vierten Jahr: Ausblick: Gebrauchsfähige, wissenschaftlich einsatzfähige, Softwareplattform zur Minimierung elektrischer Signaturen.

Anlage B1

Zusammenstellung der im Rahmen der Projektbearbeitung voraussichtlich erforderlichen Reisen

Lfd. Nr.	Reisezweck	Reiseziel (Ort / Land)	Reisedatum (von -- bis)	Anzahl der Reisenden	Erläuterung des Projektbezugs - Kurzform -	Geschätzte Kosten
1	Workshop Signalverarbeitung	Schleswig-Holstein	n.b.	1		

Anmerkungen zum Kostenvoranschlag:

1. Personalkosten

Für die Durchführung der Studie gemäß Lastenheft ist ein(e) Wissenschaftler(in) für die Gesamtlaufzeit erforderlich.

Sie / er arbeitet im Jahre 2009 fünf Monate, unterstützt vom Projektleiter. Angesetzt werden daher 6 Personenmonate (PM) [REDACTED]

In den beiden Folgejahren wird von einem etwas höheren Gehalt [REDACTED] bei einem Anteil von 10 / 12 der Arbeitszeit für das Projekt ausgegangen.

Die Schätzung für das optionale weitere Jahr 2012 geht von einer Vollzeit-Beschäftigung für das Projekt aus.

2. Allgemeine Kosten

Investitionsmittel und Infrastrukturkosten entfallen wegen der Bereitstellung des Arbeitsplatzes und der Arbeitsmittel durch die FWG. Der allgemeine Geschäftsbedarf und die Reisekosten fallen beim Institut an und sind deswegen dort aufgeführt. Verbrauchsmaterial und Literatur werden grundsätzlich von der FWG bereitgestellt. Zur Sicherstellung der rechtzeitigen Ausstattung mit spezifischem Material sind kleine Posten angesetzt.

3. Geräte / Software

Zu Beginn der Studie ist einmalig die Ausstattung des Arbeitsplatzes mit einem Softwarepaket zur Signalverarbeitung (Matlab etc.) und einem Officepaket zur Dokumentation notwendig. Später folgen lediglich Updates.

Kiel, 16.07.2009

(Prof. Dr.-Ing. Ulrich Heute)



**Wehrtechnische Dienststelle
für Schiffe und Marinewaffen,
WTD 71 Maritime Technologie und Forschung**

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung
WTD 71 · Berliner Straße 115 · 24340 Eckernförde

Universität Duisburg-Essen
Der Kanzler
Universitätsstraße 2

45141 Essen



Bundeswehr



Forschungsbereich für
Wasserschall und Geophysik

(Bitte bei Antwort angeben)
Geschäftszeichen
900-310/
E/E71Z9U3777F129

Bearbeiter
[REDACTED]
E-Mail
[REDACTED]@BWB.org

Tel-Nr.
04351/467 271
Telefax
04351/467 122

Eckernförde
23.02.2010

Ihr Forschungsvorhaben;

Modellierung elektromagnetischer Signaturen von Wasserfahrzeugen

1. Änderung zum Zuwendungsbescheid

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Ihnen im Namen der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung erteilte Zuwendungsbescheid für das Forschungsvorhaben „Modellierung elektromagnetischer Signaturen von Wasserfahrzeugen“ wird wie folgt geändert:

1. Für die Durchführung Ihres o. g. Forschungsvorhabens bewillige ich Ihnen als Vollfinanzierung namens der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung für den Zeitraum vom Inkrafttreten des Zuwendungsbescheides bis zum **31.12.2010** eine nicht rückzahlbare Zuwendung gemäß § 44 der Bundeshaushaltsordnung (BHO) bis zur Höhe von

[REDACTED]

[REDACTED]



Tel.: (04351) 467-0

Fax: (04351) 467-152

Bw-Netz: 90-7443-88

E-Mail: WTD71Posteingang@bwb.org



2. Die übrigen Bestimmungen des Zuwendungsbescheides vom 28.05.2009 bleiben unverändert.

3. **Rechtsbehelfsbelehrung:**

Gegen diesen Bescheid kann innerhalb eines Monats nach Bekanntgabe Widerspruch erhoben werden. Der Widerspruch ist bei der

Wehrtechnischen Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen

Berliner Straße 115

24340 Eckernförde

schriftlich oder zur Niederschrift einzulegen.

Die Rechtsbehelfsfrist ist bei schriftlicher Einlegung des Widerspruchs nur gewahrt, wenn das Schreiben innerhalb dieser Frist bei der vorgenannten Dienststelle eingegangen ist.

Sie können die Bestandskraft des Zuwendungsbescheides vor Ablauf der Rechtsbehelfsfrist herbeiführen und damit die Auszahlung beschleunigen, wenn Sie auf der beigefügten Einverständniserklärung (Anlage F) Ihr Einverständnis mit dem Inhalt des vorstehenden Bescheides sowie den Verzicht auf einen Rechtsbehelf erklären und mir die Zweitschrift sodann umgehend zurücksenden.

Mit freundlichen Grüßen

[Redacted signature]

[Redacted signature]

[Redacted text]