



Schlussbericht

MariData.HEI – Handlungsintegrierte Entscheidungsunterstützung durch nutzerzentrierte Energie-Interfaces

Benjamin Schwarz · Mourad Zoubir · Jan Heidinger
Hans-Christian Jetter · Thomas Franke

Projektzeitraum: 1. Dezember 2020 – 31. Mai 2024



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK
INSTITUT FÜR MULTIMEDIALE
UND INTERAKTIVE SYSTEME

Benjamin Schwarz, Mourad Zoubir, Jan Heidinger, Hans-Christian Jetter, Thomas Franke

Schlussbericht

MariData.HEI – Handlungsintegrierte Ent- scheidungsunterstützung durch nutzerzentrierte Energie-Interfaces



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK
INSTITUT FÜR MULTIMEDIALE
UND INTERAKTIVE SYSTEME

Bibliografische Information der Technischen Informationsbibliothek

Die Technische Informationsbibliothek verzeichnet diese Publikation im Katalog deutscher Forschungsberichte in der TIB. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://www.tib.eu> abrufbar.

Zitation

Schwarz, B., Zoubir, M., Heidinger, J., Jetter, H.-C., & Franke, T. (2024). *MariData.HEI – Handlungsintegrierte Entscheidungsunterstützung durch nutzerzentrierte Energie-Interfaces* [Schlussbericht]. Universität zu Lübeck.

Gefördert wurde das Forschungsprojekt „Handlungsintegrierte Entscheidungsunterstützung durch nutzerzentrierte Energie-Interfaces“ (MariData.HEI) als Teilprojekt des Verbundprojekts „MariData – Umfassende Technologien für das Energiemanagement von Schiffen“ vom 01.12.2020 bis 31.05.2024 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Fördermaßnahme „Maritimes Forschungsprogramm“.

(Förderkennzeichen: 03SX528H)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Diese Publikation wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den*die ursprünglichen Autor*innen und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>). Von dieser Lizenz ausgenommen sind die in der Publikation enthaltenen Illustrationen und Bilder. Für die Weiterverwendungen dieses Materials ist die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzbericht.....	1
Aufgabenstellung.....	1
Wissenschaftlicher Stand	1
Zusammenarbeit	3
II. Eingehende Darstellung	4
Verwendung der Zuwendung und Ergebnisdarstellung mit Gegenüberstellung vorgegebener Ziele	4
Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	7
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	8
Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	8
Fortschritte bei anderen Stellen	8
Veröffentlichungen der Ergebnisse	8
Literaturverzeichnis	31

I. Kurzbericht

Aufgabenstellung

Die Aufgabe des MariData.HEI Projekts bestand darin, die Möglichkeiten im Kontext der Mensch-Technik-Interaktion im Energiemanagement auf Schiffen zu analysieren und ein prototypisches Entscheidungsunterstützungssystem zu entwickeln, das dieses Potenzial bestmöglich ausschöpft, indem kognitive und motivationale Nutzerfaktoren optimal adressiert werden. Im Laufe des Projektes verschob sich die Gewichtung der Aufgaben von der Analyse und dem Design des Prototypen hin zur Implementierung des gesamten Frontends.

Das Projekt fand insgesamt unter herausfordernden Voraussetzungen statt. Vor allem die COVID-19-Pandemie verhinderte oder verzögerte einige Arbeitsschritte, wie z.B. Beobachtungen an Bord von Schiffen und die Installation von Sensoren. Die Zusammensetzung des stark interdisziplinären Konsortiums war ebenfalls herausfordernd, aber letztendlich sehr gewinnbringend und bereichernd.

Insgesamt konnte ein Großteil des zeitlichen und finanziellen Plans eingehalten werden. Allerdings waren im Laufe des Projektes Anpassungen und eine Projektverlängerung notwendig, um auf die beschriebenen Herausforderungen zu reagieren. Beispielsweise wurden zusätzliche Ressourcen für die Implementierung des MariData-Systems benötigt. Wie vorgesehen, konnten zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht werden. Diese umfassen eine genaue Analyse der vorhandenen Literatur und des Arbeitskontextes an Bord. Zudem wurde ein prototypisches Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt und dessen Integration in einer Simulationsumgebung demonstriert. Darüber hinaus entstanden im Rahmen eines menschenzentrierten Entwicklungsprozesses weitere Designansätze und Guidelines, die die Grundlage für zukünftige Entwicklungen und Anwendungen bilden können.

Wissenschaftlicher Stand

Trotz politischer und technischer Maßnahmen wie MARPOL Annex VI und SEEMP zur Reduzierung von CO₂-Emissionen im Schifffahrtssektor wurden die erwarteten Emissionsreduktionen wiederholt nicht erreicht (Acciaro, Hoffmann & Eide, 2013; Johnson & Andersson, 2016). Operative Maßnahmen zur Energieeffizienz wie Trim-Optimierung und Slow-Steaming („langsames Fahren“; s. Balcombe et al., 2019; Faber et al., 2011) stoßen oft auf wirtschaftliche und organisatorische Zielkonflikte (Rehmatulla & Smith, 2015; Poulsen et al., 2022). Zzgl. spielen Schiffsbesatzungen eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung Energieeffizienz Maßnahmen spielen, da sie operative Maßnahmen unmittelbar umsetzen müssen (Rasmussen, Lützen & Jensen, 2018).

Zugleich ist die Forschung zu Human Factors in maritimen Entscheidungsprozessen begrenzt. Frühe Studien (z.B. Poulsen et al., 2019; Zoubir et al., 2023) zeigen auf, dass viele weitere Herausforderungen wie Arbeitsbelastung und Ermüdung die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen am Bord besonders erschweren. Diese Studien zeigen auch, dass Zielkonflikte durch den Einfluss externe Interessenvertreter (z.B. Reederei, Charterer, Behörden) die intrinsische Motivation, Energieeffizienz nachzugehen, gefährden können.

Technologische Hilfsmittel, wie Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) bei der Routenplanung, könnten die Erreichung von Klimazielen fördern. Beispielsweise könnten Systeme die Belastung durch Energieeffizienz-Maßnahmen reduzieren, indem sie z.B. komplexe Berechnungen übernehmen oder Lösungen für Zielkonflikte finden (Besikci et al., 2016). Allerdings zeigen vorherige Arbeiten, dass technische Systeme schnell abgelehnt werden, sofern diese die Arbeitsrealität der Seeleute nicht berücksichtigen (Viktorelius, 2020).

Insofern ist ein umfassendes Verständnis der Interaktion zwischen Technologie und Seeleute entscheidend, um das Potenzial von DSS zu maximieren. Auch Viktorelius et al. (2019) und andere betonen die Bedeutung eines nutzerzentrierten Designs, das die Bedürfnisse und operativen Realitäten der Besatzung berücksichtigt. Hierzu können klassische Mensch-Technik Metriken wie Gebrauchstauglichkeit herangezogen werden. Um die Auswirkung von Systemen auf intrinsische Motivation zu erfassen, eignen sich einschlägige psychologische Konstrukte, wie die Selbstbestimmungstheorie (SDT), um z.B. Bedürfnisse nach Autonomie zu adressieren (Ryan & Deci, 2000; Savolainen & Ruckenstein., 2022), die durch Zielkonflikte eingeschränkt sind.

Literaturverzeichnis

1. Acciaro, M., Hoffmann, P., & Eide, M. (2013). The energy efficiency gap in maritime transport. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 3(1–2).
2. Balcombe, P., et al. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, 182, 72–88.
<https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2018.12.080>
3. Ballou, P. J. (2013). Ship Energy Efficiency Management Requires a Total Solution Approach. *Marine Technology Society Journal*, 47(1), 83–95. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.47.1.5>
4. Beşikçi, E. B., Kececi, T., Arslan, O., & Turan, O. (2016). An application of fuzzy-AHP to ship operational energy efficiency measures. *Ocean Engineering*, 121, 392–402.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.05.031>
5. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77–101.
6. Faber, J., Wang, H., Nelissen, D., Russell, B., & St Amand, D. (2011). Marginal abatement costs and cost effectiveness of energy-efficiency measures. London: Institute of Marine Engineering, Science, and Technology.
7. Hansen, E. K., Rasmussen, H. B., & Lützen, M. (2020). Making shipping more carbon-friendly? Exploring ship energy efficiency management plans in legislation and practice. *Energy Research & Social Science*, 65, 101459. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101459>
8. Johnson, H., & Andersson, K. (2016). Barriers to energy efficiency in shipping. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 15(1), 79–96. <https://doi.org/10.1007/s13437-014-0071-z>
9. Lützen, M., Mikkelsen, L. L., Jensen, S., & Rasmussen, H. B. (2017). Energy efficiency of working vessels – A framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.146>
10. Poulsen, R. T., Viktorelius, M., Varvne, H., Rasmussen, H. B., & von Knorring, H. (2022). Energy efficiency in ship operations - Exploring voyage decisions and decision-makers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103120. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103120>
11. Rasmussen, H. B., Lützen, M., & Jensen, S. (2018). Energy efficiency at sea: Knowledge, communication, and situational awareness at offshore oil supply and wind turbine vessels. *Energy Research & Social Science*, 44, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.039>
12. Rehmatulla, N., & Smith, T. (2015). Barriers to energy efficient and low carbon shipping. *Ocean Engineering*, 110, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.09.030>
13. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
14. Viktorelius, M. (2020). Adoption and use of energy-monitoring technology in ship officers' communities of practice. *Cognition, Technology & Work*, 22(3), 459–471. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00578-z>
15. Viktorelius, M., & Lundh, M. (2019). Energy efficiency at sea: An activity theoretical perspective on operational energy efficiency in maritime transport. *Energy Research & Social Science*, 52, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.01.021>
16. Man, Y., Sturm, T., Lundh, M., & MacKinnon, S. N. (2020). From Ethnographic Research to Big Data Analytics—A Case of Maritime Energy-Efficiency Optimization. *Applied Sciences*, 10(6), 2134. <https://doi.org/10.3390/app10062134>
17. Savolainen, L., & Ruckenstein, M. (2022). Dimensions of autonomy in human–algorithm relations. *New Media & Society*, 14614448221100802. <https://doi.org/10.1177/14614448221100802>

Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit im Konsortium war trotz der Herausforderungen interdisziplinärer Arbeit erfolgreich. Insbesondere für Evaluationsstudien im Simulator wurde eng mit dem Maritimen Zentrum an der Hochschule Flensburg zusammengearbeitet. Mit den Partnern 52°North, AVL Software & Functions und AVL Deutschland wurde der Prototyp in enger Zusammenarbeit entwickelt.

Darüber hinaus fanden regelmäßig Gespräche mit anderen Konsortialpartnern statt, um beispielsweise die zugrunde liegenden Algorithmen besser zu verstehen oder für die gemeinsame Publikationsarbeit. Diese intensive Kooperation trug maßgeblich zum Erfolg des Projekts bei und ermöglichte eine umfassende Integration der verschiedenen Expertisen und Perspektiven.

II. Eingehende Darstellung

Verwendung der Zuwendung und Ergebnisdarstellung mit Gegenüberstellung vorgegebener Ziele

Rahmenmodell

Das Ziel der Entwicklung eines psychologisch fundierten Rahmenmodells für die Entwicklung des MariData-DSS konnten im Rahmen des Projektes vor allem durch Personalmittel und die Arbeit von wissenschaftlichen Mitarbeitern und Hilfskräften aus der Psychologie erreicht werden. Durch eine umfassende Kontextanalyse auf Basis systematischen Literaturrecherchen und qualitativen Interviews mit erfahrenen Nautiker:innen wurde ein fundiertes Rahmenmodell geschaffen, das psychologische Erfolgsfaktoren identifiziert und in praxisnahe Design-Guidelines überführt. Dieses Modell bietet eine solide Grundlage für die weitere Entwicklung und Implementierung gebrauchstauglicher Entscheidungsunterstützungstechnologien in der Schifffahrt.

Zentrale psychologische Modelle und Theorien, die in diesem Rahmenmodell Anwendung fanden, umfassen die psychologischen Grundbedürfnisse nach der Self Determination Theory (Ryan & Deci, 2020) zur intrinsischen Motivation, Konzepte zu Vertrauen und Transparenz in der Interaktion mit technischen Systemen (Hoff & Bashir, 2015), und speziell KI Algorithmen (Savolainen & Ruckenstein, 2022). Alle sind für die Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Entscheidungsunterstützungstechnologien in der Schifffahrt entscheidend.

Das Rahmenmodell wurden in Simulator- und Online-Studien validiert (s. Abschnitt Veröffentlichungen). Diese empirischen Untersuchungen haben gezeigt, dass es eine bemerkenswerte Interaktion zwischen der Wahrnehmung von Transparenz und dem Empfinden von Autonomie gibt. Diese Erkenntnis ist besonders wichtig für die Gestaltung von Automatisierungstechnologien in maritimen Arbeitsumfeldern, da sie direkt Einfluss auf die Nutzerakzeptanz und -motivation hat. Insgesamt lässt sich sagen, dass Designkonventionen, die eine Verschlinkung von Informationsdichte vorsehen, um Arbeitsbelastung zu reduzieren, bei der maritimen Routenplanung nicht ohne Weiteres übernommen werden können. Aufgrund des erhöhten Sicherheitsbedarfs muss ein sehr hoher Anteil an Information und Meta-Information (z.B. Datenquelle und -Aktualität) verfügbar sein. Ein Fehlen dieser Information kann zu verringerter intrinsischer Motivation (z.B. aufgrund fehlenden Möglichkeiten, autonom zu handeln oder Kompetenz zu erleben) oder erhöhter Beanspruchung (erhöhter Aufwand durch Systemüberprüfung) führen. Technische Systeme sind besonders hilfreich, wenn 1) sie diverse Datenquellen in Zusammenhang bringen können (z.B. durch die Überlagerungen von räumlichen Informationen sowie meteorologischen Daten), und 2) Systemvorschläge angepasst und verändern werden können, um eigene Erfahrungen (die z.T. nicht digitalisierte geographische Informationen) und Präferenzen einfließen zu lassen.

Unter anderem auf den Erkenntnissen aus dem Rahmenmodell basierend wurden interne Guidelines entwickelt und iterativ im Designprozess angewendet (siehe folgende Abschnitte). Diese Guidelines bieten konkrete Empfehlungen zur Gestaltung von Automatisierungstechnologien, die auf psychologischen Prinzipien basieren.

Design-Guidelines

Die Ziele des MariData-Projekts im Bezug auf Design-Guidelines konnten größtenteils erreicht werden. Die entwickelten Guidelines basieren neben den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Rahmenmodell auf einer detaillierten Analyse des Nutzungskontext und wurde durch die

Arbeit von wissenschaftlichen Mitarbeitern und Hilfskräften aus dem Bereich Design, Medieninformatik und Psychologie in disziplinübergreifender Arbeit ermöglicht.

Die Design-Guidelines wurden durch einen intensiven Co-Design-Prozess entwickelt, der mit einem angestellten Nautik-Studierenden und in enger Zusammenarbeit mit der Hochschule Flensburg durchgeführt wurde. Dieser Prozess wurde durch eine umfassende Aufgabenanalyse (HTA) unterstützt, die ein tiefes Verständnis des Kontexts und der Nutzeranforderungen ermöglichte. Zur Vertiefung des Verständnisses des Nutzungskontexts wurden darüber hinaus zahlreiche Interviews durchgeführt. Die geplanten strukturierte Beobachtungen an Bord konnten trotz intensiver Arbeit daran durch die COVID-19-Pandemie nicht durchgeführt werden. Dies wurde durch die oben erwähnten Methoden bestmöglich ausgeglichen.

Auf dieser Basis wurden folgende Design-Guidelines entwickelt:

1. Abstraktionsgrade (Ebenen 1,2,3): Verschiedene Abstraktionsgrade wurden getestet, um die Informationen in einer für die Nutzer verständlichen und nützlichen Weise zu präsentieren.
2. Geeignete Transparenz: Durch die Sicherstellung der Datenqualität und Nachvollziehbarkeit wurde die Transparenz erhöht.
3. Autonomie bewahren: Geeignete Automatisierungsstufen wurden eingeführt, um das Autonomieempfinden der Nutzer zu stärken.
4. Sortieren und Filtern von Vorschlägen: Anstelle eines einzigen Vorschlags wurden mehrere Optionen sortiert und gefiltert angeboten.
5. Bearbeitung der Vorschläge: Die Bearbeitung der Vorschläge zielte darauf ab, das Kompetenz- und Autonomieempfinden der Nutzer zu fördern.

Diese Guidelines sind somit das Ergebnis eines umfassenden, nutzerzentrierten Designprozesses, der qualitative und quantitative Analysen der Arbeitsprozesse umfasste. Die gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Lösungen tragen dazu bei, die Aufgabenangemessenheit, Erwartungskonformität und Selbstbeschreibungsfähigkeit der Interface-Elemente des prototypischen Interfaces zu verbessern und somit ein optimales Nutzererlebnis zu gewährleisten und bieten praktische Empfehlungen für die Gestaltung handlungsintegrierter und gebrauchstauglicher DSS in der Schifffahrt.

Prototypische Interface-Entwicklung

Die im Antrag gesetzten Ziele für die prototypische Interface-Entwicklung konnten aus unserer Sicht nicht nur erreicht, sondern sogar übertroffen werden, da über die geplanten Arbeiten hinaus Entwicklungsaufgaben unserer Projektpartner übernommen wurden. Diese Aufgabenverteilung führte dazu, über die ursprünglich geplanten Ziele (reine Frontend Entwicklung mit Fokus auf Design Aufgaben) hinauszugehen und zusätzliche Features zu implementieren. Dafür wurden vor allem Personalmittel für die Arbeit von wissenschaftlichen Mitarbeitern und Hilfskräften aus der Medieninformatik nötig.

Die Entwicklung erfolgte auf Basis der erarbeiteten Design-Guidelines und -Prototypen in einem agilen Prozess. Eine enge Zusammenarbeit der Partner im Gesamtprojekt war dabei entscheidend. Durch eine gemeinsame Anforderungsanalyse konnten die spezifischen Bedürfnisse und technischen Anforderungen aller Beteiligten integriert werden.

Einbindung mehrerer Datenquellen

Ein Beispiel für eine neue Aufgabe auf unserer Seite war die Einbindung mehrerer Datenquellen. Diese Aufgabe umfasste die Integration und Darstellung von Daten aus verschiedenen von den Partnern bereitgestellten Services:

1. Wetterdaten von 52°N
2. Routing Service von 52°N
3. AVL Gateway und Emulation
4. BlueTracker API

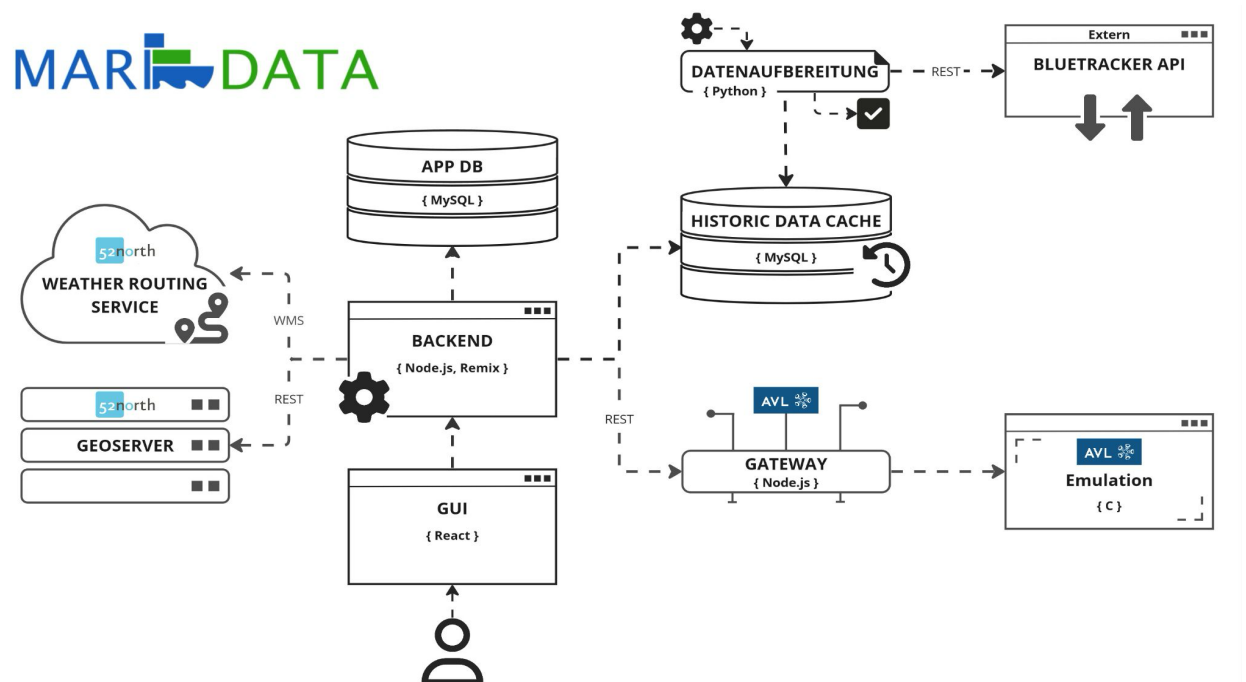
Diese Integration wurde erfolgreich umgesetzt und in den Prototypen integriert, wie in der Abschlusspräsentation zum Projekt an der Hochschule Flensburg demonstriert werden konnte.

Wie im Antrag beschrieben, wurde das Frontend bzw. die App als Prototyp und Demonstrator für das Verbundprojekt entwickelt. Das Frontend umfasste dabei eine grafische Benutzeroberfläche (GUI), Server-Code, eine Datenbank und die Integration mit den Services der Partner. Diese umfassende Entwicklung ermöglichte die Umsetzung eines funktionsfähigen Prototyps, der in der Abschlusspräsentation in seiner Funktionalität demonstriert werden konnte.

Das im Antrag gesetzte Ziel der Anwendung auf Schiffen konnte aus mehreren Gründen nicht erreicht werden:

- COVID-19 Komplikationen und Verzögerungen: Die Pandemie führte zu erheblichen Verzögerungen, insbesondere bei der Ausstattung der Schiffe mit notwendigen Sensoren.
- Reduzierung der Projektanteile eines Partners: Ein weiterer Faktor war die Reduzierung der Beiträge des Projektpartners, der primär für die Integration auf den Schiffen zuständig war.

Trotz dieser Herausforderungen konnten wir durch die enge Zusammenarbeit und den agilen Entwicklungsprozess wichtige Fortschritte erzielen und wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Entwicklungen gewinnen, indem intensiv der nautische Schiffsführungssimulator der Hochschule Flensburg genutzt wurde.



DIN EN 9241-210 & Handlungsintegration

Das Ziel, ein gebrauchstaugliches System gemäß der Norm DIN EN 9241-210 und der Handlungsintegration zu entwickeln und damit einen realen Effekt zu erzielen, konnte größtenteils erreicht werden. Der Entwicklungsprozess wurde gemäß des menschenzentrierten Designprozesses durchgeführt, wobei die iterative Vorgehensweise und regelmäßige Evaluierungen aus Nutzensicht entscheidende Kernpunkte bildeten. Dies ermöglichte eine kontinuierliche Verbesserung und Anpassung des Systems an die tatsächlichen Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer und weiterer Stakeholder.

Ein realer Effekt im Feld konnte nicht gezeigt werden, da – wie im vorherigen Abschnitt beschrieben – keine Integration auf realen Schiffen durchgeführt werden konnte. Trotz der fehlenden Feldintegration konnten Effekte auf Handlungsauswahl, Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz im Labor bzw. im realitätsnahen Simulator der Hochschule Flensburg in mehreren Studien nachgewiesen werden. Diese Studien zeigten, dass das entwickelte System unter kontrollierten Bedingungen positive Auswirkungen auf die Nutzererfahrung hat. Separat konnten die Algorithmen von den Projektpartnern validiert werden. Diese Validierungen bestätigen die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Algorithmen, was darauf hindeutet, dass sich bei einer tatsächlichen Nutzung des Systems ein realer Effekt einstellen sollte.

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Personalkosten

Die im Rahmen des Projektes angefallenen Kosten belaufen sich im Wesentlichen auf Beschäftigungsentgelte des wissenschaftlichen Personals, sowie zur Durchführung von wissenschaftlichen Studien:

- Wissenschaftliche Mitarbeiter:innen
- Studentische und Wissenschaftliche Hilfskräfte
- Studienteilnahme-Entgelte
- Mehrkosten durch Übernahme von Aufgaben in der Softwareentwicklung

Reisekosten

Außer den Reisekosten zur Teilnahme an Konsortialtreffen und zur Planung und Durchführung der Studien im nautischen Schiffsführungssimulator der Hochschule Flensburg, sind keine erwähnenswerten Reisekosten im Förderzeitraum angefallen.

Gegenstände und andere Investitionen

Zur Durchführung der Simulatorstudien wurden im Wesentlichen die Anlagen des Maritimen Zentrums der Hochschule Flensburg genutzt. Um eigenständige, flexibel stark integrierbare Prototypen in den Brückenumgebungen realisieren zu können, wurden leistungsfähige Tablets mit hochqualitativen Displays und flexiblen Eingabemöglichkeiten (u.a. natürliche Sprache, Stift, Touchgesten, Trackball + Tastatur) angeschafft.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten waren notwendig und angemessen, da – wie in den vorherigen Abschnitten dargestellt – die meisten der im Antrag gesetzten Ziele erreicht wurden. Die Arbeit in einem interdisziplinären Team aus Ingenieurpsychologie, Medieninformatik und Design war hierfür unerlässlich und konnte in dieser Form nur durch die bereitgestellten Mittel durchgeführt werden. Die erzielten Ergebnisse des Vorhabens und die bei der Projektbearbeitung gewonnenen Erkenntnisse bieten eine praxisnahe und menschenzentrierte Grundlage für zukünftige Arbeiten.

Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wie im Verwertungsplan vorgesehen, wurden die Ergebnisse bereits während der Projektlaufzeit durch Publikationen veröffentlicht (siehe Veröffentlichung der Ergebnisse). Darüber hinaus wurden und werden die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse in der Lehre genutzt, beispielsweise in mehreren Projekt- und Qualifikationsarbeiten. Das Design und der Prototyp werden zudem auf einer Transferwebseite für Interessierte veröffentlicht und bei Bedarf geteilt.

Der Aufbau einer Prototyping Test Bench zur Evaluation energiebezogener Anzeigen-Prototypen im Schiffskontext (Erweiterung des Fahrsimulators) hat sich im Laufe des Projekts als nicht umsetzbar herausgestellt. Stattdessen wurden mehr Ressourcen in die Entwicklung passender Methoden und die Evaluation im Simulator in Flensburg investiert. Diese Umstellung ermöglichte es, trotz der Einschränkungen, effektive und praxisrelevante Ergebnisse zu erzielen.

Fortschritte bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Vorhabens wurden durchgängig Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens recherchiert und bewertet. Zu erwähnen ist in dieser Hinsicht insbesondere das Projekt *OpenBridge* der *Arkitektur- og designhøgskolen i Oslo*, Norwegen (AHO) (s. MariData.HEI Zwischenbericht 4 vom 10.02.23). Dieses Projekt hat zum Ziel, eine Sammlung von Tools und Ansätzen zur Verbesserung der Implementierung, Gestaltung und Zulassung von maritimen Arbeitsplätzen und Ausrüstungen quelloffen bereitzustellen. Von Interesse ist hier insbesondere das *OpenBridge Design Guideline*, welche erklärt, wie OpenBridge-Benutzeroberflächen gestaltet werden. Dieses Projekt hat u.a. zum Ziel, die Heterogenität der Benutzeroberflächen auf einer Schiffsbrücke zugunsten einer einheitlichen, herstellerunabhängigen Gestaltung und Interaktion aufzuheben. Die Entwicklungen der Forschungsgruppe *Ocean Industries Concept Lab* wurden mit Interesse und in stetem Austausch auf Fachebene mit deren Projektbeteiligten im weiteren Förderzeitraum verfolgt und eine Zusammenarbeit/wechselseitige Berücksichtigung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse bzw. deren eingehende Prüfung erscheint aus unserer heutigen Sicht für zukünftige Projektvorhaben sinnvoll und angezeigt.

Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die Darstellung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses erfolgt mittels eines Teilkapitels je Veröffentlichung. Diese nachfolgenden Abschnitte folgen dabei jeweils dem Aufbau *Stand Wissenschaft und Technik, Zielsetzung, Methode, Ergebnisse, Schlussfolgerungen/Anwendungsmöglichkeiten*.

“We go fast - It’s their fuel”: Understanding energy efficiency operations on ships and marine vessels.

Veröffentlicht. Zitation: Zoubir, M., Gruner, M., & Franke, T. (2023). “We go fast - It’s their fuel”: Understanding energy efficiency operations on ships and marine vessels. *Energy Research & Social Science*, 97, Artikel 102992. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102992>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Regelungen wie das MARPOL Annex VI (IMO, 2011) und der Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) wurden eingeführt, um Umweltziele zu unterstützen. Der Carbon Intensity Indicator (CII) bewertet die Effizienz von Schiffen basierend auf den CO₂-Emissionen pro Ladungskapazität und Seemeile (IMO, 2018). Trotz dieser Regulierungen wurden wiederholt die erwarteten Emissionsreduktionen in der Schifffahrt noch nicht erreicht (Acciaro, Hoffmann & Eide, 2013; Johnson & Andersson, 2016).

Um dies besser nachzuvollziehen, können die Bedingungen am Bord betrachtet werden. Hier umfassen vorgeschlagene Maßnahmen zur Energieeffizienz Trim-Optimierung, langsames Fahren, Wartung von Rumpf und Propellern, Wetterrouting, Schonung von Hilfsmotoren und die Nutzung energieeffizienter Geräte (Balcombe et al., 2019; Faber et al., 2011). Viele dieser Maßnahmen stehen jedoch im Konflikt mit den Zielen einzelner Interessengruppen. Diese Hindernisse sind meist wirtschaftlicher und organisatorischer Natur (Rehmatulla & Smith, 2015; Poulsen et al., 2022), jedoch spielen auch die Besatzungen eine Schlüsselrolle (Rasmussen, Lützen & Jensen, 2018; Lützen et al., 2017; Hansen, Rasmussen & Lützen, 2020; Viktorelius & Lundh, 2019). Sie treffen operative Entscheidungen, z.B. bezüglich Route, Geschwindigkeit und Motoreinstellungen (Lützen et al., 2017). Diese Einflüsse werden z.B. in Ballous Ansatz deutlich, der Entscheidungsprozesse der Beteiligten im Schifffahrtssektor untersucht (Ballou, 2013).

Technische Systeme könnten die Seefahrer unterstützen, z.B. bei der energieeffizienten Routenplanung (Viktorelius, 2020). Viktorelius und Lundh (2019) argumentieren jedoch, dass ein mangelndes Verständnis der soziotechnischen Veränderungen an Bord die Einführung technischer Maßnahmen behindert. Es bestand daher ein Forschungsbedarf, um das Verhalten der Besatzungen in Bezug auf die Interaktionen mit externen Stakeholdern zu verstehen.

Zur Untersuchung dieser Bedürfnisse müssten relevante Entscheidungsfaktoren in komplexen Umgebungen analysiert werden. In der Psychologie umfassen Entscheidungsprozesse kognitive, emotionale und motivationale Komponenten. Zur Illustration: Studien zeigen, dass Seefahrer nicht immer vollständiges Wissen über Strategien besitzen und Frustration sowie Unsicherheit bei ihre Entscheidungen eine Rolle spielen (Viktorelius & Lundh, 2019). Weitere Forschung war nötig, um ein umfassendes Bild von Seeleuten zu erstellen.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Das Ziel dieser Studie war es, das Verständnis für die alltägliche Kognition, Emotionen und Motivation der Seeleute in Bezug auf energieeffizienten Operationen (EEO) zu erweitern und darüber hinaus Implikationen für zukünftige technische Systeme an Bord, insbesondere Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS), abzuleiten. Wir verwendeten einen mixed methods Ansatz, die es uns ermöglichten, sowohl reichhaltige qualitative Daten zu sammeln als auch ausgewählte Faktoren quantitativ zu untersuchen. Zu diesem Zweck führten wir in der ersten Studie (S1) qualitative Interviews mit Seeleuten ($N = 14$) an Bord eines Containerschiffs durch und analysierten diese mit der Thematischen Analyse (Braun & Clarke, 2006). In einer zweiten Studie (S2) zielten wir darauf ab, die Interviewergebnisse mit einer größeren Stichprobe

von Seeleuten zu evaluieren, die online rekrutiert wurden ($N = 74$), und entwickelten eine Umfrage basierend auf den in der Interviewstudie ermittelten Variablen, wobei wir uns besonders auf Motivation und wahrgenommene Einflussnahme konzentrierten.

Methode

Studie 1: Interviews an Bord

Mit Unterstützung einer deutschen Reederei führten wir Interviews mit der gesamten Besatzung eines mittelgroßen Containerschiffs durch, das Linienfahrten in der Nord- und Ostsee bedient. Die Crewmitglieder ($N = 14$) wurden während der Arbeitszeit an Bord interviewt und erhielten keine finanzielle Entschädigung.

Ein semi-strukturiertes Interviewleitfaden wurde entwickelt. Teilnehmer wurden gebeten, Situationen zu beschreiben, die sich am besten für EEO eignen, sowie ihre persönlichen Entscheidungsprozesse und Motivationen. Die qualitativen Daten wurden anhand der Thematischen Analyse ausgewertet. Mit einem induktiven, datengetriebenen Ansatz wurden Codes generiert, die dann in vier Themen konsolidiert, hierarchisch sortiert und um übergeordnete Themen gruppiert wurden.

Studie 2: Online-Umfrage

Zwei Quellen wurden genutzt, um Teilnehmer ($N = 74$) zu rekrutieren. Erstens wurden Studenten der nautischen Wissenschaften an der Hochschule Flensburg, Deutschland, mit vorheriger Seefahrtserfahrung eingeladen ($n = 17$). Zweitens wurden Teilnehmer online über Facebook und E-Mail-Verteiler von Crew-Agenturen rekrutiert ($n = 57$).

Eine Reihe von Items wurde aus den Interviewthemen in Studie 1 ("Wahrgenommener Einfluss" und "Motivation") abgeleitet. Teilnehmer schätzten den Einfluss von neun verschiedenen Stakeholdern auf EEO ein. Zudem bewerteten die Crewmitglieder vier motivierende und vier hindernde Faktoren für energieeffizientes Verhalten.

Ergebnisse

Studie 1: Interviews an Bord

Alle Befragten betonten die Bedeutung von Sicherheit und die Verantwortung für das Leben der Crew, die Umwelt, das Schiff und die Ladung. Die Arbeitsbelastung ist hoch, da die Besatzungsgrößen oft minimal gehalten werden und die Automatisierung nicht vollständig entlastet. Unsicherheit wurde häufig durch unvorhersehbare Ereignisse und Änderungen im Zeitplan verursacht, was die effektive Planung energieeffizienter Fahrten behinderte.

Drei Hauptstrategien für EEO wurden häufig erwähnt: Ausschalten von Lichtern und Geräten, Reduzierung der Geschwindigkeit und gute Wartung der Maschinen. Weitere Strategien umfassten effizientes Manövrieren, Nutzung von Hilfsmaschinen und Routenplanung. Die Besatzung sah oft den Einfluss von Charterern als Hindernis für EEO, da Entscheidungen zur Energieeffizienz häufig von Charterern und Reedereien getroffen werden.

Es gab Unklarheiten darüber, wer an Bord für EEO verantwortlich war, außer bei den ranghöchsten Offizieren, die die Verantwortung für Wartung und Navigation übernahmen. Die häufigste Motivation für EEO war die Unterstützung des Unternehmens, um dessen Fortbestand zu sichern. Umweltschutz wurde von der Hälfte der Teilnehmer als Motivation erwähnt. Sekundäre Vorteile von EEO waren weniger Arbeit und erhöhte Zuverlässigkeit durch regelmäßige Wartung, was die Betriebskosten senkte und die Sicherheit erhöhte.

Studie 2: Online-Umfrage

Einfluss auf EEO. Teilnehmer bewerteten den Einfluss ganzer Abteilungen als höher als den individuellen Einfluss oder den Einfluss der Crew während der Freizeit. Der Kapitän, die Charterer und die Reedereien wurden als besonders einflussreich auf EEO angesehen, deutlich mehr als Hafenbehörden oder Crewing-Agenturen. Interessanterweise wurden die Kapitäne als einflussreicher als die Reedereien bewertet.

Motivation und Hindernisse für EEO. Der stärkste Motivator war das Umweltbewusstsein. Demgegenüber wurden widersprüchliche Anweisungen und fehlendes Wissen als größte Hindernisse für EEO bewertet. Teilnehmer aus der Maschinenabteilung empfanden "fehlendes Wissen" weniger als Hindernis als die aus der Decksabteilung; die Hälfte dieser Teilnehmer bewertete diesen Faktor als "hindert mich überhaupt nicht".

Musteranalyse. Eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) wurde durchgeführt, um zugrunde liegende Muster der Motivation zu ermitteln. Drei Faktoren wurden extrahiert, die zusammen 65,7 % der Varianz erklärten.

Die drei Faktoren nach der Rotation waren:

1. Unternehmen & Umwelt: Motivationselemente im Zusammenhang mit dem Arbeitgeber und Umweltbedenken.
2. Stress: Hindernisse im Zusammenhang mit Sicherheitsbedenken, widersprüchlichen Anweisungen und Zeitdruck, die die Arbeitsbelastung erhöhen.
3. Expertise: Faktoren, die aus den individuellen Fähigkeiten als Seefahrer resultieren: Arbeitsreduzierung durch Wartung motiviert, während fehlendes Wissen hindert.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Strategien und Wissen. Die Ergebnisse von Studie 1 zeigen, dass die meisten Crewmitglieder ineffektive EEO-Strategien wie das Ausschalten von Lichtern nannten. Diese Strategien wurden hauptsächlich von Nicht-Offizieren erwähnt, während Offiziere eher von Geschwindigkeitsreduktion und ordnungsgemäßer Wartung sprachen. Dies deutet auf eine Wissenslücke hin. S2 betonte ebenfalls, dass fehlendes Wissen als Barriere für EEO wahrgenommen wird.

Aufgrund der hohen Komplexität von EEO sind Training und Technologie nötig, um Wissenslücken zu schließen. Technologie kann eine wertvolle Unterstützung sein, aber ein Tool, das nur Analysedaten präsentiert, reicht möglicherweise nicht aus. Effektiver wäre es, konkrete Vorschläge für energieeffiziente Maßnahmen zu bieten oder selbstgesteuertes Lernen zu fördern.

Motivation. Die PCA der motivierenden und hindernden Faktoren kann mit der Theorie der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (Kompetenz, Autonomie und Zugehörigkeit) in Verbindung gebracht werden. Die Erfüllung dieser Bedürfnisse ist mit erhöhter Leistung und intrinsischer Motivation verbunden.

Die Erfüllung psychologischer Bedürfnisse könnte Seeleute intrinsisch motivieren, EEO durchzuführen und technische Werkzeuge anzuwenden. Extrinsische Motivatoren, besonders von der Reederei, könnten dies ergänzen.

Wahrgenommener Einfluss. Externe Stakeholder wurden von der Crew als hinderlich wahrgenommen. Erhöhte Transparenz solcher Faktoren könnte helfen, Unsicherheiten zu verringern. Ein stärkerer interner Kontrollort wurde mit der Motivation für umweltfreundliches Verhalten verbunden, z.B. durch Wartungsmaßnahmen.

Ein DSS könnte alle zulässigen Routenoptionen vorschlagen und eine nachvollziehbare Aufzeichnung der Entscheidungen für das Onshore-Personal exportieren, was die Kommunikation

verbessern könnte. Weitere Forschung zur Wirkung von Systemvertrauen in technische Geräte an Bord und deren Einfluss auf das Vertrauen zu externen Stakeholdern ist nötig.

Charting the Course: Human Factors Research for Shipping Energy-Efficient Operations

Veröffentlicht. Zitation: Zoubir, M., Gruner, M., Schwarz, B., Heidinger, J., Jetter, H.-C., & Franke, T. (2023). Charting the Course: Human Factors Research for Shipping Energy-Efficient Operations. In T. Ahram & W. Karwowski (Hrsg.), *Application of Emerging Technologies* (Bd. 115, S. 403–412). AHFE Open Access. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004338>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Diese Veröffentlichung baut auf dem Stand von Wissenschaft und Technik der vorherigen Veröffentlichung auf, verfolgt jedoch den Ansatz einer systematischen Literaturübersicht.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Das Ziel dieser Veröffentlichung ist es, eine systematische Analyse der aktuellen Literatur zu maritimen Human Factors in Bezug auf die Energieeffizienz, die Schiffsbesatzungen betreffen, zu präsentieren, die Ergebnisse dieser Arbeiten zu analysieren und in der Diskussion Schlüsselpunkte für eine Forschungsagenda abzuleiten.

Methode

Das Ziel dieser Veröffentlichung war es, ein umfassendes Bild über die bisherige Literatur in diesem Themenfeld zu erstellen. Um die systematische Überprüfung durchzuführen, haben wir eine strukturierte Literatursuche nach früheren Arbeiten im Forschungsbereich über Google Scholar und ScienceDirect sowie eine Vorwärts-Rückwärts-Suche einbezogen. Unser Interesse galt der Erfahrung und dem Verhalten von Seeleuten, das durch die Bereiche „Human Factor OR Psychology“ abgedeckt wird.

Wir haben die Thematische Analyse (TA) angewendet, um die Ergebnisse aus der Perspektive der Energieeffizienz zu analysieren. Es wurde eine Unterscheidung zwischen dem Datenkorpus (gesamte Veröffentlichungen) und dem Datensatz für die Analyse getroffen, der sich nur auf Ergebnisse bezieht. Der Datensatz wurde induktiv und auf einer semantischen Ebene des offensichtlichen Bedeutungsgehalts kodiert, da wir an der expliziten Berichterstattung von Ergebnissen interessiert waren.

Ergebnisse

Nach der Analyse der Ergebnisse von 17 Artikeln aus der Perspektive der Energieeffizienz wurden 696 Textsegmente 35 Codes zugeordnet, die wiederum zwölf übergeordneten Themen zugeordnet wurden. Die meisten Codes wurden dem Thema Stakeholder ($n = 201$) zugeordnet, das Ergebnisse für Akteure an Land wie Charterer, Reedereien, Hafenbehörden oder andere nicht schiffsbezogene Organisationen beschreibt. Dieses Thema umfasste Ergebnisse zu Vorschriften (z.B. SEEMP oder EEOI), wirtschaftlichen Faktoren (z.B. Probleme zwischen Eigentümern und Charterern) oder Interessenkonflikten zwischen Land- und Schiffsbesatzungen.

Das Thema Wissen ($n = 153$) wurde in verschiedenen Formen untersucht, wie technisches Wissen, Erfahrungswissen, Bewusstsein oder unspezifiziertes Wissen. Im Gegensatz dazu wurde Lernen seltener kodiert ($n = 65$) und bezog sich entweder auf allgemeines Lernen oder formale Schulungen.

Die Implementierung von Technologie ($n = 137$) oder Operationen ($n = 130$) wurde häufig in den Ergebnissen berichtet, entweder als Beobachtungsziele der Artikel oder als von Seeleuten nachträglich berichtete Maßnahmen. Beide Themen umfassten Unterthemen zu Vorteilen, Hindernissen oder Konsequenzen für zukünftige Iterationen.

Das Thema Kommunikation ($n = 108$) behandelte zwei Hauptformen: formelle und informelle Kommunikation an Bord sowie die Kommunikation zwischen Bord- und Landbeteiligten. Eine weitere bemerkenswerte Form war das Reporting, wie z.B. die Mittagsberichte zur Dokumentation des Kraftstoffverbrauchs.

Herausforderungen in Bezug auf EEO umfassten Aufgabenkomplexität, das Ausbalancieren verschiedener Ziele, die Aufrechterhaltung der Autonomie von Arbeitgebern, Unsicherheit und hohe Arbeitsbelastung oder Müdigkeit, insbesondere auf kleineren Schiffen.

Ergebnisse zu den Einstellungen der Seeleute ($n = 88$) beinhalteten häufig deren Haltung zu EEO, oft als Umweltbewusstsein, das als Motivator zusammen mit dem Wunsch nach einer guten Beziehung zu externen Stakeholdern kodiert wurde. Im Unterthema Verantwortung wurden Segmente kodiert, in denen einige Seeleute die persönliche Verantwortung ablehnten.

Abschließend wurden Themen ohne Unterthemen generiert. Planung ($n = 39$) bezog sich auf den Prozess, wie EEO durchgeführt oder verbessert werden könnten. Systemeigenschaften ($n = 37$) beschrieben Ergebnisse zu technischen Systemen oder Schnittstellen. Sicherheit ($n = 26$) beschrieb diesen Aspekt über Herausforderungen hinaus. Das physische Thema Material ($n = 11$) umfasste Ersatzteile zur Wartung der Schiffstechnik und deren Verfügbarkeit.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Es gibt eine Diskrepanz zwischen dem Wissen der Seeleute und der Art und Weise, wie dieses Wissen erworben werden soll. Fehlendes Wissen stellt ein Hindernis für energieeffiziente Operationen dar, während technisch besser ausgebildete Crewmitglieder dieses Problem weniger wahrnehmen (Zoubir et al., 2023). Jensen et al. (2018) zeigen, dass Reflektion über technische Werkzeuge den Kraftstoffverbrauch um 10% senken kann. Arbeitsbelastung bleibt jedoch eine Herausforderung, da Seeleute den Aufwand gegen die Einsparungen abwägen (Viktorelius, 2020). Ein Forschungsbedarf besteht darin, zu verstehen, wie Seeleute während der Arbeit lernen können, ohne die Arbeitsbelastung zu erhöhen. Man et al. (2018) untersuchten die Möglichkeiten des kollaborativen Lernens mit vermittelnden Technologien und identifizierten Anwendungen wie den Austausch von Informationen zwischen Brücken- und Maschinenraumcrews. Es besteht Bedarf an quantitativer Forschung, um solche Funktionen in Tools zu implementieren und deren Benutzerfreundlichkeit und Arbeitsbelastung zu bewerten, z.B. mit dem NASA-TLX (Hart und Staveland, 1988).

Zielkonflikte mit wirtschaftlichen Interessen der Stakeholder sind gut dokumentiert (Poulsen et al., 2022; Poulsen und Sampson, 2019), und es ist unklar, wie diese ausgeglichen werden können. Der Ausgleich solcher Konflikte darf keine zusätzliche Arbeitsbelastung verursachen. Jensen et al. (2018) zeigten, dass Seeleute in einem Simulator nach Workshops ein Gleichgewicht zwischen Sicherheit und Energieeffizienz fanden. Visualisierung von Zielkonflikten könnte diesen Effekt unterstützen, z.B. durch Berücksichtigung von Vertragsbeschränkungen in Routen-tools. Transparenz gegenüber Stakeholdern kann durch Entscheidungshilfesysteme erhöht werden, die Berichte für tägliche Updates generieren. Forschung deutet darauf hin, dass Seeleute ohne Unterstützung bei Unsicherheit vorsichtiger agieren und Chancen zur CO₂-Einsparung verpassen.

Investigating Challenges in Decision Support Systems for Energy-Efficient Ship Operation

Veröffentlicht. Zitation: Schwarz, B., Zoubir, M., Heidinger, J., Gruner, M., Jetter, H., & Franke, T. (2023). Investigating Challenges in Decision Support Systems for Energy-Efficient Ship Operation: A Transdisciplinary Design Research Approach. In T. Ahram & C. Falcão (Hrsg.), *Human-Centered Design and User Experience* (Bd. 114, S. 610–625). AHFE Open Access. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004281>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Trotz politischer, technischer und regulatorischer Bemühungen bleibt die effektive Reduzierung der Schifffahrtsemissionen schwierig, was zu „Energieeffizienzlücken“ zwischen tatsächlicher und optimaler Energienutzung führt (z.B. Johnson und Andersson, 2016). Operative Maßnahmen für Schiffcrews (z.B. Balcombe et al., 2019) stoßen auf Hindernisse wie Sicherheitsbedenken (Ballou, 2013), die die Entscheidungsfindung der Schiffcrews in diesem komplexen und unsicheren Kontext der Schiffsoperationen hervorheben. Ein vielversprechender Ansatz zur Überwindung dieser Herausforderungen besteht in technischen Systemen, die die Bedürfnisse der Seeleute berücksichtigen. Obwohl dies aus einer soziotechnischen Perspektive analysiert wurde (Man et al., 2018), besteht weiterhin ungenutztes Potenzial bei der Untersuchung spezifischer Designimplikationen und Best Practices. Trotz der Versprechen integrierter und konkreter Lösungen durch Branchenstandards im Designprozess (vgl. ISO 9241–210 2019) und früher Richtlinien (IMO, 2019) ist der Gestaltungsraum noch unzureichend definiert (Mallam und Nordby, 2018 in Nordby et al., 2019). Besonders im Bereich der Visualisierungen und Interaktionsgestaltung im Zusammenhang mit Energieeffizienz stammen die meisten Konzepte derzeit aus der maritimen Softwareindustrie, isoliert von der akademischen Untersuchung und eingeschränkt durch widrige technologische und wirtschaftliche Überlegungen. Obwohl dies wichtige und zeitgemäße Beiträge sind, fehlt ihnen oft eine strenge und unabhängige Bewertung ihrer Eignung zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen sowie eine theoretische Grundlage (z.B. in der Human-Factors-Forschung). Gleichzeitig fehlen in der Designforschung fundierte Empfehlungen für Interface-Design-Richtlinien nicht nur für EEO-DSS, sondern auch für Schiffbrückenausrüstung im Allgemeinen. Eine bemerkenswerte Ausnahme bildet das OpenBridge Design System (Nordby et al., 2019), das durch eine Open-Source-Komponentenbibliothek und Forschungsprojekte zur geeigneten Brückengestaltung und Hardware auf die Sicherheitsprobleme in Multivendor-Brückensystemen abzielt.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Um CO₂e-Emissionen in der Schifffahrt zu senken, können Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) durch Unterstützung bei der energieeffizienten Routenplanung, Überwachung und zeitigen Umplanung helfen. Die Integration und Akzeptanz dieser Systeme bei Seeleuten ist jedoch eine Herausforderung, insbesondere wenn Künstliche Intelligenz (KI) zur Analyse und Konsolidierung von Daten, z.B. für die Routenoptimierung und die Leistungsbewertung von Schiffen, eingesetzt wird. Vertrauen, Transparenz und Entscheidungskompetenz müssen berücksichtigt werden, um die effektive Nutzung von KI-basierten DSS in der Schifffahrt sicherzustellen.

Diese Veröffentlichung stellt erste Ergebnisse des Teil-Forschungsprojekts vor, das sich auf das Design von DSS an der Schnittstelle von Schifffahrt, Human Factors und CO₂e-Reduktion an Bord von Handelsschiffen aus einer Designforschungsperspektive konzentriert. Es umfasst die Zusammenarbeit von Experten aus Hydrodynamik, Geodaten, nautischer Qualifikation, Human Factors, Design und Ingenieurwesen und war Teil eines größeren Forschungsprojekts mit 13

akademischen und industriellen Partnern. Zur Darstellung unserer Beiträge diskutieren wir in diesem Paper zunächst (1) Hintergrund und verwandte Arbeiten. Nach einem (2) kurzen Überblick über unsere Forschung aus der Perspektive der Designforschung, gaben wir einen (3) Überblick über designbezogene Forschung und schlossen mit (4) einem Bericht über die formative Prototypenbewertung ab.

Methode

Das allgemeine Forschungsdesign aus der Perspektive der Designforschung basierte auf den theoretischen Grundlagen von MAPS (Jonas et al., 2010). MAPS operationalisiert Designforschung als „Matching Analysis, Projection and Synthesis“ und ermöglicht integrative Forschungsprozesse über disziplinäre Grenzen hinweg, indem es epistemologische Domänen des Wissens („das Wahre“, „das Ideale“, „das Reale“; vgl. Nelson und Stolterman, 2012) unterscheidet und deren Zusammensetzung und Anwendung in einem Projekt explizit macht. Da Design hier chancenorientiert sein sollte (Chow, 2009) und viele Unbekannte in diesem technologischen Innovationsprozess bestehen (vgl. „Wicked Problems“; Glanville, 2012), wurde ein konvergent-paralleles Forschungsdesign gewählt, das mit einer Koproduktionsphase und eingehender Human-Factors-Forschung begann. Dieses Design ermöglichte es, Designaktivitäten gleichzeitig als Wissensproduktion über den Kontext durch Stakeholder-Einbeziehung zu nutzen (vgl. Karl Weick’s sensemaking manager; Boland, 2004 in Chow, 2009). Später wurde das Projekt in themenfokussierte Intelligence–Design–Choice-Hyperzyklen überführt (vgl. Herbert Simon’s rational man; ibid.) mit verschachtelten Forschungs-, Analyse-, Synthese- und Realisierungsphasen. Ingenieurpsychologische Forschung trug zu den Forschungs- und Analysephasen bei und informierte die Teilzyklen von Projektion und Synthese. Dies umfasste Literaturrecherchen, kognitive Arbeitsanalysen, hierarchische Aufgabenanalysen und empirische Bewertungen mit Experten und Nutzern, wie z.B. Online-Umfragen unter Seeleuten. Die Medieninformatik war in allen Phasen beteiligt, mit Schwerpunkt auf der Realisierungsphase und der Entwicklung eines Prototyps zur Evaluierung und Demonstration im Projektkontext.

Ergebnisse

Als primären Beitrag reflektieren wir unsere gewonnenen Erkenntnisse, um allgemeingültige Herausforderungen für ähnliche zukünftige Projekte der maritimen Ergonomie-Gemeinschaft zu identifizieren. Diese umfassen (1) die Berücksichtigung wesentlicher Human Factors, (2) die kontextsensitive Integration von Navigations- und Betriebsdaten, (3) die Erhöhung der Transparenz bei der Datenqualität und den Verarbeitungsschritten in Bezug auf systemgenerierte Empfehlungen, was (4) die Minderung von Verzerrungen (z.B. Automatisierungsverzerrung) unterstützen würde. Als sekundären Beitrag teilen wir auch unsere daraus resultierenden Designs als Beispiele dafür, wie Entscheidungsunterstützung zur Optimierung der Energieeffizienz visuell und funktional in die Schifffahrtsnavigation integriert werden kann.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

In dieser Studie haben wir einen transdisziplinären Designforschungsansatz genutzt, um menschenorientierte KI-basierte Werkzeuge für energieeffiziente Schiffsbetriebe zu entwickeln. Durch parallele Forschungsaktivitäten haben wir ein ganzheitliches Verständnis des Anwendungsbereichs gewonnen, das in der Erstellung eines interaktiven Prototyps für ein bordeigenes Entscheidungsunterstützungssystem mündete. Unsere Arbeit hebt wichtige Erkenntnisse hervor und behandelt Herausforderungen wie die Datenintegration, Nutzererwartungen und Systemtransparenz, die im Kontext der maritimen Ergonomie von entscheidender Bedeutung sind. Auf Basis unseres Designvorschlags zeigen wir, wie diese Herausforderungen durch Berücksichti-

gung wesentlicher Human Factors, wie Arbeitsbelastung, Autonomie und Biases (z.B. *Automation Bias*), angegangen werden können. Zusammenfassend betont unsere Forschung die Wirksamkeit dieses Ansatzes, liefert Erkenntnisse zur maritimen Ergonomie und zeigt die effektive Integration von KI-basierten DSS in bordeigene EEO-Werkzeuge.

Design and Evaluation of a Visual Query Interface for Maritime Route Planning

Im Druck. Zitation: Schwarz, B., von Elbwart, S., Zoubir, M., Heidinger, J., Franke, T., & Jetter, H.-C. (2024). Design and Evaluation of a Visual Query Interface for Maritime Route Planning. In *Adjunct Proceedings of the 2024 Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI Adjunct 2024)*, October 13–16, 2024, Uppsala, Sweden. ACM.

<https://doi.org/10.1145/3677045.3685420>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

In der Trampschifffahrt (z.B. Tanker, Massengutfrachter ohne festen Fahrplan) wird oft schnell in die Nähe des Ziels gefahren und dann geankert oder gedriftet, was zu hohen Emissionen führt. Die Kombination aus rechtzeitiger Ankunft und Maßnahmen zur Emissionsreduzierung, wie langsames Fahren, erschwert die Ankunftszeitberechnungen. Das Ziel wird daher: „Nicht schneller fahren als nötig und alle Einschränkungen beachten“. Dies erfordert eine sorgfältige Berücksichtigung von Umweltbedingungen während der Fahrt und im Zielgebiet (z.B. Gezeiten, vereinbarte Zeitfenster für das Liegen an der Pier). Kapitäne bringen umfangreiche Erfahrungen und implizites Wissen ein, daher ist Entscheidungsunterstützung statt Entscheidungsautomatisierung notwendig, da „nicht immer die schnellste Route die beste ist“.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Die Einbeziehung mehrerer Ankunftszeitfenster in die Routenplanung stellt eine Herausforderung dar, besonders im Hinblick auf das Benutzeroberflächendesign. Traditionelle Systeme konzentrieren sich auf einzelne Ankunftszeiten und übersehen die Komplexitäten mehrerer Fenster und Einschränkungen, was zu Ineffizienzen und Fehlern führt. Abfragevorschauen und ähnliche Techniken aus dem Bereich der Informationsretrieval-Systeme könnten hier angewendet werden, um die komplexe Routenoptimierung zu verbessern. Seeleute jonglieren mit Sicherheitsbedenken, hoher Arbeitsbelastung, Ermüdung und widersprüchlichen Anweisungen, daher muss das System in die Arbeitsrealität der Seeleute passen. *Intuitiveness* als Konzept in der HCI, könnte die Eignung und Benutzerfreundlichkeit gewährleisten. Das Ziel der Forschung war es, die Wirkung des Schnittstellendesigns auf eine neuartige Benutzeroberfläche zu untersuchen, die für die nahtlose Eingabe mehrerer Ankunftszeitfenster in der Routenplanung im Seetransport entwickelt wurde.

Methode

In beiden Testbedingungen umfasste das Mockup, ein High-Fidelity-Figma-Prototyp, eine Anzeige von Umweltfaktoren neben vorgeschlagenen Ankunftszeitfenstern mit folgenden Funktionen: (1) (De)Selektieren, Löschen und Ändern von Zeitfenstern, (2) Prototypische Änderung der Länge von Zeitfenstern und (3) Interaktion zur Definition eines neuen Zeitfensters (nicht vollständig implementiert). Visuelle Hinweise zeigten nicht erfüllte Bedingungen (z.B. zu niedriger Wasserstand) an. Der Unterschied der Bedingungen lag in der visuellen Anzeige der relevanten externen Faktoren (z.B. Gezeiten, Schleusenzustände) und der Interaktion zur Auswahl/Abwahl/Änderung eines Ankunftszeitfensters.

Vor der Studie füllten die Teilnehmer einen Fragebogen zu demografischen Daten, Berufserfahrung in der maritimen Industrie und Vertrautheit mit Routenplanungstools aus. Ein weiterer Fragebogen erfasste ihre Einstellung zur Technologieinteraktion (ATI).

Die Teilnehmer wurden in den Anwendungsfall eingeführt und zu ihren aktuellen Praktiken in der Routenplanung interviewt, um Einblicke in Herausforderungen und Arbeitsabläufe zu gewinnen. Daten zur Technologieakzeptanz wurden vor und nach der Präsentation der Designvarianten erhoben. Die Teilnehmer testeten nacheinander nach folgendem Schema zwei Designvarianten (A und B) zur Eingabe mehrerer Ankunftszeitfenster, wobei die Reihenfolge der Varianten stets variiert wurde:

1. **Szenariobriefing und Ziel:** Informationen zu einem Routenplanungsszenario und Ziele wurden bereitgestellt. Die Teilnehmer wurden mit der *Thinking Aloud*-Methode bekannt gemacht.
2. **Aufgabenausführung mit Design A/B:** Zehn Minuten Szenariodurchführung, Bildschirm- und Audioaufzeichnung.
3. **Fragebogen nach dem Szenario:** Fragebogen zu Usability, intuitiver Interaktion und Technologieakzeptanz.
4. **Interview nach dem Szenario:** Retrospektives Laut-Denken und halbstrukturiertes Interview für zusätzliches Feedback.

Nach allen Szenarien gab es ein abschließendes Interview für vergleichendes Feedback zu den Designvarianten, Präferenzen, Herausforderungen und Verbesserungsvorschlägen. Insgesamt dauerten die Tests 60–120 Minuten.

Umfragedaten wurden mithilfe eines proprietären R-Skripts analysiert, das Folgendes ermöglichte: 1) Datenverarbeitung gemäß den Richtlinien der jeweiligen Skalenautoren, 2) visuelle Analyse der Werteverteilung und 3) Teilnehmerbasierte Gruppierung und Berechnung von Mittelwert/Standardabweichung (siehe Tabelle 1). Daten aus den Aufgaben, dem abschließenden Interview und dem Laut-Denken wurden gemeinsam analysiert durch: 1) Vertrautmachen mit den Daten, 2) Deduktives Codieren innerhalb eines initialen Satzes von Themen, der während des Codierens erweitert/neu definiert wurde, 3) Konsolidierung der Codes und 4) interne Darstellung zur statistischen Auswertung als Beobachtungszeilen mit entsprechenden Teilnehmer-IDs, Datenquellen, Codes, Themen und optionalen Kommentaren. Dabei wurden die 3 wichtigsten Erkenntnisse herausgearbeitet und quantitative sowie qualitative Daten pro Teilnehmer assoziiert, um Datenpunkte zu kontextualisieren und zu überprüfen.

Ergebnisse

Mehrere, separate Ankunftszeitfenster – ein realistisches Szenario? Alle Teilnehmer waren sich einig, dass die Optimierung der Ankunftszeit (RTA) eine große Rolle spielt. Es gab jedoch unterschiedliche Meinungen über die Möglichkeit und Verhandelbarkeit mehrerer RTAs: Zum Beispiel werden Liegeplätze, Kanalpassagen und Lotsen Wochen im Voraus gebucht und können kaum geändert werden. Umweltbedingungen (z.B. Gezeiten, Strömungen, Schleusen, Verkehr) spielen eine unbestrittene Rolle. Aktuelle Werkzeuge erlauben kaum eine Multi-Ziel-Optimierung, geschweige denn Variationen. Praktiker berichteten, dass Wegpunkte oft aus der Erfahrung des Kapitäns mit Route, Schiff und erwarteten Bedingungen stammen. Zusammenfassend wird die Planung durch diese Einflüsse schnell arbeitsintensiv. Ein Unterstützungssystem, das Variablen ändert und optimale Routen vorschlägt, würde mehr Entscheidungsmöglichkeiten eröffnen. Ein geeigneteres Werkzeugdesign sollte bestimmte Einschränkungen ignorieren und die Formulierung von Abfragen sowie Visualisierungen von Alternativen und (nicht) verhandelbaren Parametern unterstützen.

Wie komplex darf eine Schnittstelle zur Identifikation von Zeitfenstern sein? Brückensysteme zeichnen sich durch mehrere, redundante Instrumente und Anzeigen aus, wobei bildschirmabhängige Anordnungen der Inhalte vorgenommen werden. Aktuelle Meta-Aufgaben in der Routenplanung beinhalten die Bewältigung von Komplexität in Einflussfaktoren, Werkzeugen und Stakeholder-Perspektiven. Keiner der Teilnehmer kommentierte die Komplexität der Informationsanzeige, trotz unterdurchschnittlicher Bewertungen im Bauchgefühl (siehe Tabelle 1). Einige Funktionen wurden ignoriert, z.B. manuelle Eingabe von Zeitfenstern, und in Interviews als fehlend erwähnt, was auf ein Designproblem hinweist. Änderungen der Zeitfensterlänge führten zu Schwierigkeiten bei der Interaktion, die der verwendeten Prototyping-Technologie zuzuschreiben sind. Diese Funktion wurde dennoch geschätzt und in der anderen Bedingung vermisst. Die Informationsanzeige, insbesondere die Umwelteinschränkungen in Bezug auf die Ankunftszeit, wurde gelobt: Diese waren normalerweise entweder über mehrere Geräte/Quellen verteilt, erforderten mentale Arbeit zur Beziehung von tabellarischen Daten zu Reisedaten oder boten nur Metriken für einen Zeitpunkt statt Zeitstrahlvisualisierungen.

Das Richtige Maß an Kontrollierbarkeit. Mehrere Perspektiven zur Granularität und Kontrollierbarkeit wurden in den Interviews identifiziert: a) Einheitliche Breite und Länge der Zeitfenster in der Balkenbedingung wurden als problematisch angesehen, b) unbeschränkte Eingaben (wie in der Graph-Bedingung) wurden bevorzugt, und c) einige vermissten eine Zoom-Funktion auf der Zeitleiste. Die Balkeneingabe wurde als einfacher zu bedienen erwähnt, aber fast alle vermissten die Genauigkeit und Freiheit der Graph-Eingabe. Da in beiden Bedingungen die Zeitleistendatenanzeige direkt an den Interaktionsmodus gekoppelt war, zeigten die Teilnehmer eine ambivalente Präferenz. Während die meisten die Anzeige der Gezeiten als kontinuierliche Kurve bevorzugten, erwähnte nur ein Teilnehmer, dass die Interaktion auch für multimodale Eingaben an Bord am besten geeignet sei (z.B. Tablet, Laptop, Terminal).

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Die ersten Ergebnisse dieser laufenden Studie sind relevant für die Routenplanung in Multi-Ziel-Optimierungsszenarien, auch über den maritimen Kontext hinaus. Die Identifizierung von Ankunftszeitfenstern unter mehreren Einschränkungen erfordert ausgefeiltere Abfrageschnittstellen, wobei berücksichtigt werden muss: 1) Schnittstellen sollten nicht zu viel von der inhärenten Komplexität verbergen; 2) Kontrollierbarkeit ist keine Frage individueller Vorlieben, sondern eine Gestaltungsanforderung; 3) Kritische Designherausforderungen offenbaren sich nur, wenn man sich in einem plausiblen Szenario bewegt.

Indem wir die Diskussion von motivationalen Faktoren auf die Untersuchung von Designfaktoren verlagerten, die bei der Implementierung von Ankunftszeit-(Neu-)Verhandlungen in Bord- und Routenplanungssettings berücksichtigt werden sollten, entwickelten und testeten wir zwei unterschiedliche Benutzeroberflächen zur Identifizierung von Ankunftszeitfenstern unter unveränderlichen Einschränkungen. Während *Just in Time*-Ankunft entscheidend für Energieeffizienz und Emissionsreduktion in vielen Bereichen ist, und effiziente Routen-(Neu-)Planung unerlässlich ist, war diese Studie im Kontext der Seeschifffahrt angesiedelt. Hier erfordert die Navigation durch weite Gewässer eine sorgfältige Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Wetter- und Umweltbedingungen, Schiffsleistung und vor allem Ankunftszeiteinschränkungen, die in den gängigen Brückensystemen derzeit nicht gut unterstützt werden.

Bridging the Gap on the Bridge: Seafarers' Tasks and Decision-Making with DSS in Energy-Efficient Route Planning

In Begutachtung: *Journal of Cognitive Engineering and Decision-Making*.

Pre-Print: Zoubir, M., Gruner, M., Heidinger, J., Schwarz, B., Jetter, H., & Franke, T. (2024, June 5). Bridging the Gap on the Bridge: Seafarers' Tasks and Decision-Making with DSS in Energy-Efficient Route Planning. <https://doi.org/10.31234/osf.io/se3yc>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

In einer umfassenden systematischen Überprüfung potenzieller Emissionsminderungsmaßnahmen in der Schifffahrt identifizierten Bouman et al. (2017) neben technischen Umsetzungen wie Geräten zur Widerstandsreduktion oder Biokraftstoffen auch operative Strategien wie die energieeffiziente Routenplanung (EERP) als Schlüsselmaßnahmen. Besonders die Optimierung von Geschwindigkeit und Route hat sich als vielversprechend erwiesen, mit potenziellen CO₂-Äquivalent-Reduktionen von bis zu 60% bzw. 48%. Operative Strategien sind zudem einfacher in bestehenden Schiffen umzusetzen im Vergleich zu kostenintensiveren technischen Implementierungen (Ait et al., 2019). Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Erreichung der Ziele der IMO, da Schiffe eine Lebensdauer von bis zu 50 Jahren haben können (Buxton, 1994). Allerdings hängt die Effektivität operativer Strategien wesentlich von menschlichen Entscheidungen ab, ähnlich wie bei der Umsetzung von Sicherheitsvorschriften an Bord (Sampson, 2007). Dies unterstreicht die zentrale Rolle der menschlichen Faktoren bei der Überbrückung von Energieeffizienzlücken.

Trotz ihrer Relevanz für diese Herausforderung ist die Forschung zu menschlichen Faktoren im maritimen Entscheidungsprozess überraschend begrenzt. Die Forschung zu menschlichen Entscheidungen in Bezug auf Energieeffizienz hat sich hauptsächlich auf die Analyse breiterer Aspekte wie die Effektivität von Richtlinien und Anreizen für Interessengruppen konzentriert (Jimenez et al., 2022), anstatt auf Individuen an Bord einzugehen. Erste Studien mit Interviews an Bord (z.B. Poulsen et al., 2019; Zoubir et al., 2023) zeigen jedoch Herausforderungen wie das Dilemma, den Treibstoffverbrauch durch langsames Fahren zu reduzieren, gleichzeitig aber schnelle Reisen für pünktliche Ankünfte zu gewährleisten, oder den Umgang mit hoher Arbeitsbelastung und Ermüdung. Dies unterstreicht die Notwendigkeit eines ganzheitlichen Ansatzes, wie ihn Rasmussen et al. (2018) vorschlagen, der maritime Herausforderungen direkt durch operative Strategien angeht. Darüber hinaus erfordert die Annahme umweltfreundlicher Verhaltensweisen erhebliche kognitive Kapazitäten (Langenbach et al., 2020), die an Bord bereits knapp bemessen sind. Innovative Technologien wie Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) für die EERP (Besikci et al., 2016) könnten die kognitive Belastung verringern, um so die Umsetzung konkreter Maßnahmen zu motivieren und das technische Potenzial auszuschöpfen.

Um jedoch das Potenzial von DSS und anderen Technologien zu nutzen, ist das Verständnis der Interaktion zwischen Technologie und Crew-Verhalten entscheidend. Viktorelius et al. (2019) heben die Herausforderungen bei der Implementierung eines Energiemonitoringsystems und einer Energiesparpolitik an Bord hervor, wobei der Prozess oft Spannungen zwischen der Bordbesatzung und den Stakeholdern an Land auslöste. Diese Implementierung erforderte eine bedeutende Neuausrichtung bestehender Praktiken und hing daher von der Fähigkeit der Crew ab, sie mit etablierten Routinen in Einklang zu bringen. Ähnlich fand Viktorelius (2019) heraus, dass der Erfolg eines Energiemanagementsystems an Bord davon abhing, wie gut es die operativen Realitäten der Besatzung unterstützte und mit ihnen resonieren konnte. Diese Perspektiven unterstreichen die Bedeutung weiterer Forschung in den Bereichen 1) Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen an Bord, 2) Bedürfnisse der Seeleute in der EERP und 3) Balance zwischen technischer Innovation und diesen Anforderungen. Verschiedene menschliche Faktoren Rahmenkonzepte - wie die Erwartungs-Wert-Theorie, Grundbedürfnisse der Psychologie, Arten und Ebenen der menschlichen Interaktion mit der Automatisierung und die kritische Entscheidungsmethode - können hier wertvolle Einblicke bieten.

Erwartungs-Wert-Theorie. Um zu untersuchen, wie Seeleute Aufgaben in der EERP bewerten, nutzen wir die Erwartungs-Wert-Theorie (EVT) aus der Leistungsmotivationspsychologie (Wigfield & Cambria, 2010; Wigfield & Eccles, 2000). EVT identifiziert Kriterien wie den subjektiven Wert, Erfolgserwartung und Kosten, die Entscheidungen beeinflussen. Diese theoretische Grundlage hilft, Aufgaben in der EERP zu identifizieren, die Seeleute motivieren und die Energieeffizienz fördern. Aufgaben mit niedriger Erfolgserwartung oder hohen Kosten erfordern gegebenenfalls technische Unterstützung, um Umsetzungshindernisse zu überwinden und die Effizienz zu steigern \parencite{hoch1996psychological}.

Psychologische Grundbedürfnisse. Intrinsische Motivation bedeutet, Aufgaben wegen der inneren Zufriedenheit mit der Arbeit selbst auszuführen, nicht wegen äußerer Faktoren oder Belohnungen (Ryan & Deci, 2000). Im Gegensatz dazu motivieren in der Schifffahrt extrinsische Faktoren wie Regelkonformität oder finanzielle Anreize die Seeleute (Kanev et al., 2017), z.B. durch den Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), der energieeffiziente Betriebsabläufe vorschreibt (International Maritime Organization, 2011). Studien zeigen, dass intrinsische Motivation zu besserer Leistung (Davy & Noh, 2016) und innovativem Verhalten (Chen et al., 2010) führt. Technologien wie DSS könnten die intrinsische Motivation auf der Brücke stärken und so die Übernahme energieeffizienter Praktiken erleichtern.

Die Selbstbestimmungstheorie (Autin et al., 2022; Deci & Ryan, 2008; Deci & Ryan, 2012) hebt drei zentrale Bedürfnisse hervor - Kompetenz, Verbundenheit und Autonomie -, die die intrinsische Motivation wesentlich beeinflussen. Sie zeigt, dass erfüllte Bedürfnisse zu motiviertem Verhalten führen, während Frustration zu Unzufriedenheit und geringerer Leistung führt. Ein Verständnis dieser Bedürfnisse kann helfen, die Entwicklung nutzerzentrierter Energieeffizienztechnologien zu fördern und entsprechende Arbeitspraktiken zu unterstützen.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Das Ziel dieser Veröffentlichung war es, das Verhalten, die Motivation und die Entscheidungsfindung von Seeleuten im EERP zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf zukünftige technische Systeme. Die Studie konzentrierte sich auf vier Forschungsfragen (RQ). RQ1 untersuchte, welche vorgegebenen Aufgaben es für die Routenplanung in maritimen Operationen gibt. Dies wurde durch eine Hierarchical Task Analysis (HTA) auf Basis von operativen Handbüchern und Experteninterviews (N = 3) beantwortet. RQ2 analysierte, wie Seeleute verschiedene Aufgaben der Routenplanung hinsichtlich der Energieeffizienz in ihrer Arbeitsumgebung bewerten. Hier wurden Erfolgserwartung, Wert und Kosten der Aufgaben untersucht, inspiriert von der Erwartungs-Wert-Theorie. RQ3 erforschte die Zufriedenheit von Seeleuten mit grundlegenden psychologischen Bedürfnissen bei der Arbeit sowie ihre Präferenzen für Automatisierungstypen und deren Korrelation. Diese Fragen wurden mittels einer Online-Umfrage unter einer breiteren demografischen Gruppe von Seeleuten (N = 62) untersucht. Die Ergebnisse von RQ1 bis RQ3 flossen in die Entwicklung eines DSS für EERP ein. Schließlich wurde in RQ4 untersucht, welche Themen sich in der Entscheidungsfindung von Seeleuten in der energieeffizienten Routenplanung ergaben, wenn sie ein Entscheidungsunterstützungssystem in einem kontrollierten Schiffssimulator-Experiment nutzten. Die Daten wurden durch Interviews mit einer adaptierten Version der Critical Decision Method thematisch analysiert.

Methode

Studie 1 – Hierarchische Arbeitsanalyse

Die Hierarchical Task Analysis (HTA) zerlegt komplexe Aufgaben in hierarchisch strukturierte Unteraufgaben, um ihre Beziehungen und Abhängigkeiten zu analysieren. Ursprünglich für Schulungen entwickelt, wird sie heute auch für Systemdesign und Sicherheitsanalysen genutzt,

um Leistungsanforderungen und Probleme zu identifizieren (Stanton, Salmon, Rafferty, & Walker, 2006). Für die Entwicklung der HTA wurden zunächst Aufgaben gemäß der IMO-Resolution A.893(21) und SOLAS V/15 identifiziert, ergänzt durch Experteninterviews mit erfahrenen Seeleuten. Diese Interviews lieferten Einblicke in praktische und operationelle Herausforderungen in der maritimen Navigation (International Maritime Organization, 1999). Die entwickelte HTA wurde durch Workshops mit Experten validiert und mit den IMO-Richtlinien abgeglichen, um sicherzustellen, dass alle relevanten Aspekte der Arbeitsdurchführung berücksichtigt wurden.

Studie 2 – Onlinestudie

Eine Stichprobe von 82 Seeleuten wurde über Beiträge auf 50 internationalen Plattformen für Berufsschiffer rekrutiert, darunter Foren und Gruppen auf Facebook und LinkedIn. Die Studie wurde in zwei Teile unterteilt. Der erste Teil enthielt Fragen zu Erfahrungen, Bedürfnisbefriedigung und Präferenzen (RQ3), der zweite Teil umfasste die Bewertung von Aufgaben gemäß der Erwartungs-Wert-Theorie (RQ2). Dies sollte Abbrüche minimieren.

Die Maße umfassten: die BPNSWS, die die Befriedigung und Frustration der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (Autonomie, Kompetenz, Verbundenheit); die Präferenz für Automatisierungstypen (PAT), ein Fragebogen mit vier Subskalen (Informationsbeschaffung, Informationsanalyse, Entscheidungsfindung, Handlungsausführung); und EVT-Bewertungen, eine szenario-basierte Bewertung von 23 spezifischen Aufgaben zur Routenplanung. Dieser Ansatz ermöglichte eine effiziente Datenerhebung und minimierte die Ermüdung der Teilnehmer, indem Aufgaben aus der HTA zu überschaubaren Einheiten zusammengefasst wurden.

Studie 3 – Interviewstudie

Insgesamt nahmen 22 Seeleute an der Interview Studie teil, alle mindestens in einem fortgeschrittenen Stadium der Ausbildung zum nautischen Offizier oder bereits aktive nautische Offiziere.

Die Teilnehmer sollten einen Routenplan mit dem geringstmöglichen Kraftstoffverbrauch zwischen Dover und entweder Göteborg oder Bordeaux erstellen. Dies erfolgte in einer professionellen Schiffssimulator-Umgebung unter Verwendung des MariData DSS. In Übereinstimmung mit der hierarchischen Aufgabenanalyse (HTA) erhielten die Teilnehmer umfassende Informationen zur Routenplanung, einschließlich Zielvorgaben, Schiffsspezifikationen sowie ozeanografischen und meteorologischen Daten. Diese Interviews passten die Methode der kritischen Entscheidungsfindung (CDM) an, um eine strukturierte Bewertung der Entscheidungsfaktoren und -prozesse während der Energieeffizienz-Routenplanung (EERP) zu erleichtern. Die Teilnehmer erstellten eine Ereigniszeitleiste und berichteten, bei welchen Ereignissen Entscheidungen getroffen wurden. Durch vertiefende Fragen konnten Faktoren beleuchtet werden, die die Entscheidungspunkte während der EERP beeinflussten. Die Interviewdaten wurden mittels thematischer Analyse untersucht. Nach der Entwicklung initialer Themen klassifizierten die Codierer unabhängig voneinander die Antworten der Teilnehmer, was eine Einschätzung der Verbreitung der Themen ermöglichte.

Ergebnisse

Studie 1 – Hierarchische Arbeitsanalyse

Die HTA stellte die vordefinierten Aufgaben für die Routenplanung in maritimen Operationen dar (RQ1). Neben der Aufschlüsselung von Haupt- und Unteraufgaben enthält sie auch proze-

durale Algorithmen zur Anzeige von Überspringen oder Wiederholen von Aufgaben. Sie identifiziert vier zentrale Aufgaben: Zielsetzung der Routenplanung (1.), Bewertung der benötigten Informationen (3.), Durchführung der Routenplanung (4.) und Bewertung der geplanten Routen (5.). Die Anzahl der Aufgaben für die Informationsevaluierung ($n = 71$) übersteigt die für die Planung ($n = 44$). Wichtige "Checks" umfassen die Überprüfung von Gezeitenkalendern, Pilot Charts, Eisdiagrammen und NAVTEX (Aufgabe 3.4). Diese Informationsbeschaffung ist entscheidend für Sicherheit und Energieeffizienz, obwohl nicht alle Aufgaben bei jeder Reise ausgeführt werden. Kapitäne spielen eine zentrale Rolle bei der Qualitätssicherung des Plans, auch wenn die Ausführung und Überprüfung der Aufgaben von verschiedenen Crewmitgliedern abhängt.

Studie 2 – Online Studie

RQ2 - Bewertung von Aufgaben hinsichtlich Erwartung, Wert und Kosten

Einige Navigationsaufgaben wie das Berücksichtigen von Strömungen, das Überwachen von Gezeiten, die Wetterroutenplanung, das Navigieren in flachen Gewässern und Geschwindigkeitsanpassungen zeigten ein großes Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz. Diese Aufgaben erhielten hohe Bewertungen in subjektivem Wert und Erfolgserwartung, obwohl ihre Effektivität durch höhere Kosten etwas gemindert wurde. Aufgaben wie das Verwalten von Spezialladungen, die Entwicklung von Notfallplänen und das Training der Besatzung wurden als weniger wirksam für die Energieeffizienz eingeschätzt, da sie geringeren subjektiven Wert hatten.

RQ3a - Grundlegende psychologische Bedürfnisbefriedigung am Arbeitsplatz

Drei Ausreißer wurden entfernt. Die Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Bewertungen für Autonomie, Kompetenz und Verbundenheit. Diese Ergebnisse deuten auf eine geringere Erfüllung des Autonomiebedürfnisses im Vergleich zu anderen Bedürfnissen hin.

RQ3b - Präferenz für Automatisierungstypen

Sechs Ausreißer wurden entfernt. Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests ergaben für die Informationsbeschaffung und die Informationsanalyse signifikante Abweichungen vom neutralen Mittelwert, was auf eine deutliche Präferenz für automatisierte Systeme hinweist. Für die Entscheidungsfindung zeigte sich eine Präferenz für menschliche Kontrolle. Für die Handlungsausführung gab es keine signifikante Abweichung vom neutralen Mittelwert.

RQ3c - Korrelation von BPNSWS und PATS

Die Korrelationsanalyse zeigte eine signifikante negative Korrelation zwischen der Entscheidungsfindung und der Autonomie, was darauf hinweist, dass eine geringere Erfüllung des Autonomiebedürfnisses mit einer stärkeren Präferenz für automatisierte Entscheidungsfindung einhergeht.

Studie 3 – Interview Studie

Für jede der sechs Fragen zu den Entscheidungen der Teilnehmer über EERP mit einem DSS werden die extrahierten Themen und die Anzahl der Teilnehmer, die jedem Thema zugeordnet wurden, präsentiert. Im folgenden Abschnitt werden die Hauptideegebnisse der thematischen Analyse dargestellt.

Unter den Zielen haben wir neben der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs, die als Hauptziel in der Simulation genannt wurde, auch andere Ziele untersucht, die von den Teilnehmern berücksichtigt wurden. Besonders prioritär war die Sicherheit, oft in Verbindung mit dem Wetter

genannt: „Das Ziel war [...] eine sichere Route abhängig von den Wetterinformationen“ (Teilnehmer P13). Weitere prominente Themen waren optimale Kompromisse bei der Routenplanung und eine akzeptable Reisedauer, die beide häufig erwähnt wurden. Teilnehmer bewerteten auch subjektiv Leistungsindikatoren wie Zeit oder Wetter. Zum Beispiel wählte P6 einen etwas höheren Kraftstoffverbrauch, um rechtzeitig anzukommen, da „drei Stunden, die man am Anker hätte warten müssen, erheblich sind“. Gleichzeitig lehnte P21 eine energieeffiziente Route ab, weil es ihm „wert war, 0,5 Tonnen Kraftstoff zu sparen, um nicht die gesamte Besatzung und die Ladung zu stören“.

Hinsichtlich des Wissens nutzten die Teilnehmer am häufigsten Informationen über meteorologische Bedingungen, insbesondere Windstärke und -richtung, einschließlich Sturmwarnungen. Diese wurden größtenteils aus dem DSS bezogen, aber auch aus Erfahrung, wie z.B. typische schlechte Sichtverhältnisse im Golf von Biskaya (P14). Wetter wurde auch in Bezug auf den Seegang betrachtet, einschließlich Dünung, Gezeiten, Strömungen und Wellenhöhe. Kraftstoffverbrauch und Reisedauer wurden ebenfalls untersucht, wobei der Einfluss des Wetters auf diese Aspekte hervorgehoben wurde.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Unsere Studien betonen die Komplexität und die Herausforderungen, die mit der Integration von DSS auf See verbunden sind. Eine wichtige Erkenntnis ist die kollaborative Natur der Routenplanung, bei der sowohl das Bordpersonal als auch externe Stakeholder wie Onshore-Flottenbetriebszentren eine Rolle spielen. Diese Zusammenarbeit ist entscheidend für die Validierung und Umsetzung effizienter Routen, wobei Sicherheits- und Zeitfaktoren neben der Energieeffizienz berücksichtigt werden müssen.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass verschiedene energieeffiziente Maßnahmen wie Wetterrouting und Geschwindigkeitsplanung signifikante Emissionsminderungen bieten können. Diese Maßnahmen werden jedoch nicht immer gleich bewertet: während einige von den Seeleuten hoch bewertet werden, gibt es bei anderen eine Diskrepanz zwischen subjektiver Einschätzung und empirischer Wirksamkeit. Diese Unterschiede unterstreichen die Bedeutung einer präzisen Informationsbasis und einer ausgewogenen Berücksichtigung von Zielkonflikten während der Routenplanung.

Ein weiterer Schlüsselaspekt der Studien ist die Wahrnehmung der Autonomie der Seeleute in Bezug auf die Nutzung von DSS. Es wurde festgestellt, dass eine niedrige Zufriedenheit mit der Autonomie nicht zwangsläufig zu einer Ablehnung automatisierter Entscheidungsfindung führt, sondern vielmehr in bestimmten Fällen eine Erleichterung der Aufgabenbewältigung darstellen kann. Dennoch sollten Systeme so gestaltet sein, dass sie die Autonomiebedürfnisse der Seeleute berücksichtigen und unterstützen.

Die Anforderungen an zukünftige DSS in der maritimen EERP betonen die Notwendigkeit von klaren Informationen über die Funktionsweise der Systeme, Schulungen für die Benutzer sowie flexible und anpassbare Entscheidungsalgorithmen. Diese Elemente sind entscheidend, um das Vertrauen der Seeleute in die Systeme zu stärken und eine effektive Nutzung sicherzustellen, insbesondere unter sich ändernden Umweltbedingungen auf See.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung von DSS zur Unterstützung der EERP in der maritimen Navigation eine komplexe Aufgabe darstellt, die eine enge Zusammenarbeit zwischen Bordpersonal und externen Stakeholdern erfordert. Die Integration verschiedener energieeffizienter Maßnahmen erfordert eine präzise Abwägung von Sicherheits-, Zeit- und Umweltzielen. Die Wahrnehmung der Autonomie der Seeleute und die Gestaltung der DSS spielen eine entscheidende Rolle bei der Akzeptanz und effektiven Nutzung dieser Systeme. Zukünftige Forschung sollte sich auf die Optimierung der Systemfunktionalitäten sowie auf die

Schulung und Unterstützung der Benutzer konzentrieren, um eine nachhaltige und effiziente maritime Routenplanung zu gewährleisten.

Anchoring Autonomy: Understanding Seafarers' interaction with route planning systems: energy efficiency and basic psychological needs.

In Begutachtung: *Cognition, Technology & Work*.

Pre-Print: Zoubir, M., Schwarz, B., Heidinger, J., Gruner, M., Jetter, H., & Franke, T. (2024, March 15). Anchoring Autonomy: Understanding Seafarers' Interaction with Energy Efficiency Decision Support Systems for Route Planning and the Role of Basic Psychological Needs. <https://doi.org/10.31234/osf.io/v7enh>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

In der maritimen Routenplanung wurden DSS mit speziellen Schwerpunkten entwickelt, wie z.B. automatisierte Pfadplanung oder Kollisionsunterstützung. Es gibt jedoch nur wenige Arbeiten, die die menschlichen Faktoren der eingeführten DSS evaluieren. Um dies verstärkt von einer psychologischen Perspektive zu untersuchen, betrachten wir zwei etablierte Konstrukte:

Psychologische Grundbedürfnisse: Eine Möglichkeit, das Verständnis der Interaktion von Seeleuten mit DSS zu verbessern und Aspekte zu identifizieren, die die Motivation zu deren Nutzung beeinflussen könnten, besteht darin, die grundlegenden psychologischen Bedürfnisse (BPN) zu berücksichtigen (Ryan & Deci, 2020). Diese postuliert drei grundlegende Bedürfnisse, die mit gesteigerter Leistung und intrinsischer Motivation verbunden sind, wenn sie in hohem Maße erfüllt werden: Kompetenz, Verbundenheit und Autonomie. Diese Bedürfnisse umfassen das Bedürfnis, wirksam und fähig in der Interaktion mit der Umwelt zu sein, das Bedürfnis, sich mit anderen verbunden zu fühlen und bedeutungsvolle Beziehungen zu haben, sowie das Bedürfnis, die Kontrolle über die eigenen Handlungen zu fühlen und Entscheidungen basierend auf eigenen Interessen und Werten zu treffen.

Es existieren mehrere Selbstberichtsmethoden zur Erfassung der BPN. Moradbakhti et al. (2024) haben kürzlich eine Skala zur Bewertung der BPN-Erfüllung speziell für die Interaktion zwischen Mensch und Technologie etabliert, die vier Unterkategorien umfasst: Autonomie, Kompetenz, Verbundenheit zur Technologie und Verbundenheit zu anderen.

Präferenzen für Automatisierungstypen. Automatisierte Systeme in der Seefahrt werden grundsätzlich akzeptiert, insbesondere solche, die tägliche Aufgaben wie das Verwalten von Arbeitschecklisten vereinfachen (Vartiainen et al., 2013). Andererseits wurden einige automatisierte Technologien, wie etwa im Bereich des Energiemonitorings, implementiert und später aufgegeben (Man et al., 2018; Viktorelius & Lundh, 2016). Die genauen Gründe für dieses Phänomen bleiben unklar. Eine Untersuchung der Interaktion zwischen Seeleuten und spezifischen automatisierten Technologien könnte wertvolle Erkenntnisse zur Überbrückung der Energieeffizienzlücke in der maritimen Technologie liefern.

Ein Ansatz zur Erforschung der Präferenzen von Seeleuten und zur Identifizierung abgelehnter Systeme könnte die Klassifizierung nach spezifischen Automatisierungstypen sein. Zum Beispiel könnte ein DSS automatisierte Wetterroutenplanung bieten, während Seeleute die automatisierte Analyse von Wetterdaten möglicherweise akzeptieren, die automatisierte Planung von Wegpunkten jedoch ablehnen könnten. Umgekehrt könnten Seeleute wünschen, Wetterdaten manuell zu überprüfen, gestatten jedoch einem System, initial Wegpunkte automatisch zu planen. Durch die Anwendung eines Automatisierungsmodells zur systematischen Bestimmung der Präferenzen von Seeleuten können wichtige Designimplikationen gewonnen werden.

Für diese Untersuchung nutzten wir das Modell für Typen und Stufen der menschlichen Interaktion mit Automatisierung (Parasuraman et al., 2000), um einen Fragebogen zu entwickeln. Dieses Modell beschreibt vier Funktionstypen basierend auf vier Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung, die in Mensch-Maschine-Systemen automatisiert werden können. Jede Kategorie repräsentiert eine Funktion, die früher ganz oder teilweise von Menschen durchgeführt wurde und auf einem Kontinuum von keiner Automatisierung bis zur vollständigen Automatisierung variiert. Die vier Typen umfassen die Datenerfassung, die Datenanalyse, die Entscheidungsauswahl und die Maßnahmenumsetzung. Jeder Typ kann in seiner Komplexität variieren, z.B. durch automatisierte Wetterdatenanalyse oder manuelle Entscheidungsfindung bei der Routenplanung.

Basierend auf diesem Modell haben wir die Präferenzskala für Automatisierungstypen (PATs) entwickelt. Items wurden gemäß der Klassifizierung der Funktionstypen generiert und innerhalb des Autorenteams diskutiert. Die Skala wurde zunächst validiert und zeigte hohe Reliabilität in einer Pilotstudie mit Seeleuten. Zukünftige Forschung wird sich auf die weitere Verfeinerung und Anwendung dieser Skala mit größeren Stichproben konzentrieren, um tiefergehende Erkenntnisse zur menschlichen Interaktion mit automatisierten Systemen in der Seefahrt zu gewinnen.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Das Ziel dieser Veröffentlichung war es, eingehend zu untersuchen, wie Seeleute mit dem MariData DSS interagieren, mit dem Schwerpunkt auf der differenzierten Untersuchung der Benutzererfahrung (Qualität der Benutzerinteraktion und Zufriedenheit) in einer realistischen Arbeitsumgebung. Zu diesem Zweck führten wir eine Benutzerstudie in einem Schiffbrückensimulator durch, der für die professionelle Ausbildung genutzt wird. Zweiundzwanzig Seeleute verwendeten entweder ein neuartiges energieeffizientes DSS oder eine Kontrollbedingung ohne DSS, um drei Routen mit minimalem Kraftstoffverbrauch zu planen. Nach jeder Planung beantworteten sie Umfragen zur Benutzerfreundlichkeit, Benutzererfahrung, Arbeitsbelastung und den grundlegenden psychologischen Bedürfnissen in der Technologienutzung (BPN). Abschließend nahmen alle Teilnehmer an ausführlichen Interviews teil, die mit Themenanalyse (Braun & Clarke, 2006) ausgewertet wurden.

Methode

Insgesamt nahmen 22 Seeleute an der Studie teil, wobei ein Teilnehmer aufgrund unvollständiger Daten von der statistischen Analyse ausgeschlossen wurde. Alle Teilnehmer befanden sich mindestens in einem fortgeschrittenen Studienabschnitt zur Ausbildung als nautischer Offizier (mindestens 5. Semester und Praktika als Kadett an Bord absolviert).

Für die Studie wurde das MariData DSS verwendet. Der Simulator war ein Navi-Trainer Professional 5000 (Wärtsilä, 2023), der alle Anforderungen der Internationalen Konvention über Normen für die Ausbildung, die Erteilung von Befähigungszeugnissen und den Wachdienst für Seeleute (STCW) erfüllte. Er bot eine immersive Umgebung mit hochauflösenden Grafiken und Echtzeit-Rendering von verschiedenen maritimen Szenarien. Ausgestattet mit funktionsfähigen Hardware-Schnittstellen, die reale Schiffssysteme nachahmten, unterstützte der Simulator verschiedene Umweltbedingungen und Verkehrsszenarien gemäß den Kollisionsverhütungsvorschriften (COLREGs).

Die Studienprozedur umfasste die Planung von drei Routen unter Verwendung verschiedener Bedingungen (OSM als Kontrolle, DSS allein und DSS mit simultaner Schiffsnavigation) in einem Within-Subject-Design. Nach jeder Routenplanung bewerteten die Teilnehmer ihre Erfahrungen durch verschiedene Umfragen zu Arbeitsbelastung, Benutzerfreundlichkeit,

Benutzererfahrung und grundlegenden psychologischen Bedürfnissen in der Technologienutzung. Jeder Teilnehmer nahm zudem an einem ausführlichen Interview teil, um die Bewertung des Systems durch die Seeleute zu vertiefen.

Ergebnisse

RQ1: Wie bewerten Seeleute die Gebrauchstauglichkeit, das Nutzungserlebnis und die Arbeitsbelastung?

Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit, der Arbeitsbelastung und des pragmatischen Nutzungserlebnisses zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen. In beiden MariData DSS-Bedingungen erhielt die Gebrauchstauglichkeit Bewertungen zwischen OK und GUT, wie von Bangor et al. (2008) definiert. Besonders das hedonische Nutzungserlebnis wurde in beiden MariData DSS-Bedingungen signifikant höher bewertet als bei OSM, mit einer großen Effektstärke. Die subjektiven Arbeitsbelastungsbewertungen sind ebenfalls erwähnenswert und deuten darauf hin, dass selbst in der Doppel-Aufgaben-Bedingung keine Zunahme der wahrgenommenen Arbeitsbelastung festgestellt wurde.

RQ2: Inwieweit bevorzugen Seeleute menschliche oder automatisierte Steuerung?

Die PATS-Bewertungen vor der Nutzung des MariData DSS, im Vergleich zu einem neutralen Mittelwert von 3,5 (Skala: 1 = vollständig menschliche Präferenz, 6 = vollständig automatisiertes System), zeigten spezifische Präferenzen. Die Teilnehmer bevorzugten automatisierte Steuerung für Informationsgewinnung und -analyse, menschliche Steuerung für Entscheidungsauswahl und waren bei der Umsetzung von Aktionen ambivalent.

RQ3: Wie nehmen Seeleute die Erfüllung grundlegender psychologischer Bedürfnisse bei der Nutzung der Technologie wahr?

Die Bewertungen der Erfüllung der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse waren in allen MariData DSS-Bedingungen über dem Durchschnitt. Während signifikante Effekte in den ANOVAs gefunden wurden, gab es keine Hinweise auf signifikante Unterschiede zwischen den meisten individuellen Bedingungen in Post-Hoc-Vergleichen. Jedoch wurde ein signifikanter Effekt in den Bewertungen der Autonomie gefunden, und Post-Hoc-Vergleiche legten nahe, dass die Kontrolle besser bewertet wurde als in den Einzel-Aufgaben-Bedingungen.

RQ4a: Welche induktiven Themen lassen sich in der Bewertung des MariData DSS durch Seeleute identifizieren?

Um die Ergebnisse für beide qualitative Forschungsfragen zu analysieren, wurde eine thematische Analyse angewendet. Die Interviews wurden wörtlich transkribiert und auf Genauigkeit überprüft. Die Forscher machten sich durch wiederholtes Lesen mit den Daten vertraut. Initialcodes wurden aus den Interviewantworten der Teilnehmer generiert und durch MZ erstellt. Basierend darauf wurden sowohl induktive (Q4a, dieser Abschnitt) als auch deduktive Analysen durchgeführt.

RQ4b: Welche deduktiven BPN-Themen lassen sich in der Bewertung des MariData DSS durch Seeleute identifizieren?

Um ein tieferes Verständnis für den Einfluss bestimmter Merkmale und Aspekte auf die BPN zu gewinnen, wurde eine zweite, unabhängige Analyse durchgeführt. Diese Analyse umfasste die deduktive Klassifizierung der Codes aus den Interviewdaten der Teilnehmer gemäß den BPN-Kategorien von Autonomie, Kompetenz und Beziehung zur Technologie. Eine Kategorie "nicht BPN" wurde für Codes eingeführt, die primär nur eine tangentielle Relevanz zu BPN aufwiesen.

Zusammenfassend lassen die Ergebnisse erkennen, dass Seeleute das MariData DSS insbesondere aufgrund seiner Gebrauchstauglichkeit, der Möglichkeit zur Informationsverarbeitung und der Erfüllung grundlegender psychologischer Bedürfnisse positiv bewerten. Sie bevorzugen automatisierte Steuerungen für bestimmte Aspekte, wünschen sich aber gleichzeitig Kontrolle und Transparenz über die Entscheidungen, die das System trifft.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Evaluierung MariData DSS. Frühere Forschungen zu BPN in HCI haben starke Korrelationen zwischen allen BPN und der Gebrauchstauglichkeit gefunden, insbesondere hinsichtlich der hedonischen Qualität. Unsere Forschung zeigte positive Bewertungen der Gebrauchstauglichkeit und des Nutzungserlebnisses sowie höhere Bewertungen der hedonischen Qualität, jedoch eine eingeschränkte Zufriedenheit mit der Autonomie in der MariData DSS-Bedingung. Dies könnte auf methodologische Unterschiede oder unterschiedliche Operationalisierungen von Autonomie zurückzuführen sein.

Wir vermuten, dass ein Mangel an direkter Manipulation zu den niedrigen Autonomiebewertungen führte, was durch qualitative Daten bestätigt wurde. Teilnehmer wünschten sich mehr Transparenz und Meta-Informationen sowie eine "Routenänderungs"-Funktion. Diese Autonomiefunktionen sind für Sicherheit und Vertrauen in der Schifffahrt wichtig.

Mit der zunehmenden Verbreitung automatisierter Systeme werden sich die Kriterien für deren Bewertung weiterentwickeln. Traditionelle Maßnahmen der Gebrauchstauglichkeit könnten an ihre Grenzen stoßen, wodurch neue Maßstäbe wie BPN-TU oder PATS notwendig werden. Die Kombination von qualitativen und quantitativen Daten kann helfen, Blindstellen zu vermeiden und die Interaktion umfassender zu erfassen.

Ansatz zur Autonomie. Mit der zunehmenden Übernahme von Informationsverarbeitungsaufgaben durch intelligente Systeme wird die Erhaltung der Autonomie und Bedürfnisbefriedigung für den Menschen wichtig, da sie die Nutzer-Motivation beeinflusst. Funktionen, die es ermöglichen, Vorschläge des MariData DSS zu überprüfen, fördern Autonomie und führen zu größerem Engagement und Wohlbefinden. Die Erfüllung grundlegender psychologischer Bedürfnisse ist bei automatisierten Aufgaben bedeutend. Autonomiefunktionen sollten bewusst implementiert werden, um Anpassungsvoreingenommenheit zu vermeiden, bei der Nutzer selbst angepasste Optionen bevorzugen. Beispielsweise bevorzugen Seeleute möglicherweise weniger energieeffiziente Routen, die sie selbst angepasst haben. Eine Methode, dies zu bekämpfen, könnte die Erhöhung der Änderungen von Routenabschnitten bei höherem Kraftstoffverbrauch sein. In der Studie bevorzugten einige Seeleute Flexibilität bei der manuellen Neuplanung von Anfangs- und Endsegmenten einer Route, während das DSS längere Passagen plant. Dies könnte Autonomie und Sicherheit gewährleisten und gleichzeitig Energieeinsparungen während z.B. Ozeanüberquerungen bieten.

Präferenz für die Automationstypen-Skala. Die Studie zeigt, dass Teilnehmer Automatisierung bei der Informationsverarbeitung bevorzugen, aber bei der Entscheidungsautomation zögern. Dies liegt an der Komplexität der geografischen Daten, die für die Routenplanung erforderlich sind, was für Menschen herausfordernd und zeitaufwendig ist. Seeleute schätzen die Automatisierung bei zeitaufwendigen Aufgaben wie Sicherheitskontrollen auf dem ECDIS. Bei der Entscheidungsfindung wird menschliche Kontrolle bevorzugt, um Risiken der maritimen Navigation zu minimieren. Einige Teilnehmer akzeptieren automatisierte Handlungsimpementierung, möglicherweise aufgrund der Vertrautheit mit Systemen wie Autopiloten. Die Analyse basiert auf einer vorläufigen Version des PATS-Instruments, das zur gezielten Entwicklung automatisierter Systeme beitragen soll. Das Instrument könnte besonders in den Bereichen Transport und Mobilität nützlich sein, da es hilft, die Akzeptanz unterschiedlicher Automationsarten zu evaluieren und zu erhöhen.

Autonomy Aweigh: Seafarers' Psychological Needs and Automation Preferences in Sustainable Decision Support Systems

In Begutachtung: *Applied Ergonomics*.

Pre-Print: Zoubir, M., Gruner, M., Heidinger, J., Schwarz, B., Jetter, H., & Franke, T. (2024, August 8). Autonomy Aweigh: Evaluation Metrics and Supporting Seafarers' Basic Psychological Needs in Energy-Efficient Route Planning DSS. <https://doi.org/10.31219/osf.io/kc6t9>

Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Die energieeffiziente Routenplanung (EERP) ist ein entscheidendes Instrument zur Reduzierung der CO₂e-Emissionen in der Schifffahrt um bis zu 48% (Bouman et al., 2017). Allerdings sind Seeleute häufig durch hohe Arbeitsbelastung, Ermüdung und den Druck von Reedereien und Vorschriften beeinträchtigt (Zoubir et al., 2023; Poulsen et al., 2019, 2022), was die effiziente Umsetzung von Emissionsminderungsmaßnahmen erschwert. Technische Lösungen wie Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) können hierbei unterstützen, indem sie die Arbeitsbelastung reduzieren und nachhaltiges Verhalten fördern (Besikci et al., 2016).

Um sicherzustellen, dass diese Systeme die Bedürfnisse der Nutzer berücksichtigen und nicht nur technikgetrieben sind, sind umfassende Bewertungstools zur Benutzerinteraktion erforderlich (Viktorelius et al., 2017). Klassische Metriken der Mensch-Maschine-Interaktion wie Benutzerfreundlichkeit und Benutzererfahrung spielen dabei eine zentrale Rolle (Grech & Azzopardi, 2008). Zusätzlich müssen Metriken der Mensch-Maschine-Kooperation wie Vertrauen und wahrgenommene Kooperativität berücksichtigt werden, um die Rolle des Systems bei der Zielerreichung zu bewerten (Hoc & Dufresne, 2000). Es wird betont, dass diese Ansätze oft die Umweltkontexte vernachlässigen und eine holistische Bewertung erforderlich ist, die auch die Unterstützung der Systeme unter Berücksichtigung der zunehmenden Komplexität durch nachhaltiges Verhalten berücksichtigt (Ones & Dilchert, 2012).

Die Selbstbestimmungstheorie (SDT) bietet eine theoretische Grundlage, um die Bedürfnisse der Nutzer besser zu verstehen, insbesondere das Bedürfnis nach Autonomie, das bei Seeleuten oft weniger erfüllt ist als andere Grundbedürfnisse (Ryan & Deci, 2000). Studien zeigen, dass eine höhere Autonomiebefriedigung das Potenzial für nachhaltiges Verhalten erhöhen kann, indem sie intrinsische Motivation fördert (Zoubir et al., 2024). Es ist jedoch erforderlich, die Integration dieser Bedürfnisse in das Design von DSS weiter zu untersuchen, um ihre Auswirkungen auf die Interaktion und Kooperation mit dem System zu verstehen.

Wir schlagen die Implementierung eines Routen-Edit-Modus als "Autonomie-Unterstützer" in der EERP vor, um das Autonomiebedürfnis der Seeleute zu unterstützen. Diese Funktion entspricht bewährten Praktiken der direkten Manipulation (Shneiderman, 1997), aber es ist unklar, welche Aspekte der Autonomie diese Funktion anspricht. Gemäß SDT umfasst Autonomie "das Gefühl, die eigenen Handlungen und Ziele zu kontrollieren." Allerdings identifiziert Savolainen et al. (2022) auf der Grundlage einer Überprüfung von Studien zur Mensch-Algorithmus-Interaktion vier Aspekte der Autonomie: algorithmische Kompetenz (Verständnis von Algorithmen), situationelle Meisterschaft (Überwindung von Herausforderungen und Ergreifen von Chancen), Atemraum (Freiheit bei Entscheidungen) und Co-Evolution (Zusammenarbeit mit Technologie für gegenseitiges Wachstum). Die Untersuchung dieser Aspekte während der Systementwicklung kann ein tieferes Verständnis für aufkommende Anforderungen an energieeffiziente DSS bieten.

Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Das Ziel dieser Veröffentlichung war es, zu untersuchen, wie ein Edit-Modus als Unterstützung der Autonomie verschiedene Evaluationsmetriken beeinflusst. Fragestellung 1 untersuchte drei Cluster: Inwieweit bewerten Seeleute Metriken der Mensch-Maschine-Interaktion (Benutzerfreundlichkeit, hedonische und pragmatische Qualität), der Mensch-Maschine-Kooperation (Vertrauen, Kooperativität) und die Befriedigung grundlegender psychologischer Bedürfnisse beim Umgang mit einem DSS für EERP, wobei a) ein DSS ohne Edit-Modus mit einer Kontrollbedingung verglichen wurde und b) ein DSS mit und ohne Edit-Modus. Darüber hinaus war unser Ziel, die Rolle der Autonomie in der EERP hervorzuheben und zu ermitteln, wie Designänderungen in einem DSS dieses Erlebnis verbessern können. Fragestellung 2 fragte, wie Seeleute ihre Erfahrung der Autonomie mit einem DSS mit Edit-Modus beschreiben, basierend auf algorithmischer Kompetenz, Atemraum, situativer Meisterschaft und Co-Evolution. Schließlich versuchten wir, die Ergebnisse von Zoubir et al. (2024) zu replizieren, indem wir fragten, inwieweit die Präferenzen der Seeleute für Automatisierungstypen negativ mit ihrer Autonomiebedürfnisbefriedigung korrelieren. Zur Beantwortung dieser Fragen führten wir zwei empirische Studien mit erfahrenen Seeleuten durch. Erstens nutzten wir einen professionellen Schiff-Brücke-Simulator (N = 20), um quantitative Daten zu sammeln und Interviews durchzuführen, um die Zufriedenheit des DSS mit den vier Aspekten der Autonomie zu analysieren, die von Savolainen & Ruckenstein (2022) vorgeschlagen wurden. Zweitens führten wir aufbauend auf diesen Erkenntnissen eine Online-Studie mit Seeleuten durch (N = 46).

Methode

Für die Simulatorstudie wurden 20 erfahrene Seeleute rekrutiert (i.d.R. Piloten und Kanalsteuerer während Trainingseinheiten an der Hochschule Flensburg). Für die Online-Studie wurden 46 Seeleute über Mailinglisten internationaler maritimer Ausbildungsstätten, deutscher Reedereien und Besatzungsagenturen rekrutiert.

Die Teilnehmer sollten drei Routen mit dem geringstmöglichen Kraftstoffverbrauch zwischen zwei Positionen in der Alaskischen, Mittelmeer- oder Andamanensee planen, mit einer Dauer von 2 bis 5 Tagen. In einem Within-Subject-Design verwendeten die Teilnehmer jedes Tool einmal: 1) OpenSeaMaps (OSM; ein digitales Kartierungstool), 2) das MariData-DSS ohne Edit-Modus und 3) das DSS mit Edit-Modus.

Im Simulator führten die Teilnehmer die Planung in einem professionellen Schiffsbrückensimulator durch. Sie erhielten umfassende Routenplanungsinformationen, einschließlich Schiffsspezifikationen sowie ozeanografische und meteorologische Daten. Während der Planung führten die Teilnehmer Wachdienste durch, einschließlich der Überwachung der Umgebung und der Vermeidung von Kollisionen. Nach jeder Planungssitzung von maximal 20 Minuten füllten sie Fragebögen in LimeSurvey aus. Online griffen die Teilnehmende für 3 bis 20 Minuten auf die webbasierten Routenplanungstools zu, wobei zusätzliche Informationen über Textfelder bereitgestellt wurden. Aufgrund kontextueller Unterschiede zwischen den Studien, die die Bewertungen beeinflussen könnten, wurden die Daten für die Analyse von der Fragestellung 1 nicht zusammengeführt, jedoch für Fragestellung 2, das sich auf kontextunabhängige Konstrukte bezog.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigten signifikante Verbesserungen bei den meisten Metriken außer Vertrauen und Zufriedenheit mit dem Autonomiebedürfnis, wenn das DSS mit der Kontrollversion verglichen wurde. Im Vergleich zur DSS-Version zeigte ein Edit-Modus signifikante Steigerungen der

Autonomiezufriedenheit, des Vertrauens, der Benutzerfreundlichkeit und der hedonischen Qualität. Korrelationsanalysen zeigten schwache negative Beziehungen zwischen Autonomie und Entscheidungsauswahl, die jedoch nicht signifikant waren.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

Praktische Implikationen. Die Integration von Funktionen zur Unterstützung der Autonomie, wie dem vorgeschlagenen Edit-Modus, kann die Zufriedenheit der Nutzer erhöhen und deren Vertrauen in das System stärken. Dies könnte zu einer besseren Akzeptanz und Nutzung der Systeme führen, was wiederum die Effektivität von EERP-Maßnahmen steigern kann. Die Berücksichtigung der vier Aspekte der Autonomie (algorithmische Kompetenz, situationelle Meisterschaft, Atemraum und Co-Evolution) bei der Entwicklung von DSS bietet eine umfassendere Unterstützung der Nutzer und fördert eine nachhaltige Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine.

Die Anwendung umfassender Bewertungstools zur Benutzerinteraktion und Kooperation ist entscheidend, um sicherzustellen, dass DSS nicht nur technikgetrieben sind, sondern auch die Bedürfnisse und Präferenzen der Nutzer erfüllen. Diese Erkenntnis sollte in zukünftigen Entwicklungsprozessen von DSS berücksichtigt werden.

Um die algorithmische Kompetenz und situationelle Meisterschaft der Seeleute zu fördern, sollte in die Ausbildung und Schulung der Nutzer von DSS investiert werden. Dies kann dazu beitragen, die Effizienz und Wirksamkeit der Systeme weiter zu verbessern.

Theoretische Implikationen. Die Ergebnisse unterstützen die Annahme der Selbstbestimmungstheorie (SDT), dass die Befriedigung des Autonomiebedürfnisses die intrinsische Motivation und damit das nachhaltige Verhalten fördern kann. Zukünftige Forschung sollte die Mechanismen weiter untersuchen, durch die Autonomie in DSS-Designs eingebettet werden kann, um die Motivation und Leistung der Nutzer zu steigern.

Die Studie hebt die Notwendigkeit hervor, klassische Metriken der Mensch-Maschine-Interaktion und -Kooperation zu erweitern und an die speziellen Anforderungen der Schifffahrt anzupassen. Dies beinhaltet die Einbeziehung von Kontextfaktoren und die spezifischen Arbeitsbedingungen der Seeleute.

Weitere Veröffentlichungen und Transfer

- Mitautorenschaft: Marzi, J., Harries, S., Schwarz, B., Scharf, M., Demmich, K., & Pontius, M. (2024). MariData – Digital Twin for Optimal Vessel Operations Impacting Ship Design. *International Marine Design Conference*. <https://doi.org/10.59490/imdc.2024.875>
- Mitautorenschaft: Marzi, J., Harries, S., Scharf, M., Pontius, M., Schwarz, B., Kaufmann, J., & Brunswig, J. (2024). Digitaler Zwilling für die Optimierung des Schiffsbetriebs. *Schiff&Hafen*, 76 (5), 46–48.
- Mitautorenschaft: Marzi, J., Harries, S., Scharf, M., Pontius, M., Schwarz, B., & Kaufmann, J. (2024). *MariData – Umfassende Technologien für das Energiemanagement von Schiffen. Ein digitaler Zwilling für die Optimierung des Schiffsbetriebs* (Statustagung Maritime Technologien). Projektträger Jülich.
- Zoubir, M. (2024). MariData.HEI – Action-integrated decision support through user-centred energy interfaces [Poster]. *HFES Europe Ch. Annual Meeting 2024*, Lübeck, Germany.

Literaturverzeichnis

1. Acciaro, M., Hoffmann, P., & Eide, M. (2013). The energy efficiency gap in maritime transport. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 3(1–2).
2. Autin, K. L., Herdt, M. E., Garcia, R. G., & Ezema, G. N. (2022). Basic Psychological Need Satisfaction, Autonomous Motivation, and Meaningful Work: A Self-Determination Theory Perspective. *Journal of Career Assessment*, 30(1), 78–93. <https://doi.org/10.1177/10690727211018647>
3. Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
4. Boateng, G. O., Neilands, T. B., Frongillo, E. A., Melgar-Quiñonez, H. R., & Young, S. L. (2018). Best Practices for Developing and Validating Scales for Health, Social, and Behavioral Research: A Primer. *Frontiers in Public Health*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00149>
5. Boll, S., Palanque, P., Mirnig, A. G., Cauchard, J., Lützhöft, M. H., & Feary, M. S. (2020). Designing Safety Critical Interactions: Hunting Down Human Error. Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3334480.3375148>
6. Bouman, E. A., Lindstad, E., Riialand, A. I., & Strømman, A. H. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 408–421. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2017.03.022>
7. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
8. Brooke, J. (1996). SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale. In *Usability Evaluation In Industry* (1st ed., pp. 207–212). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781498710411-35>
9. Carver, C. S., & Scheier, M. F. (2012). A Model of Behavioral Self-Regulation. In *Handbook of Theories of Social Psychology: Volume 1* (pp. 505–525). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446249215.n25>
10. Chan, J., Golightly, D., Norman, R., & Pazouki, K. (2023). Perception of Autonomy and the Role of Experience within the Maritime Industry. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/jmse11020258>
11. Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
12. Cummings, M. L., Buchin, M., Carrigan, G., & Donmez, B. (2010). Supporting intelligent and trustworthy maritime path planning decisions. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(10), 616–626. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.05.002>
13. de Moraes Ramos, G., Daamen, W., & Hoogendoorn, S. (2011). Expected Utility Theory, Prospect Theory, and Regret Theory Compared for Prediction of Route Choice Behavior. *Transportation Research Record*, 2230(1), 19–28. <https://doi.org/10.3141/2230-03>
14. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). Facilitating optimal motivation and psychological well-being across life's domains. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 49(1), 14. <https://doi.org/10.1037/0708-5591.49.1.14>
15. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2012). Self-Determination Theory. In P. Van Lange, A. Kruglanski, & E. Higgins, *Handbook of Theories of Social Psychology: Volume 1* (pp. 416–437). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446249215.n21>
16. Dewan, M. H., & Godina, R. (2024). An overview of seafarers' engagement and training on energy efficient operation of ships. *Marine Policy*, 160, 105980. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105980>
17. Faber, J., Wang, H., Nelissen, D., Russell, B., & St Amand, D. (2011). Marginal abatement costs and cost effectiveness of energy-efficiency measures. London: Institute of Marine Engineering. Science, and Technology, 2207. <http://www.imarest.org/Portals/2010/IMarEST/Community/IMO/MEPC2062%2020INF>
18. Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
19. Franke, T., Attig, C., & Wessel, D. (2019). A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 35(6), 456–467. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1456150>
20. Hassenzahl, M., Wiklund-Engblom, A., Bengs, A., Hägglund, S., & Diefenbach, S. (2015). Experience-Oriented and Product-Oriented Evaluation: Psychological Need Fulfillment, Positive Affect, and Product Perception. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 31(8), 530–544. <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1064664>
21. Hoff, K. A., & Bashir, M. (2015). Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human Factors*, 57(3), 407–434. <https://doi.org/10.1177/0018720814547570>
22. Huang, Y.-C., Backman, S. J., Backman, K. F., McGuire, F. A., & Moore, D. (2019). An investigation of motivation and experience in virtual learning environments: A self-determination theory. *Education and Information Technologies*, 24(1), 591–611. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9784-5>

23. IMO. (2011). MARPOL Annex VI, Amendment 19. IMO.
24. IMO. (2018). Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (p. 11).
25. IMO. (2021). Fourth IMO GHG Study 2020. International Maritime Organization.
26. International Maritime Organization. (1999). Guidelines for Voyage Planning, IMO Resolution A.893(21). <http://www.imo.org/>
27. International Maritime Organization (IMO). (2018). International Convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers (STCW), 1978 [Resolution MEPC.304(72)].
28. ISO. (2019). Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/77520.html>
29. Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1994). The energy-efficiency gap: What does it mean? *Energy Policy*, 22(10), 804–810. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(94\)90138-4](https://doi.org/10.1016/0301-4215(94)90138-4)
30. Jensen, R. B., Coles-Kemp, L., Wendt, N., & Lewis, M. (2020). Digital Liminalities: Understanding Isolated Communities on the Edge. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376137>
31. Jessup, S. A., Schneider, T. R., Alarcon, G. M., Ryan, T. J., & Capiola, A. (2019). The Measurement of the Propensity to Trust Automation. In J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications and Case Studies* (pp. 476–489). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21565-1_32
32. Johnson, H., & Andersson, K. (2011). The energy efficiency gap in shipping-barriers to improvement. *International Association of Maritime Economists (IAME) Conference*.
33. Laitinen, A., & Sahlgren, O. (2021). AI Systems and Respect for Human Autonomy. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 4. <https://doi.org/10.3389/frai.2021.705164>
34. Man, Y., Lundh, M., & MacKinnon, S. (2018). Maritime Energy Efficiency in a Sociotechnical System: A Collaborative Learning Synergy via Mediating Technologies. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(2), 239–250. <https://doi.org/10.12716/1001.12.02.03>
35. Manganelli, L., Thibault-Landry, A., Forest, J., & Carpentier, J. (2018). Self-determination theory can help you generate performance and well-being in the workplace: A review of the literature. *Advances in Developing Human Resources*, 20(2), 227–240. <https://doi.org/10.1177/1523422318757210>
36. Metrics & Methods: Questionnaires – selfdeterminationtheory.org. (n.d.). Retrieved February 8, 2021, from <https://selfdeterminationtheory.org/questionnaires/>
37. Moradbakhti, L., Leichtmann, B., & Mara, M. (2024). Development and Validation of a Basic Psychological Needs Scale for Technology Use. *Psychological Test Adaptation and Development*, 5(1), 26–45. <https://doi.org/10.1027/2698-1866/a000062>
38. Moscati, I. (2018). *Measuring utility: From the marginal revolution to behavioral economics*. Oxford Studies in History of E.
39. OpenSeaMap. (2023). <https://map.openseamap.org/>
40. Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286–297. <https://doi.org/10.1109/3468.844354>
41. Pietrzykowski, Z., & Wolejsza, P. (2016). Decision Support System in Marine Navigation. In J. Mikulski (Ed.), *Challenge of Transport Telematics* (pp. 462–474). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49646-7_39
42. Porathe, T., & Prison, J. (2008). Design of human-map system interaction. *CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2859–2864. <https://doi.org/10.1145/1358628.1358774>
43. Poulsen, R. T., & Sampson, H. (2019). ‘Swinging on the anchor’: The difficulties in achieving greenhouse gas abatement in shipping via virtual arrival. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73, 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.007>
44. Prunkl, C. (2022). Human autonomy in the age of artificial intelligence. *Nature Machine Intelligence*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/s42256-022-00449-9>
45. R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
46. Rauca, L., & Batrinca, G. (2023). Impact of Carbon Intensity Indicator on the Vessels' Operation and Analysis of Onboard Operational Measures. *Sustainability*, 15(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su151411387>
47. Razo, M., & Gao, S. (2013). A rank-dependent expected utility model for strategic route choice with stated preference data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 27, 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.08.009>
48. Rehmatulla, N., & Smith, T. (2015). Barriers to energy efficient and low carbon shipping. *Ocean Engineering*, 110, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.09.030>
49. Rothgeb, M. (2008). Course and contact advisory agent to manage contacts. *Undersea Human Systems Integration (HSI) Symposium*.
50. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>

51. Savolainen, L., & Ruckenstein, M. (2022). Dimensions of autonomy in human–algorithm relations. *New Media & Society*, 14614448221100802. <https://doi.org/10.1177/14614448221100802>
52. Schrepp, M., Thomaschewski, J., & Hinderks, A. (2017). Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(Regular Issue), 103–108. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.09.001>
53. Schrills, T., & Franke, T. (2023). How do Users Experience Traceability of AI Systems? Examining Subjective Information Processing Awareness in Automated Insulin Delivery (AID) Systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1145/3588594>
54. Sheridan, T. B., Verplank, W. L., & Brooks, T. (1978). Human/computer control of undersea teleoperators. NASA. Ames Res. Center The 14th Ann. Conf. on Manual Control.
55. Shneiderman, B. (1997). Direct manipulation for comprehensible, predictable and controllable user interfaces. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent User Interfaces - IUI '97*, 33–39. <https://doi.org/10.1145/238218.238281>
56. Sitompul, T. A. (2023). The Impacts of Different Work Locations and Levels of Automation on Crane Operators' Experiences: A Study in a Container Terminal in Indonesia. *Proceedings of the 34th Australian Conference on Human-Computer Interaction*, 193–198. <https://doi.org/10.1145/3572921.3572941>
57. Smierzchalski, R., & Michalewicz, Z. (1998). Adaptive modeling of a ship trajectory in collision situations at sea. 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. *IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98TH8360)*, 342–347. <https://doi.org/10.1109/ICEC.1998.699756>
58. Solomon, J. (2014). Customization bias in decision support systems. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3065–3074. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557211>
59. Stanton, N. A. (2006). Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied Ergonomics*, 37(1), 55–79. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.06.003>
60. Taheri Moghadam, S., Sadoughi, F., Velayati, F., Ehsanzadeh, S. J., & Poursharif, S. (2021). The effects of clinical decision support system for prescribing medication on patient outcomes and physician practice performance: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01376-8>
61. Teniwut, W., & Hasyim, C. (2020). Decision support system in supply chain: A systematic literature review. *Uncertain Supply Chain Management*, 8(1), 131–148. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2019.7.009>
62. Tyack, A., & Mekler, E. D. (2020). Self-Determination Theory in HCI Games Research: Current Uses and Open Questions. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–22. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376723>
63. Vartiainen, E., Ralph, M., & Björndal, P. (2013). Challenges of using information technology onboard ships. *Proceedings of the 11th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, 226–230. <https://doi.org/10.1145/2525194.2525258>
64. Viktorelius, M., & Lundh, M. (2016). The role of distributed cognition in ship energy optimization. *International Conference on Energy Efficient Ships 2016*, 133–140.
65. Viktorelius, M., & Lundh, M. (2019). Energy efficiency at sea: An activity theoretical perspective on operational energy efficiency in maritime transport. *Energy Research & Social Science*, 52, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.01.021>
66. von Knorring, H. (2019). Energy audits in shipping companies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 125, 35–55. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.04.017>
67. Wärtsilä. (2023). Wärtsilä Navigation Simulator NTPRO 5000. <https://www.wartsila.com/>
68. Zijlstra, F., & Doorn, L. (1985). The Construction of a Scale to Measure Perceived Effort. *Department of Philosophy and Social Sciences*.
69. Zoubir, M., Gruner, M., & Franke, T. (2023). “We go fast - It's their fuel”: Understanding energy efficiency operations on ships and marine vessels. *Energy Research & Social Science*, 97, 102992. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102992>
70. Zoubir, M., Gruner, M., Heidinger, J., Schwarz, B., & Franke, T. (2023). Hierarchical Task Analysis of Energy-Efficient Route Planning. *Open Science Framework*. <https://osf.io/https://osf.io/c7w3h>



Impressum

Zitation

Schwarz, B., Zoubir, M., Heidinger, J., Jetter, H.-C., & Franke, T. (2024). *MariData.HEI – Handlungsintegrierte Entscheidungsunterstützung durch nutzerzentrierte Energie-Interfaces* [Schlussbericht]. Universität zu Lübeck.

Veröffentlichungsdatum

Dezember 2024

Rückfragen zum Inhalt

Prof. Dr. Thomas Franke
thomas.franke@uni-luebeck.de



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK
INSTITUT FÜR MULTIMEDIALE
UND INTERAKTIVE SYSTEME