



Schlussbericht gem. Nr. 8.2 der NKBF 98

Zuwendungsempfänger: U-ROB GmbH

Heidsieker Heide 53
33739 Bielefeld

Förderkennzeichen: **03EE3057D**

Vorhabenbezeichnung: **AIDA**
„Autonome Inspektion und Wartung von Offshore-Strukturen durch Entwicklung eines ganzheitlichen UAS-Ansatzes“

Teilvorhabensbezeichnung: „Konzeption und Erprobung zukünftiger, autonomer Inspektions- und Wartungskonzepte im Offshore-Bereich durch UAS“

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 – 31.12.2024

Ausgabedatum: 28.06.2025

Projektleiter: Joseph Metz

Stellv. Projektleiter: Benjamin Kelm

1. Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Das Projekt AIDA adressierte die dringende Notwendigkeit, die Inspektions- und Wartungsprozesse für Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) zu optimieren und auf ein industriell nutzbares Niveau zu heben. Für das Teilvorhaben der U-ROB GmbH lag der technologische Schwerpunkt auf der *Entwicklung und Integration von Aktorik und Sensorik im Bereich der UAS-Nutzlast* sowie auf der Optimierung des *Gesamtsystems UAS, insbesondere der Steuerung und Flugregelung*. Die Kernaufgaben umfassten die Konzeption und Erprobung von berührenden Messverfahren, die Steigerung des Autonomiegrades kritischer Operationen wie Start und Landung von Schiffen aus sowie die Untersuchung von Verfahren zur Oberflächenmanipulation (z.B. Reinigung). Ziel war es, die Effizienz, Kosteneffektivität und vor allem die Sicherheit bei Offshore-Inspektionen signifikant zu verbessern.

1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Energiewende und die ambitionierten Ausbauziele für die Offshore-Windenergie, wie sie in der Novelle des Wind-auf-See-Gesetzes (WindSeeG) auf 40 GW bis 2040 festgelegt sind, führen zu einer stetig wachsenden Anzahl von OWEA. Dies bedingt einen proportional ansteigenden Bedarf an Inspektions- und Wartungsleistungen. Die gegenwärtige Praxis, bei der Techniker per Schiff (CTV) oder Helikopter zu den Anlagen transportiert werden, ist kostenintensiv, risikobehaftet und stark von den Wetterbedingungen abhängig.

Eine zentrale Chance, die im Projekt AIDA identifiziert und genutzt wurde, sind die sogenannten „Idle-Zeiten“ der CTVs. Während Techniker ihre Arbeiten an den OWEA verrichten, verbleibt die Schiffscrew oft in Warteposition. Diese Zeitfenster bieten das ideale Potenzial, um durch den Einsatz von Drohnen zusätzliche Wertschöpfung zu generieren. Durch vom Schiff aus durchgeführte visuelle oder kontaktbasierte Inspektionen können Anlagenstillstandzeiten reduziert und die Sicherheit für das Personal erhöht werden, da gefährliche manuelle Inspektionen minimiert werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt verfolgte einen strukturierten Ansatz, der in sechs Hauptarbeitspakete (HAP) unterteilt war. Die **U-ROB GmbH** fokussierte sich auf die technologische Entwicklung und Anpassung der UAS für die rauen Offshore-Bedingungen. Die Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern war dabei entscheidend: Das

Fraunhofer IFAM übernahm die wissenschaftliche Leitung, Testdurchführung und Materialanalysen. Die

Ems Maritime Offshore (EMO) stellte als Betreiber einer modernen CTV-Flotte die notwendige Logistik und das operative Know-how für die Tests auf See bereit.

HM-PCC brachte seine Expertise in der Qualitätssicherung von Korrosionsschutzmaßnahmen und bei der Definition von Inspektionsanforderungen ein.

Der Ablauf folgte den HAPs (siehe Abbildung 1):

- **HAP 1 (Anforderungen und Randbedingungen):** In dieser Phase wurden die technischen, regulatorischen und operativen Anforderungen an den UAS-Einsatz auf See definiert. U-ROB brachte hier seine Expertise zu UAS-Systemen ein.
- **HAP 2 (Integration UAS-Einsätze in Schiffsbetrieb):** Hier lag der Fokus auf der praktischen Umsetzung. Es wurden Störquellen (elektromagnetische Interferenzen, Schiffsbewegung) analysiert und erste Konzepte für einen Leitstand zur besseren “Situational Awareness” des Kapitäns entwickelt.
- **HAP 3 (Adaption berührender Messverfahren):** Dieses HAP war ein Kernstück der Arbeit von U-ROB. Die Eigenentwicklung **Robi-XL**, eine Drohne für kontaktbasierte Messungen, wurde hinsichtlich ihrer Flugregelung (PID-Regler) für den Einsatz bei starkem Wind optimiert und getestet.
- **HAP 4 (Standardisierung des Prüfprozesses):** U-ROB war maßgeblich an der Entwicklung eines umfassenden **Ausbildungskonzepts** beteiligt, um das Schiffspersonal von EMO für die Durchführung von Drohneninspektionen zu qualifizieren.
- **HAP 5 (Demonstration):** In diesem Paket wurden die entwickelten Technologien und Verfahren in der Praxis demonstriert. Dies umfasste zahlreiche Flugversuche auf Helgoland und mehrere Testkampagnen auf den CTVs im Windpark „Nordsee One“.
- **HAP 6 (Steigerung der Autonomie / Manipulation):** Der Fokus verlagerte sich hier von der anfangs anvisierten Vollautomatisierung auf die Vereinfachung

und Robustheit kritischer Manöver. U-ROB war an der Entwicklung eines modifizierten Landegestells und einer Netz-Landeplattform beteiligt und führte erste Tests zur Oberflächenreinigung mit einer Drahtbürste durch.

Die frühe Durchführung der Offshore-Tests (ursprünglich in AP5.3 geplant) war notwendig und ermöglichte einen erheblichen Erkenntnisgewinn, sodass die Entwicklung praxisnäher und agiler durchgeführt werden konnte.

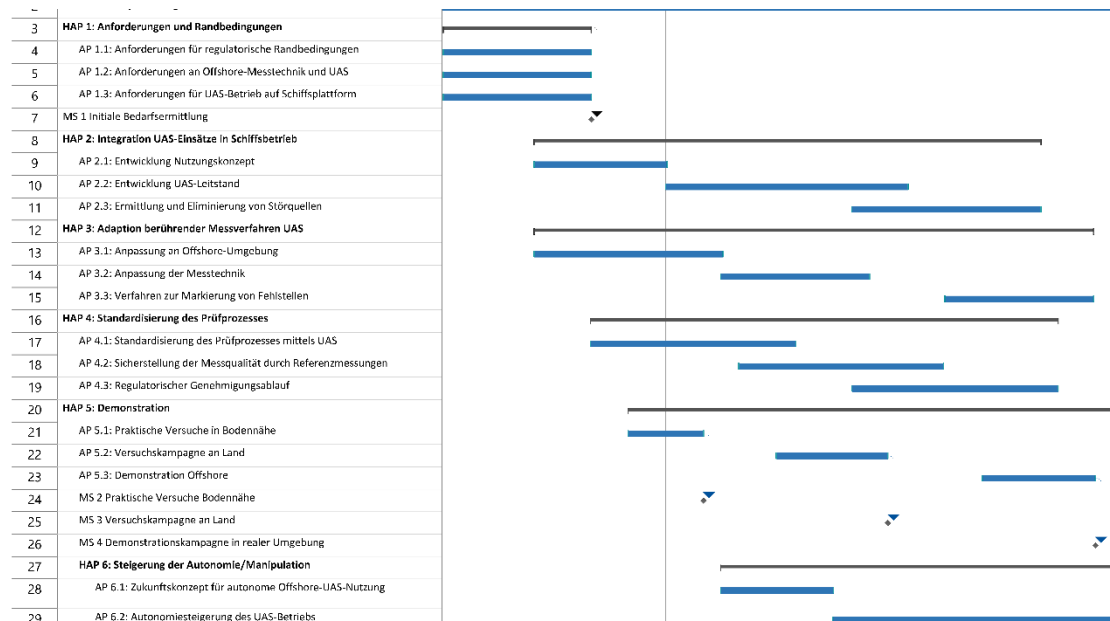


Abbildung 1: Zeitlicher Abfolgeplan der Projektarbeiten innerhalb des AIDA Projekts.

Eine wesentliche Erkenntnis aus den Entwicklungen im Projekt war das Aufzeigen der Machbarkeit von berührenden Inspektionen im Offshore-Bereich. Mit zwei unterschiedlichen Fluggeräten, der RobiXL des Partners U-ROB und der Voliro T der Schweizer Firma Voliro, konnte gezeigt werden, dass ein Einsatz vom CTV aus möglich ist. Es wurde jedoch auch deutlich, dass hierfür noch hohe manuelle Flugfertigkeiten der Fernpiloten erforderlich sind. Speziell die Start- und Landevorgänge sowie das „Andocken“ an die Oberfläche erfordern ein hohes Maß an Training und Systemkenntnis. Im Sinne einer ständigen und „einfachen“ Integration in den Schiffsbetrieb, bei dem das Fluggerät auch von durchschnittlich ausgebildeten Piloten operiert werden kann, sind daher weitere Entwicklungsschritte in der Automatisierung notwendig.

Da eine Vollautomatisierung kurzfristig nicht realisierbar ist, war eine zweite wesentliche Erkenntnis die Notwendigkeit, das Personal an Bord zu befähigen. Aus diesem Grund wurde die Schulung des Personals zu einem zentralen Ergebnis des Projekts. Gemeinsam mit EMO und U-ROB entwickelte das IFAM ein umfassendes Schulungskonzept, das darauf abzielt, Offiziere und Kapitäne für die eigenständige Steuerung der Drohne vom CTV aus zu qualifizieren.

Das Konzept wurde zweigeteilt aufgebaut: Die theoretischen Grundlagen wurden vom Projektpartner U-ROB vermittelt, während die praktischen Übungen am Offshore Drohnen Campus in Cuxhaven stattfanden. Das IFAM schulte hierbei Inhalte wie rechtliche Grundlagen für den Betrieb im Offshore-Windpark, die Durchführung von Flügen mit besonderem Fokus auf präzise Landungen und Stressmanagement, Kamerabedieneung, Wartung und Service sowie das Vorgehen in Notfallszenarien. Abgeschlossen wurde die Schulung mit Drohnenflügen vom IFAM-eigenen Forschungsboot, bei denen Start und Landung von der entwickelten Netzlandeplattform geübt wurden. Die Effektivität des Konzepts wurde eindrucksvoll bestätigt: Die Schulung war erfolgreich und ermöglichte es einem Mitglied der CTV-Crew, nach nur zwei Tagen Training die Drohne sicher vom CTV zu starten und zu landen, was in einer abschließenden Demonstration offshore nachgewiesen wurde.

1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Zu Beginn des Forschungsvorhabens AIDA stellte der Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) in der Offshore-Windenergie einen innovativen, jedoch mit erheblichen Herausforderungen verbundenen Ansatz dar. Die etablierte Praxis zur Wartung und Inspektion von Offshore-Anlagen basierte auf dem teuren und risikoreichen Einsatz von Spezialschiffen, Helikoptern und Seilzugangstechnikern. Der UAS-Einsatz war zu diesem Zeitpunkt weitgehend auf visuelle Inspektionen beschränkt und diente lediglich als Ergänzung, vorwiegend im Onshore-Bereich. Offshore-Operationen waren selten, da sie durch den aufwendigen Transport von hochqualifiziertem Personal und ungünstige Wetterbedingungen kosten- und zeitintensiv waren.

Die zögerliche Akzeptanz in der Industrie war auf mehrere Faktoren zurückzuführen. So existierten am Markt zwar spezialisierte Anbieter wie Cyberhawk, doch die hohen Anforderungen an das Pilotenpersonal – mit geforderten 500 Flugstunden oder 18 Monaten Erfahrung für Offshore-Einsätze – verdeutlichten den geringen Automatisierungsgrad und die Komplexität der Operationen.

Darüber hinaus mangelte es an dedizierten Einsatzverfahren und auf die Schiffsoperationen zugeschnittenem Equipment, um UAS sicher und effizient von CTVs oder Plattformen aus zu betreiben. Ein entscheidendes Hemmnis war zudem, dass die rein visuellen Inspektionsergebnisse per UAS noch nicht die gleiche Qualität und Aussagekraft erreichten wie die etablierten, manuellen Verfahren, was die Branche dazu veranlasste, weiterhin auf traditionelle Methoden zu setzen. Das Projekt AIDA setzte genau an diesen Defiziten an, um die technologischen und prozessualen Lücken zu schließen und den UAS-Einsatz für die Offshore-Inspektion auf ein industriell nutzbares Niveau zu heben.

Angabe der Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

DEUTSCHER BUNDESTAG. Gesetz zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See. WindSeeG, 10. Dezember 2020.

RADOVIC, M. Tech Talk: Identify Drone Autonomy [online]. Untangling The 5 Levels of Drone Autonomy, 7. März 2019. 9 Oktober 2020. Verfügbar unter: <https://dron-eii.com/drone-autonomy>

KABBABE POLEO, K., W.J. CROWTHER und M. BARNES. Estimating the impact of drone-based inspection on the Levelised Cost of electricity for offshore wind farms. Results in Engineering, 2021, 9, 100201. ISSN 25901230. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.rineng.2021.100201

MOIR, S., Hg. Improving Offshore Inspection Efficiency through UAV Inspections, 2017. SNAME Offshore Symposium. Day 1 Thu, February 02, 2017.

CYBERHAWK INNOVATIONS LTD. Oil, Gas & Petrochemical [online]. Verfügbar unter: <https://thecyberhawk.com/oil-gas-petrochemical/>

DEUTSCH, W.A.K., F. BARTHOLOMAI, S. KLEIN und S. KIERSPEL. Ultraschall- und Magnetpulverprüfungen an Komponenten für Windkraftanlagen [online]. DGZfP-Jahrestagung 2010 - Di.2.C.2, 2010. Verfügbar unter: <https://www.ndt.net/article/dgzfp2010/Inhalt/di2c2.pdf>

GONZÁLEZ-DESANTOS, L.M., J. MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, H. GONZÁLEZ-JORGE, M. RIBEIRO, J.B. de SOUSA und P. ARIAS. Payload for Contact Inspection Tasks with UAV Systems [online]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019, 19(17). Verfügbar unter: doi:10.3390/s19173752

WINDMESSE ALL IN WIND. Arbeiten am Limit: Drohnen-Piloten kommen auch in der Windkraft immer häufiger zum Einsatz [online], 2018. Verfügbar unter: <https://w3.windmesse.de/windenergie/news/27245-drohne-cyberhawk-aero-enterprise-inspektion-onshore-offshore-fuhrerschein>

BRANCH, JAMIE L. Comparison of Aerial Robotic Vs. Manual Ultrasonic Testing on Elevated Carbon Steel Plates, 2019. Verfügbar unter: <https://static1.squarespace.com/static/5303bd16e4b0b0825b1cffb3/t/5c4fc8a20e2e727669e2f008/1733281388785/apellix-ut-case-study.pdf>

HÖLTERHOFF, M., F. MALIK, M. CANZLER, D. HÜLS und T. SCHÜTTE. Markt- und Potenzialanalyse für ein Offshore-Testzentrum in der Nordsee zur Erprobung innovativer Technologien der Meerestechnik unter anwendungsnahen Bedingungen. Abschlussbericht. Bremen, November 2020.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Für uns bei U-ROB war die enge und interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern die grundlegende Voraussetzung für den Erfolg unseres technologisch anspruchsvollen Teilvorhabens. Regelmäßige Abstimmungs- und Koordinationstreffen mit allen Partnern bildeten das Rückgrat des Projektmanagements. Sie stellten sicher, dass unsere Entwicklungsarbeiten, insbesondere an der Robi-XL Drohne und den Ausbildungskonzepten, stets auf die übergeordneten Projektziele und die Bedürfnisse der Endanwender ausgerichtet waren.

Besonders intensiv gestaltete sich die technische Kooperation mit dem **Fraunhofer IFAM**. Bei gemeinsamen Workshops, beispielsweise auf Helgoland, konnten wir unsere Prototypen wie die Robi-XL unter offshore-ähnlichen Bedingungen erproben und erhielten wertvolles direktes Feedback zur Optimierung der Flugregelung. Zudem erwies sich die Möglichkeit, erste Tests auf dem IFAM-eigenen Forschungsschiff „Joseph von Fraunhofer“ durchzuführen, als ein entscheidender Zwischenschritt. Hier konnten wir Prototypen wie die Landeplattform in einer kontrollierten maritimen Umgebung validieren, bevor wir sie dem vollen Risiko des Einsatzes auf der offenen See aussetzten.

Die Zusammenarbeit mit **EMO** war für uns von hoher Bedeutung, da sie uns den essenziellen Zugang zum realen Einsatzumfeld ermöglichte. Nur durch die wiederholten Erprobungen unserer Systeme auf den CTVs im Offshore-Windpark konnten wir die Robustheit und Praxistauglichkeit unserer Entwicklungen unter Beweis stellen. Gemeinsam mit EMO stimmten wir uns zudem mit dem Windparkbetreiber ab, um die notwendigen Genehmigungen und sicheren Rahmenbedingungen für unsere Flugversuche zu schaffen.

Der Austausch mit **HM-PCC** war ebenfalls sehr hilfreich, um sicherzustellen, dass die von uns entwickelten berührenden Messverfahren den strengen Qualitätsanforderungen und praktischen Notwendigkeiten der Offshore-Branche genügen.

Dieses Netzwerk aus wissenschaftlicher Expertise, operativem Know-how und industrieller Qualitätssicherung ermöglichte es uns, unsere technologischen Innovationen zielgerichtet und anwendungsnah zu entwickeln und zu erproben.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

Die erzielten Ergebnisse und der Arbeitsfortschritt der U-ROB GmbH werden nachfolgend detailliert den jeweiligen Hauptarbeitspaketen (HAP) zugeordnet.

HAP 1 – Anforderungen und Randbedingungen

Dieses Arbeitspaket wurde zu Beginn des Projekts mit dem Meilenstein 1 erfolgreich abgeschlossen. U-ROB wirkte an der Erstellung eines gemeinsamen Betriebskonzepts (ConOps) und einer ersten Risikobewertung mit, die als Grundlage für die Genehmigung von Flügen im Windpark diente. Eine wesentliche Erkenntnis war, dass die geplanten Einsätze innerhalb der Sichtweite in der "OPEN"-Kategorie der EU-Drohnenverordnung durchgeführt werden konnten, was den regulatorischen Aufwand erheblich vereinfachte.

HAP 2 – Integration UAS-Einsätze in Schiffsbetrieb

Die größte Störquelle für den UAS-Betrieb wurde klar identifiziert: die permanente Bewegung des Schiffes. Elektromagnetische Störungen durch Radar oder Funk sowie weichmagnetische Effekte durch Stahlcontainer an Deck stellten sich in der Praxis als weniger problematisch heraus als zunächst angenommen. Die Schiffsbewegung führte jedoch wiederholt zu Problemen bei der Initialisierung der IMU (Inertial Measurement Unit) kommerzieller Drohnen wie der DJI M300.

Um die Sicherheit und Effizienz des Piloten zu erhöhen, entwickelte und testete U-ROB einen einfachen Prototyp eines Haltegestells, das dem Piloten bei Seegang einen stabileren Stand auf dem Vordeck ermöglichte. Die Tests zeigten eine positive Wirkung, indem das Gestell das Kippen des Piloten verhinderte und so eine sicherere Steuerung erlaubte.

HAP 3 – Adaption berührender Messverfahren mittels UAS

Dieses Hauptarbeitspaket bildete einen zentralen Schwerpunkt unserer Tätigkeiten im Projekt AIDA. Unser Fokus lag darauf, die technologischen Grundlagen für zuverlässige, kontaktbasierte Messungen an Offshore-Strukturen zu schaffen. Dies umfasste die gezielte Weiterentwicklung unserer Flugplattform, die Analyse der Materialbeständigkeit unter maritimen Bedingungen sowie die Validierung der Messqualität im Vergleich zu etablierten Verfahren.

Entwicklung und Optimierung der Flugplattform Robi-XL

Unsere Hauptaufgabe war die Anpassung und Optimierung unserer Eigenentwicklung, der Robi-XL Drohne, für die extremen Einsatzbedingungen auf See. Die initialen Analysen zeigten, dass die Windresistenz der entscheidende Faktor zur Maximierung der Einsatzfenster ist. Aus diesem Grund konzentrierten wir unsere Entwicklungsarbeit auf die Verbesserung der Flugstabilität. Abbildung 2 zeigt den ersten Einsatz im offshore-Windpark.



Abbildung 2: Eindrücke aus den ersten Flugversuchen im Offshore-Windpark

Bei einem ersten zweitägigen Workshop auf Helgoland, der vom Fraunhofer IFAM unterstützt wurde, führten wir Flugversuche unter realistischen, aber moderaten Windbedingungen (5-7 m/s) durch. Hierbei zeigte sich, dass die Robi-XL noch anfällig für unvorhersehbare Verwirbelungen war, die durch die Containerstrukturen am Testgelände entstanden. Diese Erkenntnis verdeutlichte die Notwendigkeit einer gezielten Optimierung der Flugregelung.

Daraufhin führten wir bei U-ROB eine umfassende Anpassung der PID-Regler durch, mit einem besonderen Fokus auf die Gier-Dynamik, um die Stabilität der asymmetrischen Drohne bei starkem Wind und während des Andockvorgangs zu erhöhen. Der Erfolg dieser Maßnahmen wurde bei erneuten Flugversuchen auf Helgoland im Folgejahr eindrucksvoll bestätigt. Bei Windgeschwindigkeiten von ca. 10 m/s mit starken Böen konnten wir eine deutlich verbesserte Flugstabilität und Regelgüte nachweisen. Das IFAM unterstützte bei den Flugversuchen und der Regleranpassung (siehe Abbildung 3 und 4).

Gleichwohl wurde deutlich, dass die teilmanuelle Steuerung unter diesen Bedingungen weiterhin ein hohes Maß an Erfahrung vom Piloten erfordert. Als weiteres wichtiges Ergebnis für zukünftige Iterationen unserer Hardware identifizierten wir bei diesen Tests einen mechanischen Defekt am schwenkbaren Magazin-Kopf, der einen zuverlässigen Wechsel zwischen Messsensor und Markierungsfunktion verhinderte.



Abbildung 3: Versuche beim Partner U-Rob und auf Helgoland



Abbildung 4: „Robi-XL“ UAS bei Versuchen zu kontaktbasierten Messungen auf dem IFAM-Gelände auf Helgoland

Untersuchungen zur Materialbeständigkeit und zum Korrosionsschutz

Um die Langlebigkeit unserer Systeme im hochkorrosiven Offshore-Umfeld sicherzustellen, war die Analyse der Materialbeständigkeit ein wichtiger Arbeitspunkt. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM wurden hierzu umfassende Untersuchungen durchgeführt. Ein von uns zur Verfügung gestellter Drohnenmotor wurde vom IFAM einem dreiwöchigen Test in einer Salzsprühnebelkammer unterzogen (siehe Abbildung 5). Nach Abschluss des Tests wurde der Motor an uns zurückgesendet, damit wir bei U-ROB eine detaillierte Analyse der Korrosionsschäden vornehmen konnten. Die Untersuchung bestätigte, dass vor allem die Lager und Sprengringe der Motoren kritische Schwachstellen darstellen, während andere Bauteile weniger anfällig waren.



Abbildung 5: Start der Auslagerung eines typischen Drohnenmotors in der Salzsprühnebelkammer

Zusätzlich wurden die realen Auswirkungen eines Offshore-Einsatzes untersucht. Nach einem Flug mit einer unserer Drohnen im Windpark wurden die Motoren vom IFAM mit entionisiertem Wasser gespült und eine gravimetrische Analyse durchgeführt. Dabei wurden 2,2 mg Verunreinigungen nachgewiesen, was die Ansammlung von Korrosionsprodukten belegt und die Notwendigkeit robuster Schutzmaßnahmen für unsere zukünftigen Konstruktionen unterstreicht.

Validierung der Messqualität und Benchmarking

Parallel zur Entwicklung der Flugplattform wurde die Qualität der Messverfahren validiert. Das Fraunhofer IFAM stellte hierfür zu Beginn des Projekts Referenzplatten mit offshore-typischen Beschichtungen zur Verfügung, an denen wir die Genauigkeit unserer Systeme erproben konnten. Die vergleichenden Messungen, die von HM-PCC begleitet wurden, zeigten, dass die erzielbare Genauigkeit für den praktischen Einsatz im Windpark absolut ausreichend ist. Die zentrale Erkenntnis war jedoch, dass die Qualität der Messung entscheidend vom festen und senkrechten Kontakt des Sensors zur Oberfläche abhängt.

Um unsere Entwicklung im Marktumfeld einzuordnen, initiierten wir eine Zusammenarbeit mit dem Schweizer Unternehmen Voliro. Bei gemeinsamen Testflügen auf einem CTV im Windpark konnten wir deren kommerziell verfügbare Drohne Voliro T im Einsatz beobachten. Die Tests demonstrierten eindrucksvoll die technische Machbarkeit von kontaktbasierten Schichtdickenmessungen unter realen Offshore-Bedingungen. Für uns bei U-ROB war die wichtigste Erkenntnis, dass unsere Robi-XL durch die Möglichkeit eines flexiblen Magazinwechsels in der Luft einen klaren konzeptionellen Vorteil für multifunktionale Einsätze (z.B. Messen, Markieren, Reinigen) bietet, während die Voliro-T auf eine einzige Messmethode spezialisiert ist.

HAP 4 – Standardisierung des Prüfprozesses

Ein wesentliches Projektziel war es, die Drohnentechnologie für das Personal vor Ort nutzbar zu machen. U-ROB übernahm hier eine Führungsrolle bei der Erstellung eines umfassenden Ausbildungsprogramms, um das Schiffspersonal des Partners EMO zu qualifizieren.

- **Konzeptentwicklung:** Wir konzipierten ein modulares Training, das die rechtlich erforderliche Theorie (gemäß A2/STS Fernpilotenzeugnis) mit einem intensiven praktischen Teil verbindet.
- **Erstellung von Schulungsmaterialien:** U-ROB entwickelte die hierfür notwendigen Präsentationen, Dokumentationen und Checklisten, die das gesamte gewonnene Know-how zu Drohnenoperationen vom CTV aus bündeln. Das Training wurde gezielt auf die Vereinfachung der Prozesse und die sichere Handhabung in der kritischen Start- und Landephase ausgerichtet und für die Validierung im letzten Projektzeitraum vorbereitet.

HAP 5 – Demonstration

In diesem Hauptarbeitspaket lag unser Fokus darauf, die in den vorherigen Phasen entwickelten Technologien und Konzepte unter realen Bedingungen zu erproben und deren Einsatzfähigkeit nachzuweisen. Die Demonstrationsaktivitäten waren für uns bei U-ROB entscheidend, um die Leistung unserer Systeme iterativ zu validieren und wertvolle praktische Erkenntnisse zu gewinnen, die direkt in die Weiterentwicklung und die Standardisierung der Prozesse zurückfließen. Unsere Testkampagnen folgten einem gestuften Ansatz, der von kontrollierten Umgebungen bis zum vollen Offshore-Einsatz reichte.

Validierung in kontrollierten Umgebungen: Vom Labor nach Helgoland

Die Grundlage für erfolgreiche Offshore-Einsätze legten wir durch Validierungstests an unserem eigenen Standort. Hier konnten wir insbesondere die Anpassungen an der Flugregelung unserer Robi-XL Drohne nach der Optimierung der PID-Regler unter wiederholbaren Bedingungen überprüfen und so die grundlegende Verbesserung der Flugeigenschaften sicherstellen.

Als nächsten, entscheidenden Schritt erprobten wir unsere Systeme auf Helgoland. Die dortige Testinfrastruktur des Fraunhofer IFAM bot uns die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit unserer Drohnen unter kontrollierten, aber offshore-ähnlichen Umgebungsbedingungen zu testen. Diese Versuche an den Test-Containern waren für uns von unschätzbarem Wert, um das Verhalten der Robi-XL bei Wind und Verwirbelungen

zu analysieren, bevor wir die Systeme dem vollen Risiko eines Einsatzes auf See aussetzten.

Flugkampagnen im Realbetrieb: Offshore-Tests im Windpark „Nordsee One“

Der Höhepunkt unserer Demonstrationsaktivitäten waren die wiederholten Flugkampagnen im realen Einsatzgebiet, dem Windpark „Nordsee One“. Entgegen der ursprünglichen Planung konnten diese Tests dank intensiver Vorarbeit frühzeitig beginnen und über die gesamte Projektlaufzeit hinweg durchgeführt werden. Dies ermöglichte uns einen kontinuierlichen Lernprozess. Bei diesen Einsätzen ging es für uns vor allem darum, die praktische Integration unserer Technologie in den Schiffsbetrieb zu erproben und Lösungen für eine Vereinfachung der Flugmanöver zu entwickeln. Jeder Einsatz auf See lieferte uns neue Daten und Erfahrungen, die direkt in die Anpassung unserer Hardware (z.B. Landegestell) und Software (Flugregelung) einfließen.

Schulung des Personals als Schlüssel zur Verwertung

Eine zentrale Erkenntnis aus diesen Praxiseinsätzen war, dass die beste Technologie nur dann einen Mehrwert schafft, wenn sie vom Personal vor Ort beherrschbar ist. Aus diesem Grund waren wir bei U-ROB maßgeblich an der Entwicklung eines umfassenden Schulungskonzepts beteiligt, das darauf abzielt, die Crew des Partners EMO zur eigenständigen Durchführung von Drohneninspektionen zu befähigen.

Unsere Verantwortung lag dabei in der Vermittlung der theoretischen Grundlagen. Aufbauend auf unserer Expertise mit den UAS-Systemen erstellten wir die Schulungsunterlagen, die das notwendige Wissen für einen sicheren und regelkonformen Betrieb vermitteln. Dieser Theorieteil wurde durch praktische Übungen ergänzt, die vom Fraunhofer IFAM am Offshore Drohnen Campus in Cuxhaven durchgeführt wurden. Das Training umfasste alle relevanten Aspekte von rechtlichen Grundlagen über präzise Flugmanöver bis hin zum Notfallmanagement.

Die Effektivität des von uns mitentwickelten Konzepts wurde eindrucksvoll bestätigt: Die Schulung war ein voller Erfolg und ermöglichte es einem Mitglied der CTV-Crew, nach zwei Tagen intensiven Trainings die Drohne sicher vom Schiff aus zu starten und zu landen. Dieser Erfolg wurde in einer abschließenden Demonstration unter realen Offshore-Bedingungen nachgewiesen und stellt einen entscheidenden Schritt in Richtung einer praxistauglichen und wirtschaftlichen Nutzung der Drohnentechnologie im Offshore-Sektor dar.

HAP 6 – Steigerung der Autonomie/Manipulation

Nachdem sich eine vollständige Automatisierung des UAV-Betriebs im Rahmen des Projekts als nicht realisierbar herausstellte, verlagerte U-ROB den Fokus auf die

Prozessvereinfachung und die Entwicklung robuster Teillösungen für die größten Herausforderungen.

Die Initialisierungsprobleme der M300 und die generellen Risiken beim Landen auf einem kleinen, bewegten Deck machten die Entwicklung einer besseren Start- und Landelösung notwendig. Nach Tests mit der kommerziellen, aber für diesen Anwendungsfall als nur bedingt tauglich bewerteten *StableOnBoard*-Stabilisierungsplattform, konzentrierten wir uns auf eine einfachere, passive Lösung.

In Kooperation mit dem IFAM entwickelte und erprobte U-ROB ein modifiziertes, ringförmiges Landegestell aus CFK für die DJI M300. Der Ring vergrößert die Aufstandsfläche, verhindert ein Umkippen und eliminiert die Gefahr des Verhakens im Landenetz, was bei Tests mit dem Original-Landegestell ein Problem darstellte.

Verschiedene Iterationen wurden getestet, darunter eine Version mit Aussparung für die Kamera und eine Version mit fehlerhafter Federung, die zu Oszillationen führte. Die finale Version erwies sich in Kombination mit einer einfachen Netz-Landeplattform (siehe Abbildung 6) als sehr praktikable und sichere Lösung.

Oberflächenmanipulation: Um den Weg für zukünftige Wartungsarbeiten zu ebnen, führte U-ROB erste erfolgreiche Versuche zur Oberflächenvorbereitung mittels einer am UAS montierten Drahtbürste durch. Diese Tests zeigten, dass es möglich ist, Oberflächen gezielt zu reinigen, um beispielsweise eine nachfolgende Schichtdickenmessung vorzubereiten.



Abbildung 6: Landegestell auf dem Container auf dem CTV

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der weitaus größte Teil der Projektkosten im Teilvorhaben der U-ROB GmbH entfiel auf die Personalkosten für die Ingenieure und Techniker, die an der Entwicklung, dem Bau und der Erprobung der UAS-Systeme und deren Komponenten beteiligt waren. Kosten für Dienstreisen, die insbesondere durch die zahlreichen Testkampagnen auf See und auf Helgoland anfielen, sowie Kosten für Verbrauchsmaterialien (z.B. für Prototypenbau des Landegestells und der Robi-XL) nahmen eine untergeordnete Rolle ein.

Die im Vorfeld geplanten Personalkosten entsprechen in Art und Umfang nicht den verausgabten Projektmittel, da der Mitarbeiter Malte Bories an das Fraunhofer IFAM wechselte, und Daniel Campen U-ROB Anfang 2024 verließ. Herr Benjamin Kelm konnte die Arbeit des Projektingenieurs dennoch fortsetzen, wenn auch mit geringem zeitlichem Kontingent.

Geringfügige Mehrkosten bei den Reise- und Materialpositionen, die durch die intensivierte und frühzeitig begonnenen Offshore-Versuche begründet sind, konnten durch Minderausgaben bei den sonstigen Sachkosten ausgeglichen werden. Diese flexible Mittelverwendung war entscheidend für den agilen und erfolgreichen Projektverlauf.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Verbundprojekt war durch seine technologische Zielsetzung und das fordernde Offshore-Umfeld sehr ambitioniert. Die Entwicklung von Systemen, die unter rauen Bedingungen wie starkem Wind, Seegang und salzhaltiger Luft zuverlässig funktionieren, erforderte einen hohen Aufwand in Planung, Entwicklung und insbesondere in der praktischen Erprobung. Die vielfältigen Aufgaben, von der Anpassung der Flugregelung über die Hardware-Konstruktion bis hin zur Erstellung von Ausbildungskonzepten, erforderten eine breite Palette an Kompetenzen.

Die enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Partnern, die ihre jeweiligen Stärken in das Projekt einbrachten, war für den Erfolg unerlässlich. Angesichts der Komplexität des Vorhabens und der erreichten, industrienahen Ergebnisse kann die geleistete Arbeit als notwendig und in ihrem Umfang als angemessen bewertet werden.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die im Projekt AIDA erzielten Ergebnisse bilden eine solide Grundlage für die zukünftige wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung durch die U-ROB GmbH.

- **Wirtschaftliche Verwertung:** Das primäre Verwertungsziel ist die Kommerzialisierung der entwickelten Ausbildungskonzepte. U-ROB plant, diese als spezialisierte Schulungen für das Personal von Reedereien anzubieten, um diese für den Einsatz von Drohnen auf CTVs zu qualifizieren. Dies ermöglicht es Partnern wie EMO, zukünftig eigenständig "ad-hoc" visuelle Inspektionen als Dienstleistung anzubieten. Die Markteinführung dieser Trainings wird, abhängig von der Marktlage, für ca. ein Jahr nach Projektende anvisiert.
- **Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten:** Die entwickelten Ausbildungskonzepte könnten in den nächsten zwei Jahren in Standards von Offshore-Zertifizierungsgesellschaften einfließen. Die technischen Erkenntnisse, insbesondere zur Robustheit von UAS-Systemen und zur Vereinfachung von Operationen auf See, bilden die Basis für zukünftige F&E-Projekte.
- **Schutzrechte und Anschlussfähigkeit:** Bisher wurden im Rahmen des Projekts keine Schutzrechtsanmeldungen eingereicht. Die nächsten Schritte konzentrieren sich auf die Validierung des Ausbildungsprogramms, um eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse zu gewährleisten.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Der dynamische Drohnenmarkt brachte während der Projektlaufzeit relevante kommerzielle Systeme hervor, die aktiv in das Projekt einbezogen wurden. Besonders hervorzuheben sind das hochautomatisierte System für visuelle Inspektionen der Firma AeroEnterprise und die kontaktbasierte Messdrohne der Firma, sowie Voliro.

Mit beiden Unternehmen wurden gemeinsame Demonstrationen auf den CTVs im Windpark durchgeführt. Diese Tests lieferten wertvolle Einblicke in den Stand der Technik und bestätigten die im Projekt identifizierten Herausforderungen – auch das AeroEnterprise-System hatte mit IMU-Fehlern durch die Schiffsbewegung zu kämpfen. Die Zusammenarbeit war beidseitig fruchtbar, da auch die externen Partner wertvolle erste Offshore-Erfahrungen sammeln konnten.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11 der NKBF

Die Projektergebnisse wurden bereits während der Laufzeit aktiv an die Fachöffentlichkeit kommuniziert. Ein wesentlicher Beitrag war ein gemeinsamer Artikel mit dem Partner IFAM in der Fachzeitschrift „DRONES“ (Ausgabe 01/2023), der die im Projekt entwickelten Spezialdrohnen für berührende Messverfahren vorstellte. Darüber hinaus wurden Ergebnisse auf Fachmessen wie der AERO Friedrichshafen präsentiert und regelmäßig über soziale Medien (insbesondere LinkedIn) verbreitet, um eine breite

Öffentlichkeit zu erreichen. Für die Zukunft sind weitere Veröffentlichungen und Vorträge auf Fachtagungen geplant, um die entwickelten Technologien und das gewonnene Know-how zu verbreiten und neue Kooperationen zu initiieren.

Durchführende Forschungsstelle

Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik
und Angewandte Materialforschung (IFAM)
Institutsleitung: Prof. Dr. Bernd Mayer
- Klebtechnik und Oberflächen -
Wiener Straße 12
28359 Bremen