FuE-Zentrum FH Kiel GmbH, FuE	MinKav / Minimierung Kavitationslärm
Kürzel Forschungseinrichtung 1 (FE 1)	Akronym / Thema kurz Skizze
--	2025-1-7
ggf. Kürzel Forschungseinrichtung 2 (FE 2)	Skizzen-Nr. (wird vom FSM eingetragen)
--	
ggf. Kürzel Forschungseinrichtung 3 (FE 3)	Ansprechpartner/-in FE für den FSM

Skizze für ein IGF-Vorhaben zum Thema Werkzeuge zur Minimierung der Schallabstrahlung von kavitierenden Propellern (MinKav)

Gliederung der Skizze angelehnt an die Gliederung Beschreibung zum Forschungsantrag des DLR-PT (Stand: 04/2024)
Umfang der Skizze: max. 5 Seiten bei 1 FE, max. 6 Seiten bei 2 FE, max. 7 Seiten bei 3 FE
Informationen zur Antragstellung beim DLR Projektträger (DLR-PT) folgen

1. Kurzzusammenfassung und Fachgebiete / Wirtschaftszweige

Der zunehmende Unterwasserlärm durch Seeschiffe wird von den zuständigen nationalen und internationalen Behörden als problematisch eingestuft und dessen Reduzierung gefordert. Es existieren derzeit jedoch keine zuverlässigen Prognoseverfahren für Propellerschall und somit auch keine Werkzeuge zur zielgerichteten Schallreduktion. Das Vorhaben will vorhandene Entwurfswerkzeuge ertüchtigen, effiziente Schallprognosen in den industriellen Ablauf des Propellerentwurfs zu integrieren, und Gestaltungsprinzipien für leise Propeller entwickeln. Zu diesem Zweck sollen charakteristische Strömungsparameter in numerischen Simulationen (RANS) sowie mit vorhandenen auf der Potentialtheorie basierenden Entwurfswerkzeugen identifiziert und für den Entwurfsprozess nutzbar gemacht werden.

Fachgebiet: HB – Maritime Technologien
Wirtschaftszweig: 50 – Schifffahrt | 30 – sonstiger Fahrzeugbau (Schiffbau)

2. Wirtschaftliche Relevanz für KMU

2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Kavitierende Propeller sind vielfach als Hauptverursacher der Unterwasserschallemissionen der weltweiten Schifffahrt bestätigt worden [1]. Jedoch basieren bisherige Ansätze zur Schallreduktion auf Maßnahmen, die im Allgemeinen mit signifikanten Wirkungsgradeinbußen einhergehen. Gleichzeitig fehlen verlässliche Prognosemethoden, die das Schalldruckspektrum über die Blattfrequenz hinaus verlässlich vorhersagen. Die derzeitigen Ansätze sind zu wenig validiert bzw. zu aufwändig, um sie über Projekte mit besonders hohen, betriebsbedingten Anforderungen hinaus in die Entwurfsroutinen einzubeziehen. Es fehlen zudem Werkzeuge, die die Schallentstehung gezielt reduzieren helfen. Es ist bisher nicht möglich, den Geräuschpegel eines kavitierenden Propellers mit einer hinreichenden Genauigkeit zu prognostizieren [2].
Aktuelle Untersuchungen erlauben jedoch ein tieferes Verständnis der geräuscherzeugenden Mechanismen, insbesondere im vorrangig problematischen tiefen Frequenzbereich [3] und deuten auf Ansätze hin, die sowohl für die Prognose als auch für die Schallreduktion ohne erhebliche Effizienzeinbußen durch die Gestaltung des Kavitationsverhaltens deutliche Fortschritte erwarten lassen. Das Vorhaben will diese industriell nutzbar machen.

2.2 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

Der wachsende Bedarf zur Verfügbarkeit zuverlässiger Verfahren zur Prognose des Propellerschalls rührt seitens maritimer Unternehmen (Werften, Propellerhersteller, Reedereien) daher, dass aufgrund der nachgewiesenen negativen Auswirkungen auf Meeressäuger die Festlegung von Grenzwerten bevorsteht [4]. Zwar existieren derzeit noch keine verbindlichen Vorgaben zur Schallreduktion, allerdings sind auch keine Methoden verfügbar, die verlässlich die Einhaltung solcher Grenzwerte erlauben würden. Durch ein Gestaltungs- und Prognosewerkzeug, das bei nur geringem Mehraufwand in bisherige Abläufe integriert werden kann, werden Propellerhersteller und damit Werften bzw. deren Kunden in die Lage versetzt, den derzeit auf Freiwilligkeit basierenden und absehbar zukünftig verbindlichen Vorgaben zu entsprechen. Im internationalen Markt des Schiffbaus und der Seeschifffahrt stellt dies einen signifikanten Marktvorteil dar.

Leise Propeller sind damit nicht länger eine Besonderheit für spezielle Anwendungen (Forschungsschiffe, Marine, Yachten), sondern können dank gleichzeitiger Effizienzwahrung zu einer nachhaltigeren Handelsschifffahrt beitragen, wodurch Klimaschutz und Artenschutz parallel verfolgt werden können statt gegeneinander abgewogen zu werden. Die Industrie wird so für kommende Anforderungen ertüchtigt statt von diesen eingeschränkt zu werden.

3. Wissenschaftlich-technischer Ansatz

3.1 Stand der Forschung und Entwicklung

Die entlang der weltweiten Schifffahrtsrouten auftretenden, zunehmenden Schallemissionen unter Wasser gehen vorrangig auf kavitierende Propeller von Handelsschiffen zurück und geraten zunehmend in den Fokus von Reedereien und Behörden [5]. Der sog. Schichtkavitation wird als häufigster und mit hohen Schallpegeln assoziierter Kavitationsform ein dominierender Einfluss auf den tieffrequenten Bereich des Spektrums zugeordnet, während die oft begleitend auftretende Spitzenwirbelkavitation für höherfrequente Beiträge sorgt [6]. Aktuelle Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Interaktion beider Kavitationsformen ein wesentlicher Treiber der häufigen Überschreitung geplanter Grenzkurven (IMO) im Bereich von 50 Hz durch die derzeitigen Handelsschiffe ist [7].

Zuverlässige Prognoseverfahren sind die Voraussetzung dafür, Propeller während des Schiffsentwurfs oder im Zuge von Nachrüstungen nicht nur unter Gesichtspunkten der Energieeffizienz, sondern auch im Hinblick auf Schallabstrahlung ins Wasser und an Bord auslegen zu können. Es ist bisher nicht möglich, einen Propeller gezielt so zu gestalten, dass er zuverlässig einen gegebenen Geräuschpegel nicht überschreitet [2], aber ein Vergleich verschiedenen Schiffe mit verschiedenen Propellern beweist, dass akzeptable Pegel möglich sind [8].

Derzeit basieren entsprechende Prognosen auf Modellversuchen, deren Übertragbarkeit auf die Großausführung naturgemäß begrenzt ist [9], und / oder auf numerischen Strömungssimulationen, die für Harmonische der Blattfrequenz gute Übereinstimmungen erzielen, aber aufgrund des für eine annehmbare Genauigkeit erforderlichen Rechenaufwands nicht routinemäßig eingesetzt werden können. Zudem bedarf es weiterer Validierung zum Nachweis der Zuverlässigkeit.

Aktuelle Einblicke in die industrielle Praxis zeigen, dass die derzeitige Strategie zur Schallreduktion die Reduzierung des maximal auftretenden Kavitationsvolumens ist, die erhebliche Einbußen in der Effizienz des betreffenden Propellers mit sich bringen kann, ohne dass die angestrebte Schallreduktion sicher erreicht werden kann [10]. Benötigt werden daher praxistaugliche Methoden, um damit die gezielte Senkung von Schallemissionen routinemäßig in den Propellerentwurf zu integrieren und so den aktuellen Anforderungen und zukünftigen Grenzwerten zu entsprechen, ohne dabei – wie oft angenommen – Einbußen in der Energieeffizienz verbunden mit großen Margen aufgrund der Prognoseunsicherheit zu akzeptieren. Es gibt bisher weltweit kein zuverlässiges Verfahren, mit dem gezielt die Lärmabstrahlung eines kavitierenden Propellers prognostizieren oder sogar einen Propeller gezielt mit vorhersagbarem Ergebnis in diese Richtung entworfen werden kann [2].

3.2 Arbeitshypothese

Die in inhomogener Anströmung, also im Nachstromfeld des Rumpfes, fluktuierend auftretende Kavitationsblase wird akustisch als Monopolquelle aufgefasst [1]. Folglich wird der abgestrahlte Schalldruck proportional von der Krümmung des Volumenverlaufes über die Zeit bestimmt. Diese ist anstelle der bisher im Fokus stehenden Volumenamplitude, d.h. der absoluten Größe der Kavitationsblase, Ansatzpunkt sowohl für die Prognose als auch für die Reduzierung der Schallemissionen [11]. Hier kommt dem Zusammenbruch der Schichtkavitation verbunden mit dem für Handelsschiffpropeller typischen Übergang von der Schicht- zur Spitzenwirbelkavitation beim Austritt des Propellerblatts aus der sog. Nachstromdelle eine zentrale Rolle zu. Im Zuge des Vorhabens sollen charakteristische Strömungsgrößen wie z.B. die Auftriebsverteilung sowie Druck- und Geschwindigkeitsgradienten identifiziert werden, die diesen Übergang bestimmend beeinflussen. Diese auch in Werkzeugen zu erfassen und auswertbar zu machen, die auf der Potentialtheorie basieren und mit erheblich weniger numerischen Aufwand im Propellerentwurf eingesetzt werden können, erlaubt die Gestaltung des Kavitationsverlaufs und der damit verbundenen Schallemissionen. Parametrische Variationen der Blattgeometrie sollen zudem ein detaillierteres Verständnis zur gezielten Beeinflussung der identifizierten Strömungsgrößen ermöglichen. Mit diesen Werkzeugen kann auch die Propellerblattgeometrie für eine reduzierte Geräuschabstrahlung gestaltet werden.

4. Lösungsweg

4.1 Bearbeitungsschritte und Personaleinsatz

- *Ressourcen des Instituts für Schiffbau und Maritime Technik: Kavitationstunnel für Modellpropeller, betreut durch Laborpersonal, HPC-Cluster zur Nutzung numerischer Simulationsverfahren. Die Bearbeitung erfolgt hauptsächlich durch wissenschaftliche Mitarbeiter betreut durch Prof. Dr.-Ing. Jörn Kröger.*
- *Arbeitspakete*
  - *(1) Stand der Technik, Auswahl von Entwurfswerkzeug / Software sowie Festlegung von Propellergeometrie inkl. Parametervariation und Matrix für Betriebspunkte*
  - *(2) Erstellung von parametrischem CAD-Modell, Auswahl und Erprobung numerischer Methoden in der OpenFOAM-Umgebung. Erprobung des Entwurfswerkzeugs auf Parameter-Sensitivität, Erarbeitung von Auswertungsstrategien.*
  - *(3) Versuchsaufbau inkl. inhomogener Anströmung sowie akustischer und optischer Sensorik im Kavitationstunnel. Durchführung der Versuche gemäß (1) mit Überprüfung der Datenqualität und Reproduzierbarkeit.*
  - *(4) Numerische Simulationen in OpenFOAM und dem Entwurfswerkzeug: Gitterstudien, Nachstrom-Modellierung, Ermittlung von Kavitationsvolumina und Strömungsgrößen, Rückkopplung zu Ergebnissen aus (3)*
  - *(5) Auswertung der Messdaten: Optische und akustische Quantifizierung des Kavitationsumfangs, Analyse des Schalldrucks im Zeit- und Frequenzbereich*
  - *(6) Systematische Gegenüberstellung von numerischen und experimentellen Ergebnissen: Einordnung der anhand von Potentialverfahren gewonnenen Daten und zugehörigen RANS-Ergebnissen, Validierung unter Nutzung von experimentell gewonnenen Daten*
  - *(7) Ableitung von Mechanismen und Korrelationen zur Übertragung auf den Propellerentwurf. Erarbeitung Gestaltungsprinzipien und Prozessschritten für den Entwurf leiser Propeller. Dokumentation und Kommunikation an die Fachwelt.*

4.2 Arbeitsdiagramm

Das Personal wird kontinuierlich für die geplanten Arbeitsschritte eingesetzt und vom zuständigen Laborpersonal unterstützt.

		2026				2027			
AP	Inhalt	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
(1)	Stand der Technik, Werkzeuge								
(2)	CAD, Vorbereitung RANS								
(3)	Kavitationsversuche								
(4)	RANS-Simulation								
(5)	Auswertung der Messdaten								
(6)	Gegenüberstellung num. / exp. Ergebnisse								
(7)	Entwurfsprozess, Dokumentation								

5. Umsetzbarkeit und Transfer der Ergebnisse

5.1 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse **nach** Projektende

Das Vorhaben hat die Erweiterung bzw. Ertüchtigung vorhandener Entwurfswerkzeuge zum Ziel. Damit sind die unter Nutzung und Erweiterung dieser Werkzeuge entwickelten Methoden nach Projektende direkt industriell nutzbar, nicht nur in dem stellvertretend angewendeten Werkzeug. Darüber hinaus werden durch enge Einbeziehung der beteiligten Unternehmen die entwickelten Methoden und Verfahren so konzipiert, dass sie sich mit begrenztem Aufwand in den schon praktizierten Entwurfsprozess einbetten lassen. So wird der Industrie die frühzeitige Berücksichtigung der Schallemissionen mit Blick auf freiwillige oder vorgeschriebene Verpflichtungen ermöglicht.

5.2 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Seitens der Forschungseinrichtung sind durch Austausch und Kooperation zahlreiche Kontakte zu Unternehmen aufgebaut worden, die direkt oder indirekt mit dem Thema Propellerschall befasst sind. Im Rahmen der laufenden Forschung erarbeitete Erkenntnisse werden regelmäßig auf Fachtagungen, z.B. der Schiffbautechnischen Gesellschaft, vorgestellt und Rückmeldungen der Unternehmen eingeholt. Diese Unternehmen sind eingeladen, im Projektbegleitenden Ausschuss mitzuwirken. Doch auch unabhängig von der Beteiligung werden die vorhandenen Kontakte und Plattformen genutzt, um die Ergebnisse des Vorhabens zur Anwendung in der Wirtschaft zu bringen. Zu diesem Zweck sollen die entwickelnden Methoden praxisorientiert aufbereitet werden, damit sie in den jeweiligen Betriebsablauf integriert werden können.

6. Durchführende Forschungseinrichtung

Forschung- und Entwicklungszentrum FH Kiel GmbH (Fachhochschule Kiel, Institut für Schiffbau)

- *Leitung: Björn Lehmann-Matthaei*
- *Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Jörn Kröger*
- *Projektbearbeitung: Leonie Föhring sowie NN*
- *Kontakt: Leonie.foehring@fh-kiel.de sowie christine.nuernberg@fh-kiel-gmbh.de*

7. Literaturverzeichnis

1. The Specialist Committee on Cavitation Induced Pressure Fluctuation. Final Report and Recommendations to the 22nd ITTC. In: *22nd International Towing Tank Conference,* Seoul / Shanghai, 1999.
2. Krasilnikov V, Savio L, Koushan K et al. Towards Reliable Prediction of Propeller Noise: Challenges and Findings of the Project ProNoVi. In: *Proceedings of the seventh International Symposium on Marine Propulsors,* Wuxi, China, 2022, Trondheim.
3. Föhring LS, Juhl PM, Wittekind DK. On the Influence of Cavitation Volume Variations on Propeller Broadband Noise. *JMSE* 2022;10(12):1946.
4. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. *Runder Tisch Unterwasserlärm und Schifffahrt 2024: Protokoll.* Hamburg, 2024.
5. Terweij R. *Ship Efficiency and Underwater Radiated Noise.* Ottawa, Canada: Vard Marine Inc., 2023. (545-000-01).
6. Abrahamsen K. The ship as an underwater noise source. In: *Proceedings of the 11th European Conference on Underwater Acoustics,* Edinburgh, Scotland, 2012, p.70058.
7. Schuster M, Daniel JM, Wittekind DK et al. Future requirements for ships to limit underwater noise in the oceans. In: *116th Congress of the German Society for Maritime Technology,* Hamburg, 2022, Hamburg.
8. Maquil T. Underwater Radiated Noise of Ship Propellers. Presented at the HSVA-Webinar, online, June 1, 2023.
9. Tani G, Viviani M, Felli M et al. Noise measurements of a cavitating propeller in different facilities: Results of the round robin test programme. *Ocean Engineering* 2020;213:107599.
10. Mueller A, Maquil T. *Inventory of measures to mitigate anthropogenic underwater noise: Shipping.* Hamburg: Federal Maritime and Hydrographic Agency, 2024. (M173483/03).
11. Föhring LS, Juhl PM, Wittekind DK. Cavitation volume behaviour derived from full-scale pressure fluctuations. *Ships and Offshore Structures* 2022;18(4):541–9.

8. Geplante Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)

Unternehmen (Name, Sitz)	Ansprechpartner/-in (Vor- u. Nachname)	Kompetenz	Interesse PA	* KMU	** FSM-Mitglied
JASCO Applied Sciences (Europe) GmbH, Schwentinental	*Thomas Büchler*	*Schiffsakustik*	*ja*	*ja*	*nein*
Mecklenburger Metallguss GmbH, Waren a. d. Müritz	*Lutz Kleinsorge*	*Propellerentwurf und -fertigung*	*angefragt*	*nein*	*nein*
Otto Piening GmbH, Glückstadt	*Tobias Kranz*	*Propellerentwurf und -fertigung*	*angefragt*	*ja*	*nein*
Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG, Bremen-Vegesack	*Bernhard Urban*	*Schiffbau*	*angefragt*	*nein*	*ja*
MTG Marinetechnik GmbH	*Ingo Müller*	*Schiffsakustik*	*angefragt*	*ja*	*ja*

SDC Ship Design & Consult GmbH, Hamburg	*Harald Jensen*	*Schiffbau*	*angefragt*	*ja*	*ja*
Schaffrank Propeller + Service GmbH, Lübeck	*Stefan Lange*	*Propellerentwurf und -fertigung*	*angefragt*	*ja*	*nein*
Müller-BBM Industry Solutions GmbH, Hamburg	*Thierry Maquil*	*Schiffsakustik*	*angefragt*	*ja*	*nein*
Meyer Werft GmbH	*Christian Windels*	*Schiffbau*	*angefragt*	*nein*	*ja*

* Die Kategorie der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) setzt sich aus Unternehmen zusammen, die weniger als 250 Personen beschäftigen und die entweder einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. EUR erzielen oder deren Jahresbilanzsumme sich auf höchstens 43 Mio. EUR beläuft (EU-Kriterien)

Bei Antragstellung beim DLR-PT gilt:
Der Projektbegleitende Ausschuss besteht aus mindestens drei Vertretern der Wirtschaft. Dem Projektbegleitenden Ausschuss sollen mindestens drei KMU angehören. Bei mehr als sechs Mitgliedern erhöht sich die Mindestzahl auf vier, bei mehr als acht Mitgliedern auf fünf, bei mehr als elf Mitgliedern auf sechs, bei mehr als vierzehn Mitgliedern auf sieben KMU.

** Bei Antragseinreichung beim DLR-PT (Phase 1) sollen > 75% der großen Unternehmen im PA FSM-Mitglied sein. Der Verein, dessen Hauptzweck die Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung im Bereich Schiffbau und Meerestechnik ist, wird ausschließlich durch Mitgliedsbeiträge finanziert.

9. Laufzeit und Beantragte Zuwendung (bZ)

Maximale Laufzeit 36 Monate. Für eine Laufzeit > 30 Monate ist eine Begründung notwendig

Obergrenze der beantragungsfähigen Zuwendung je Forschungseinrichtung (FE)

- Bei einer beteiligten FE: FE1: 275.000 EUR
- Bei zwei beteiligten FE: FE1: 275.000 EUR FE2: 250.000 EUR (oder umgekehrt)
- Bei drei beteiligten FE: FE1: 250.000 EUR FE2: 250.000 EUR FE3: 250.000 EUR

Bei A.1, A.2 und A.3 handelt es sich um IGF-Bruttoentgelt.

Laufzeit in Monaten: 24 Monate

Beantragte Zuwendung (bZ) FE 1 in EUR

Beantragte Zuwendung (bZ)	1. Jahr	2. Jahr	ggf. 3. Jahr	Summe
A.1 Bruttoentgelte für wiss.-techn. Personal	75.840,00	75.840,00		151.680,00
A.2 Bruttoentgelte für übriges Fachpersonal				0,00
A.3 Bruttoentgelte für Hilfskräfte				0,00
A.4 Pauschale für Personalausgaben (6 %)	4.550,40	4.550,40	0,00	9.100,80
B. Ausgaben für Gerätebeschaffung	68.000,00			68.000,00
C. Ausgaben für Leistungen Dritter				0,00
D. Pauschale für Sonstige Ausgaben (20 %)	29.678,08	16.078,08	0,00	45.756,16
Summe der bZ	178.068,48	96.468,48	0,00	**274.536,96**

Bitte senden Sie die Skizze bis **Freitag, 28. Februar 2025, 23:00 Uhr (Frist!)**
als **Word-Dokument** und **PDF** an doerrie@fsm-net.org